

publisher.agency
Austria

May, 2026

No 13



Vienna, Austria

1.05.2026

International
Scientific
Conference

Modern Scientific method

UDC 001.1

P 97

Publisher.agency: Proceedings of the 13th International Scientific Conference «Modern Scientific Method» (May 1, 2026). Vienna, Austria, 2026. 510p



ISBN 978-9-3644-3611-3

DOI 10.5281/zenodo.20019903

Editor: Andreas Koller, Professor, University of Vienna

International Editorial Board:

Luca Fischer

Professor, University of Graz

Johannes Wagner

Professor, University of Innsbruck

Emilia Schuster

Professor, Vienna Medical University

Thomas Mair

Professor, University of Salzburg

Simon Schwarz

Professor, TU Wien

Johanna Schneider

Professor, Graz University of Technology

Ben Stadler

Professor, University of Natural Resources
and Applied Life Sciences Vienna

Jan Auer

Professor, University of Linz

Lorenz Baumgartner

Professor, University of Klagenfurt

Elisa Huber

Professor, IMC University of Applied Sciences
Krems

Leopold Leitner

Professor, Central European University

Lisa Lechner

Professor, Johannes Kepler University

Johannes Gruber

Professor, Medical University of Innsbruck

Louis Mair

Professor, University of Leoben

editor@publisher.agency

<https://publisher.agency/>

Table of Contents

Technical Sciences

APPLICATIONS OF MYSQL IN DIVERSE COMPUTING ENVIRONMENTS.....	8
<i>AYSHEN MIRZAYEVA</i>	
АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ОБЪЯСНИМОСТИ СИСТЕМ RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION.....	13
<i>МЫРЗАБАЙ ӘДИЛЕТ ЕРКЕГАЛИУЛЫ</i> <i>КОЗБАКОВА АЙНУР ХОЛДАСОВНА</i>	
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ SIEM В ВЫЯВЛЕНИИ КИБЕРАТАК В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ	23
<i>БАҚЫТЖАН ЕРНАР БАҚЫТЖАНУЛЫ</i> <i>АДИЛЬЖАНОВА САЛТАНАТ АЛЬМУХАНБЕТОВНА</i>	
IMPROVING REGULATORY DOCUMENTATION FOR THE PRODUCTION OF SEMI-SMOKED SAUSAGES WITH IMPROVED SAFETY INDICATORS	33
<i>BEKAKHMETOV A. M.</i>	
ЖОҒАРЫ ПАРАФИНДІ МҰНАЙДЫ ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІН ИМПУЛЬСТІК ЖЫЛУЛЫҚ БАСҚАРУ АЛГОРИТМДЕРІН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ SIEMENS S7-1500 НЕГІЗІНДЕ АСУТП ЖОБАЛАУ	35
<i>БАЯНҒАЛИ ПАРАСАТ САЛАУАТУЛЫ</i> <i>ШАБДИРОВ Д.Н.</i>	
THE IMPACT OF THE INTERNET OF THINGS ENPOWERED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE CORPORATE WORKING ENVIRONMENT	39
<i>ASKARBEK ASLAN</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОВЕРИЯ К ДАННЫМ ИНЦИДЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКЧЕЙН-ТЕХНОЛОГИЙ	47
<i>МАМЕТЬЯРОВА НИНЬЕЛЬ ШУХРАТОВНА</i> <i>АБДУЛЛАЕВ АЛИШЕР АНВАРУЛЫ</i> <i>УСКЕНБАЕВА РАИСА КАБИБЕВНА</i>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ REST API: ПОДХОДЫ К ВАЛИДАЦИИ, ОГРАНИЧЕНИЮ ДОСТУПА И МОНИТОРИНГУ	60
<i>ГАСАНОВ АМИР РАУФОВИЧ</i>	
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ И АВТОРИЗАЦИИ В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯХ.....	64
<i>ГАСАНОВ АМИР РАУФОВИЧ</i>	
GÖLƏSƏYƏ YÖNƏLMİŞ KODLAMA ELMİ VƏ ONUN ÖYRƏNİLMƏSİ ÜSULLARI	68
<i>PƏRVİZ ƏLİZADƏ</i>	
ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЙ И АДАПТИВНЫЙ МЕДИАКОНТЕНТ: БУДУЩЕЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	74
<i>АЛДЫНГУРОВА АСЕЛЬ КАЙЫРТАЕВНА</i> <i>АХИТОВА РИЗА СУИНДИКОВНА</i>	
THE USE OF DIFFERENT ARTIFICIAL INTELLIGENCE MODELS IN CHESS.....	80
<i>KNALAGOV KAMIL</i>	
BEHAVIORAL PATTERNS OF USERS IN DIGITAL CONTENT MARKETPLACES: A STEAM DATASET STUDY	83
<i>NAZIRA SHAIMERDENOVA</i> <i>AISLU KASSEKEYEVA</i>	
ADAPTIVE EXERCISE RECOMMENDATION FOR MUSIC SKILL DEVELOPMENT USING MACHINE LEARNING	93
<i>KANAPIYA ERSULTAN MURATULY</i> <i>SAPAKOVA SAYA ZAMANBEKOVNA</i>	
ВЛИЯНИЕ ИИ НА СОВРЕМЕННУЮ КИНОИНДУСТРИЮ КАЗАХСТАНА	101
<i>АРАПБАЕВ НҮРСҮЛТАН ЛЕСБЕКҮЛЫ</i> <i>АХИТОВА РИЗА СУИНДИКОВНА</i>	
ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ КОВКИ НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ	108
<i>АЛШЫНОВА АЙМАН МЕДЕУБЕКОВНА</i> <i>НАСРУЛЛИН ГАЛЫМЖАН ШИНБУЛАТОВИЧ</i> <i>МУХАМАДИЕВА КАЛИМА КУРМАНХАНОВНА</i>	
РЕАЛИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ 'SHIFT LEFT SECURITY' КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ЗАЩИТЕ ЦИФРОВЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПЛАТФОРМ.....	114
<i>ВЕЛИЕВ ЮНИС ФИРУЗОВИЧ</i>	
ИНТЕГРАЦИЯ SAST-ТЕХНОЛОГИЙ В ЦИКЛ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	118
<i>ВЕЛИЕВ ЮНИС ФИРУЗОВИЧ</i>	
УСТАНОВКА ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ КВАДРАТНЫХ И ПРЯМОУГОЛЬНЫХ СЫРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДВУХСТОРОННЕГО СТУПЕНЧАТОГО (ПОШАГОВОГО) С СОКРАЩЕНИЕМ ПНЕВМОЦИЛИНДРОВ И ПРЕССФОРМЫ ДЛЯ ДВУХСТОРОННЕГО ПРЕССОВАНИЯ СЫРА БЕЗ ПНЕВМОЦИЛИНДРОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ.....	122
<i>МАНУКЯН САМВЕЛ СМБАТОВИЧ</i>	
TƏHSİL SİSTEMLƏRİNDƏ SÜNİ İNTELLEKTİN TƏTBİQİNİN NƏZƏRİ ƏSASLARI.....	135
<i>MUSA HƏSƏNLİ</i>	

Medical Sciences

КАЧЕСТВО ЖИЗНИ У ДЕТЕЙ С НИЗКОРОСЛОСТЬЮ	144
<i>БОЛАТБЕК ҚАСИЕТ БОЛАТБЕКҚЫЗЫ</i>	
<i>КУДАЙБЕРГЕНОВА АЙЖАН ЖАҚАНБАЕВНА</i>	
<i>АИМБЕТОВА ГУЛЬШАРА ЕРГАЗЫЕВНА</i>	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ И ЕЁ ДОСТУПНОСТИ ДЛЯ ЛЮДЕЙ, ЖИВУЩИХ С ВИЧ ..	147
<i>БАКТЫБАЕВА БАЛЖАН СЕРЖАНОВНА</i>	
<i>АУЕЗОВА АРДАК МУХАМЕДЖАНОВНА</i>	
კიბოს ძლიერად ლოკალოზებული მრავალკომპონენტური კომბინირებული თერაპიის კონცეფციის ძირითადი პრინციპები და მეთოდები. მათი გამოყენება პროტონული თერაპიის ნაკლოვანებების და შეზღუდვების დასაძლევად	152
<i>არჩილ ჭირაქაძე</i>	
<i>ნელი მაჭვილაძე</i>	
<i>მარი რაზმაძე</i>	
<i>თინა გულაშვილი</i>	
<i>ნოდარ შითაგვარია</i>	
<i>მარინა ლუდარიანი</i>	
<i>ნუგზარ დვალის</i>	
<i>ლია ჭელიძე</i>	
ҚАБАҚТАРДЫ ХИРУРГИЯЛЫҚ ТҮЗЕТУ: КЛИНИКАЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗДІК МӘСЕЛЕЛЕРІ	159
<i>ӘУЕНОВ М.Ә</i>	
<i>АБДРАХМАНОВ С.Т.</i>	
<i>МАСАЛОВ А.Е.</i>	
<i>КӘЖІМОВА Д.С.</i>	
<i>ТУКИНОВА АСЕЛЬ РИШАТОВНА</i>	
MULTIMODAL MACHINE LEARNING FOR AUTOMATED ANGINA PECTORIS RECOGNITION USING MIMIC-IV CLINICAL DATA AND ECG SIGNALS	164
<i>TAIKEN ARYSTANBEK KAYRGELDIYULY</i>	
<i>KUATBAEVA AKMARAL ALIKHANOVA</i>	
РЕПРОДУКТИВТІ ЖАСТАҒЫ ӘЙЕЛДЕР АРАСЫНДАҒЫ ЖҮКТІЛІККЕ ДЕЙІНГІ КҮТІМ ЖӘНЕ ОНЫҒ ЖҮКТІЛІК ПЕН ПЕРИНАТАЛДЫҚ НӘТИЖЕЛЕРГЕ ӘСЕРІ: ЖҮЙЕЛІ ШОЛУ	171
<i>АУЖАН САМАЛ БАУЫРЖАНҚЫЗЫ</i>	
ИНТЕГРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НОТТИНГЕМСКОГО ПРОГНОСТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА И ИММУНОГИСТОХИМИЧЕСКОЙ ПАНЕЛИ ИНС4 В СТРАТИФИКАЦИИ РИСКА ПРИ РАКЕ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ КАЗАХСТАНА.....	177
<i>АЗИЗБЕКОВ Т.</i>	
<i>САРУАРОВ Е.</i>	
<i>КЫРЫКБАЕВА С.</i>	
СВЯЗЬ МЕЖДУ ДЕФИЦИТОМ 25-ГИДРОКСИВИТАМИНА D В ПЕРВОМ ТРИМЕСТРЕ И РИСКОМ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ АКУШЕРСКИХ И МАТЕРИНСКИХ ИСХОДОВ	184
<i>ТУРЫМБЕКОВА Р.Е.</i>	
<i>КЫРЫКБАЕВА С.С.</i>	
<i>МОЛДАЛИЕВ И.С.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАРУШЕНИЙ СНА И ЦИРКАДНЫХ РИТМОВ НА ПСИХОНЕВРОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СТУДЕНТОВ МЕДИЦИНСКИХ ВУЗОВ.....	187
<i>БЕКЕЕВА ДИЛРАБА НИЗАМИДДИНОВНА</i>	
<i>ЖУНИСОВА МИРА БАҚЫТЖАНҚЫЗЫ</i>	
<i>КЫРЫКБАЕВА САЛТАНАТ САЯТОВНА</i>	
РОЛЬ ТРИГЛИЦЕРИД- ГЛЮКОЗНОГО ИНДЕКСА КАК МАРКЕРА ИНСУЛИНОРЕЗИСТЕНТНОСТИ В СТАТИФИКАЦИИ РИСКА ЖЕЧНОКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ: ВОЗРАСТ-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД.....	195
<i>БЕКЖАН М.А.</i>	
<i>МОЛДАЛИЕВ И.С.</i>	
ТУА БІТКЕН ҰРЫҚ АҚАУЛАРЫ МЕН ХРОМОСОМАЛЫҚ АНОМАЛИЯЛАРДЫ ЕРТЕ ДИАГНОСТИКАЛАУ, ЖҮЙЕЛІК ШОЛУ.....	201
<i>АЛЛАШОВА МАЛИКА МАВЛАНОВНА</i>	
<i>АЯЗБЕКОВ АРДАК КЕРИМХАНОВИЧ</i>	

Philological Sciences

РАЗВИТИЕ ПЕРЕВОДЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ АКАДЕМИЧЕСКОЕ ПИСЬМО НА ПЕРЕВОДЧЕСКОМ ФАКУЛЬТЕТЕ УНИВЕРСИТЕТА ЯЗЫКОВ.....	205
<i>САЛИМХАНОВА ПЮСТАХАНУМ РАСИМ КЫЗЫ</i>	
THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGY IN ENGLISH LESSONS IN PRIMARY CLASSES	211
<i>SULTANGALIEVA ALTYNAI SAMIGULLIEVNA</i>	
MOVING FROM LIFE EXPERIENCE TO ARTISTIC TRUTH: A PHILOSOPHICAL-AESTHETIC ANALYSIS.....	215
<i>ATAKULOVA SHAKHLO SHAMIDULLAEVNA</i>	
ЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАФОР В ТЕКСТАХ НЕЙРОСЕТЕЙ КАК ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ЛИТЕРАТУРНОГО СТИЛЯ	219
<i>МЕДЕТҚЫЗЫ НАРГІЗ</i>	
<i>ЖАКИПОВА МИРА НУРЗАДИНОВНА</i>	

Political Studies

THE WESTERN AZERBAIJAN CONTEXT: INTEGRATION, INTERNATIONAL ORGANIZATIONS, AND HUMAN RIGHTS.....	222
<i>GÜLGÜN MUBARİZ QULİYEVƏ</i>	
ТҮРКІ МЕМЛЕКЕТТЕРІ ҰЙЫМЫНЫҢ ӨҢІРЛІК ЖӘНЕ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ САЯСАТТАҒЫ РӨЛІ.....	231
<i>СЕЙДАЛЫ АЛИНА БАҚЫТЖАНҚЫЗЫ</i>	

Economic Sciences

ETUDE SUR L'EFFICACITE DE L'INTERMEDIATION BANCAIRE MALAGASY ET SON IMPACT A LONG TERME SUR LE TAUX DE CROISSANCE ECONOMIQUE DE MADAGASCAR.....	236
<i>RABEMANANTSOA ANJA FITIA NEDIE</i>	
<i>SAMUEL ALBERT ANDRIAMARINTSAINA RANDRIANTSOAVINA</i>	
КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОРПОРАТИВНОЙ КУЛЬТУРЫ ОРГАНИЗАЦИИ	247
<i>АТАЙБЕКОВ ДИДАР МАЛИКОВИЧ</i>	
<i>ЭМ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ</i>	
<i>КАДЫРГАЛИЕВ МУСЛИМ САГЫНГАЛИЕВИЧ</i>	
СОВРЕМЕННЫЕ КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ ПРОЕКТНЫХ РИСКОВ	251
<i>МУСЛИМОВ ДАРХАН БАЗАРТАЕВИЧ</i>	
<i>РАХИМТУЛЛАЕВ АЙДОС АЛИМТОВИЧ</i>	
БРЕНДИНГ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИРМЫ	255
<i>ОЙЛЫБАЕВ ТАЛГАТ АМАНЖОЛОВИЧ</i>	
<i>ЖАКЕЖАНОВА НАЗЫМ СЕРИЖЕККЫЗЫ</i>	
<i>КИЧКА ТАТЬЯНА ВИКТОРОВНА</i>	
ELEKTRON XƏSTƏ KARTLARININ (EHR) YARADILMASI VƏ İDARƏ OLUNMASI SİSTEMLƏRİ	263
<i>BAYRAMOVA AİDƏ QURBAN</i>	
ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ВУЗОВ КАЗАХСТАНА.....	267
<i>ЫБЫРАЙ НУРСУЛТАН НУРЛАНУЛЫ</i>	
<i>КУТТЫБАЕВА НУРГУЛЬ БОЛАТОВНА</i>	
AI AND SMART HUMAN RESOURCES MANAGEMENT	273
<i>LIU QI</i>	
<i>MAKHABBAT YERMEKBAYEVA</i>	
<i>MYNZHANOVA GULZHAKAN</i>	
AI INFLUENCE ON THE AUTOMOTIVE INDUSTRY: A QUALITATIVE STUDY OF TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION AND INDUSTRIAL RESTRUCTURING.....	284
<i>ZHANG YUESHI</i>	
<i>ШАКИРОВА ГУЛЬНАРА АМАНГЕЛЬДИЕВНА</i>	
TRUST-BY-DESIGN FOR IMPROVING PRODUCT AND SERVICE QUALITY IN A MULTI-BRANCH COMPANY: THE ROLE OF STANDARDS, PROCESSES, AND BRANCH MANAGER LEADERSHIP	291
<i>MAZEY VADIM ALEKSEEVICH</i>	
CNPC PROCUREMENT COST MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF SUPPLY DISRUPTIONS	297
<i>LIANG CHEN</i>	
<i>KOSHKINA OLGA</i>	
<i>IMYAROVA ZULFIYA</i>	
GLOBAL VALUE CHAIN EMBEDDEDNESS AND STRUCTURAL DILEMMAS: A STUDY ON THE TRANSFORMATION OF KAZAKHSTAN'S INTERNATIONAL TRADE LANDSCAPE UNDER THE BELT AND ROAD INITIATIVE.....	301
<i>RUAN DIYUN</i>	
<i>KALIEVA ASSEM YERMEKOVNA</i>	
GOVERNMENT POLICY IN THE FIELD OF REGULATION OF VARIOUS FORMS OF EMIGRATION FROM KAZAKHSTAN.....	317
<i>MUSSINA SVETLANA</i>	
EVALUATING PROJECT MANAGEMENT EFFECTIVENESS IN DIGITAL MEDIA PRODUCTION: A COMPARATIVE STUDY OF AGILE AND TRADITIONAL APPROACHES IN KAZAKHSTAN	322
<i>ASKAROV ILYAS</i>	
ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A SCAFFOLDING TOOL FOR DEVELOPING RESEARCH SKILLS IN ENGLISH LANGUAGE LEARNING: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS	334
<i>AKMARAL A.</i>	
<i>BAISSYDYK I.B.</i>	

Pedagogical Sciences

SCREEN TIME AND MORAL GROWTH: HOW DIGITAL HABITS SHAPE HOLISTIC DEVELOPMENT IN KAZAKHSTANI HIGH SCHOOL STUDENTS	349
<i>AZAMAT IBRAIMOV</i>	
ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TEACHING FOREIGN LANGUAGES: AN EXPERIMENTAL APPROACH	354
<i>KONSTANTINOVA YEKATERINA PAVLOVNA</i>	
STUDY OF PEDAGOGICAL STRATEGIES: INTEGRATING 4C COMPETENCIES IN ART AND CRAFT LESSONS	364
<i>AKHMULAYEVA AISHA SATTAROVNA</i>	
<i>ORAKOVA AMANGUL SHAKHARBEKOVNA</i>	
ЖАС БОЛАШАҚ ПЕДАГОГТАРДЫҢ АКТ-ҚҰЗЫРЕТТІЛІКТЕРІН АРТТЫРУ МАҚСАТЫНДА БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫНА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ЕНГІЗУ	378
<i>ЯХЬЯЕВ НУРСУЛТАН МУХИТОВИЧ</i>	
<i>БРИМЖАНОВА С.С.</i>	

ИНФОРМАТИКАНЫ ОҚЫТУДАҒЫ НЕЙРОКОМПЬЮТЕРЛІК ТЕХНОЛОГИЯЛАР: ТЕОРИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕР ЖӘНЕ БІЛІМ БЕРУ ӘЛЕУЕТІ.....	391
<i>ТӨЛЕГЕН ЕРНАЗ ЕРКЕШУЛЫ</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ СИНТАКСИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ С ДИСГРАФИЕЙ ЧЕРЕЗ ИГРУ...	394
<i>УМАРОВА ФАТИМА МАНСУРОВНА</i>	
<i>БИЛЯЛ А.Н.</i>	
<i>БИШЕМОВА Ш.Р.</i>	
<i>АБЛИКИМОВА Д.К.</i>	

Chemical Sciences

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА.....	410
<i>БУГУБАЕВА ГУЛЬНАР ОСПАНАКУНОВНА</i>	
<i>АБИЛКАСОВА САҢДУҒАШ ОРЫНБАЕВНА</i>	
<i>МУСИНА ЗУХРА МАЛИКОВНА</i>	
<i>АЛИПБАЕВ АМАНБОЛ НАМАДЖАНОВИЧ</i>	

Psychological Sciences

ОБЗОР ОПЫТА ИССЛЕДОВАНИЙ, ПОСВЯЩЕННЫХ НАСТОЛЬНО-РОЛЕВЫМ ИГРАМ.....	414
<i>АТКОНОВА АНГЕЛИНА СЕРГЕЕВНА</i>	
<i>НЕЧЕПУРЕНКО СОФИЯ РОМАНОВНА</i>	
<i>СЕЛИЩЕВА СОФЬЯ АЛЕКСЕЕВНА</i>	
<i>КАСЫМЖАНОВА АНАРГУЛЬ АЛИАКПАРОВНА</i>	
ВЗАИМОСВЯЗЬ ДВИЖЕНИЯ, ЭМОЦИЙ И СОЗНАНИЯ В ТАНЦЕВАЛЬНОЙ ИМПРОВИЗАЦИИ: ЭМПИРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	419
<i>ПИВОВАРОВА ЕЛИЗАВЕТА ВАЛЕРЬЕВНА</i>	
<i>КАСЫМЖАНОВА АНАРГУЛЬ АЛИАКПАРОВНА</i>	

Art History

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ КРЕАТИВНОСТИ И ТВОРЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ВУЗА МУЗЫКАЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ	425
<i>КУРМАНАЕВ ЕРМЕК МАЛИКОВИЧ</i>	
<i>ЕСЕТОВА АЙНУР ТАКЕЕВНА</i>	
<i>СУЛЕЕВА ГУЛЬЖАН СОЗАКПАЕВНА</i>	
<i>АБСАТАРОВА ГУЛСАРА БЕКТУРГАНОВНА</i>	
КИНЕМАТОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕХНИКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕДИАКОНТЕНТА ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ.....	430
<i>ЖАКСЫБАЕВ ДЖАФАР МАРАТОВИЧ</i>	
<i>АСКАР МУРАТ</i>	

Legal Sciences

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРГАНОВ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ.....	437
<i>САПАРОВ РИЗАТ ЕРИКОВИЧ</i>	
INTERNATIONAL LEGAL FOUNDATIONS FOR THE PROTECTION OF THE RIGHTS OF CONVICTED PERSONS: PRINCIPLES, STANDARDS AND MECHANISMS	443
<i>BOROYEV ALI AHMADOVICH</i>	

Journalism

UNIVERSITY NEWS AND PUBLICITY OPTIMIZATION: DEVELOPING A STRATEGIC FRAMEWORK.....	447
<i>LI XIAOFENG</i>	

Physical and Mathematical Sciences

ДЕМОНСТРАЦИЯЛЫҚ ТӘЖІРИБЕЛЕРДІ КӨРСЕТУ ӘДІСТЕРІ	456
<i>РАХЫМБЕКОВ АЙТБАЙ ЖАПАРОВИЧ</i>	
<i>АРАЛОВА ДИНАРА КУВОНДИКОВНА</i>	
<i>ШАЙМАРДАН ҚҰРАЛАЙ</i>	

Geological and Mineralogical Sciences

TRANSFORMATION OF THE DEGREE OF MINERALIZATION OF GROUNDWATER IN THE GUSAR-DEVACHI HYDROGEOLOGICAL BASIN	459
<i>ТАНМАЗОВА МАЛАК-KHANIM</i>	

Agricultural Sciences

PRODUCTION OF ENRICHED SAUSAGES AND INVESTIGATION OF THEIR FUNCTIONAL PROPERTIES	463
<i>SEVINC ELMADDIN HUSEYN</i>	
<i>KONUL VUGAR BALOGHLOVNA</i>	

SURFACE IRRIGATION METHODS FOR AGRICULTURAL CROPS AND THEIR PRACTICAL CHARACTERISTICS	470
<i>O. KHARAISHVILI</i>	
<i>V. DOLIDZE</i>	
<i>T. DARSVELIDZE</i>	
<i>D. BAIDURI</i>	
<i>T. GOGISHVILI</i>	
<i>N. MACHAVARIANI</i>	
<i>N. SUXISVILI</i>	
<i>K. KOKAIA</i>	
<i>TS. KOBALADZE</i>	

Biological Sciences

SCALABLE DEEP LEARNING FOR SINGLE-CELL RNA-SEQ BIG DATA: A HYBRID AUTOENCODER-ATTENTION FRAMEWORK WITH DENSITY-AWARE OUTLIER DETECTION FOR RARE CELL TYPE DISCOVERY	477
<i>DAVID APKHAZAVA</i>	
<i>LEVAN GULUA</i>	
<i>MZIA TSIKLAURI</i>	
<i>MANANA MAKHARADZE</i>	
<i>NODAR SULASHVILI</i>	
<i>CEZAR GOLETIANI</i>	
<i>NINO NEBIERIDZE</i>	
<i>KETEVAN CHAKHNASHVILI</i>	
<i>LOLITA SHENGELIA</i>	
<i>MOHD AMAAN KHAN</i>	
<i>AYUSHI HANUMANT DATIR</i>	
<i>GEORGE MAGLAKELIDZE</i>	
<i>ILIA ATANELISHVILI</i>	
INFLUENCE OF HUMIC SUBSTANCES ON SEED GERMINATION AND EARLY GROWTH OF MEDICAGO SATIVA L. UNDER IN VITRO CONDITIONS.....	497
<i>SATANOVA ALMIRA</i>	
ДЕТЕРМИНАНТЫ СОЦИАЛЬНОЙ ТРЕВОЖНОСТИ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ В ПЕРИОД ПУБЕРТАТНОГО КРИЗИСА У СЛЕПЫХ УЧАЩИХСЯ СТАРШИХ КЛАССОВ.....	504
<i>МАТКАРИМОВА КАМИЛЛА АСКАРОВНА</i>	
<i>АТАБАЕВ ЧИНГИЗ АБУБАКИР-СЫЗДЫҚҰЛЫ</i>	
<i>АСИМОВ МАРАТ АБУБАКРИЕВИЧ</i>	

Technical Sciences

Applications of MySQL in Diverse Computing Environments

Ayshen Mirzayeva

Master's Student, Faculty of Computer Engineering, Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan

Keywords: MySQL, Corporate Systems, Cloud Technologies, IoT (Internet of Things), Data Security

Abstract

This paper investigates the diverse application areas of MySQL across different technological environments. It provides a comprehensive overview of MySQL's utilization in web development, corporate systems, cloud computing, Internet of Things (IoT), and mobile applications. In web environments, MySQL is extensively used in content management systems, e-commerce platforms, and social media applications due to its easy integration with programming languages such as PHP, Python, and Node.js. Within corporate systems, it supports the optimization of business processes including ERP, CRM, and human resource management. In cloud computing, MySQL can be efficiently deployed on platforms like AWS, Google Cloud, and Microsoft Azure to manage large-scale databases. For IoT systems, it enables the collection and analysis of sensor data, supporting innovations in smart cities, industrial automation, and healthcare. Furthermore, in mobile applications, MySQL serves as a robust database solution for authentication, ordering, and delivery systems. Overall, the study highlights MySQL's high performance, security, and flexibility as key factors that make it an ideal solution for data management across various domains.

Introduction

In the modern era, database systems have become an integral part of information technology. Millions of users and organizations rely on various database management systems (DBMS) for data storage, management, and processing purposes. Among these systems, MySQL stands out as one of the most widely used open-source and high-performance database solutions. Due to its flexibility and scalability, MySQL is employed in a wide range of applications — from small-scale projects to large corporate systems.

MySQL Application Areas

1. Use of MySQL in Web Applications

MySQL is one of the main database solutions for dynamic websites and applications operating on the Internet.

Areas of Use:

- Information Portals – News websites, blogs, forums.
 - E-commerce – Online stores, product catalogs, order management systems.
 - Social Media Platforms – User profiles, comments, posts, and messaging systems.
- #### 2. Use of MySQL in Corporate and Business Systems

Large enterprises use MySQL for data management and building automated systems.
Areas of Use:

- ERP and CRM systems use MySQL to manage customer and business data.
- Banking and financial systems store user accounts, transaction history, and reports using MySQL.

Example:

Credit System in MySQL:

The credit system is used by financial institutions to provide loans to customers, manage these loans, and track repayments. The following key elements are essential for building a credit system in MySQL:

1. Management of customer data
2. Registration of credit applications
3. Tracking of credit payments
4. Calculation of interest rates and penalties
5. Automatic reports and analytics

1. Management of Customer Data

Since the credit system is linked to customers, a table should be created to store customer information.

Table 1: Customers

```
1 CREATE TABLE Musteri (  
2     muster_id INT PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT,  
3     ad VARCHAR(50) NOT NULL,  
4     soyad VARCHAR(50) NOT NULL,  
5     telefon VARCHAR(15) UNIQUE,  
6     email VARCHAR(100) UNIQUE,  
7     qeydiyyat_tarixi TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP );  
8 SHOW TABLES;  
9  
10  
INSERT INTO Musteri (ad, soyad, telefon, email)  
VALUES  
( 'Elvin', 'Mammadov', '0501234567', 'elvin@example.com'),  
( 'Aysel', 'Quliyeva', '0559876543', 'aysel@example.com'),  
( 'Murad', 'Aliyev', '0701112233', 'murad@example.com');  
SELECT * FROM Musteri;
```

STDIN

Input for the program (Optional)

Output:

```
+-----+  
| Tables_in_sandbox_db |  
+-----+  
| muster_i |  
+-----+
```

```
+-----+-----+-----+-----+-----+  
| muster_id | ad | soyad | telefon | email |  
+-----+-----+-----+-----+-----+  
| 1 | Elvin | Mammadov | 0501234567 | elvin@example.com |  
| 2 | Aysel | Quliyeva | 0559876543 | aysel@example.com |  
| 3 | Murad | Aliyev | 0701112233 | murad@example.com |  
+-----+-----+-----+-----+-----+
```

Usage:

- To register customer information.
- Each customer must have a unique ID so that credits can be linked to them.

2. Registration of Credit Applications

When customers apply for a loan, this information should be stored in a separate table.

Table 2: Credits

```
CREATE TABLE Kredit (  
    kredit_id INT PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT, -- Kredit üçün unikal ID  
    muster_id INT, -- Müştərinin ID-si (Musteri cədvəlindən gəlir)  
    mebleg DECIMAL(15,2) NOT NULL, -- Kredit məbləği (məs: 10000.00)  
    faiz_orani DECIMAL(5,2) NOT NULL, -- Faiz faizi (məs: 12.50)  
    muddet_ay INT NOT NULL, -- Kreditin müddəti (aylarla)  
    aylıq_odenis DECIMAL(15,2), -- Hər ay ödəniləcək məbləğ  
    baslama_tarixi DATE NOT NULL, -- Kreditin başladığı tarix  
    son_odenis_tarixi DATE, -- Son ödəniş tarixi (bazən boş ola bilər)  
    status ENUM('tesdiq', 'odenir', 'baglandi') DEFAULT 'tesdiq', -- Kreditin vəziyyəti  
    FOREIGN KEY (muster_id) REFERENCES Musteri(muster_id) -- Əlaqə Musteri cədvəli ilə  
);  
SHOW TABLES;
```

```
+-----+  
| Tables_in_db_442kyetcs_442m4dext |  
+-----+  
| kredit |  
| muster_i |  
+-----+
```

Usage:

- To store the main conditions of the loans taken by customers.
- It is possible to automatically calculate the monthly payment of the loan.

3. Monitoring of Loan Payments

A separate table should be maintained to track each customer's monthly payments.

- To monitor whether the customer has made the payment or not.
- To calculate penalties for delays.
- To identify overdue loan payments.
- To add late payment interest rates.

Table 3: Loan Payments

```
SELECT K.kredit_id, M.ad, M.soyad, O.mebleg, O.odeme_tarixi, O.status
FROM Odenisler O
JOIN Kredit K ON O.kredit_id = K.kredit_id
JOIN Musteri M ON K.musteri_id = M.musteri_id
WHERE O.status = 'gecikdi';
```

kredit_id	ad	soyad	mebleg	odeme_tarixi	status
1	Elvin	Məmmədov	888.49	2025-10-24	gecikdi
...	...	...	...	...	...

4. Calculation of Interest and Penalties

Penalty interest rates can be applied for overdue payments.

Table 4: Adding Penalties for Delays

```
70 UPDATE Odenisler
71 SET gecikme = mebleg * 0.02
72 WHERE status = 'gecikdi';
73 SELECT * FROM Odenisler WHERE status = 'gecikdi';
74
```

odenis_id	kredit_id	mebleg	odeme_tarixi	gecikme	status
1	1	1000.00	2025-10-01	20.00	gecikdi
2	1	888.49	2025-10-05	0	odenildi
3	2	1500.00	2025-10-10	30.00	gecikdi

2% delay penalty is calculated here.

5. Automatic Reports and Analytics

Table 5: Active Loans by Bank

```
75 SELECT COUNT(*) AS aktiv_kredit_sayi, SUM(mebleg) AS toplam_kredit
76 FROM Kredit
77 WHERE status = 'odenir';
```

A

kredit_id	musteri_id	mebleg	status
1	1	10000	odenir
2	2	15000	baglandi
3	3	5000	odenir

Customers with the highest loan debt

```
SELECT M.ad, M.soyad, SUM(K.mebleg) AS toplam_borc
FROM Kredit K
JOIN Musteri M ON K.musteri_id = M.musteri_id
WHERE K.status = 'odenir'
GROUP BY M.musteri_id
ORDER BY toplam_borc DESC
LIMIT 5;
SHOW TABLES;
```

Overdue loans in the last 30 days

```
88 SELECT K.kredit_id, M.ad, M.soyad, O.odeme_tarixi, O.gecikme
89 FROM Odenisler O
90 JOIN Kredit K ON O.kredit_id = K.kredit_id
91 JOIN Musteri M ON K.musteri_id = M.musteri_id
92 WHERE O.status = 'gecikdi' AND O.odeme_tarixi >= DATE_SUB(CURDATE(), INTERVAL 30 DAY);
93
```

3.Application of MySQL in Cloud Technologies

Cloud-based solutions enable companies to manage large volumes of data securely and flexibly.

Areas of Use:

- **SaaS (Software as a Service)** – Services such as Gmail and Google Drive.
- **Cloud-based Backup Systems** – Secure storage and recovery of data.
- **Microservice Architectures** – Building flexible and distributed systems.

Popular Cloud MySQL Services:

- Amazon RDS (Relational Database Service)
- Google Cloud SQL
- Azure Database for MySQL

Conclusion

MySQL is widely used across environments ranging from web applications to corporate systems, from cloud technologies to IoT and mobile applications. Its flexibility, high performance, and security features allow it to be successfully deployed in various settings. The power and widespread use of MySQL make it one of the most popular database management systems.

References

1. DuBois, P. (2014). *MySQL: The Definitive Guide to Using, Programming, and Administering MySQL 5 and 8*. O'Reilly Media.
2. Oppel, A. J. (2009). *Databases Demystified: A Self-Teaching Guide*. McGraw Hill.
3. Silberschatz, A., Korth, H. F., & Sudarshan, S. (2019). *Database System Concepts*. McGraw Hill.
4. MySQL Documentation. (2024). *MySQL 8.0 Reference Manual*. Oracle Corporation. <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.0/en/>
5. Oracle Corporation. (2023). *MySQL Security Best Practices*. <https://www.oracle.com/mysql/>
6. Amazon Web Services (AWS). (2024). *Amazon RDS for MySQL Documentation*. <https://aws.amazon.com/rds/mysql/>

АНАЛИЗ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И ОБЪЯСНИМОСТИ СИСТЕМ RETRIEVAL- AUGMENTED GENERATION

Мырзабай Әділет Еркеғалиұлы

Студент 2 курса магистратуры, Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казахстан

Козбакова Айнур Холдасовна

Доктор Ph.D. Ассоциированный профессор, Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казахстан

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к повышению точности и объяснимости систем Retrieval-Augmented Generation (RAG), применяемых совместно с большими языковыми моделями. Актуальность исследования обусловлена ограничениями традиционных LLM, связанными с генерацией недостоверной информации и недостаточной прозрачностью процесса формирования ответов. В статье проведён системный анализ существующих методов, направленных на улучшение качества извлечения контекста, оптимизацию генерации и обеспечение интерпретируемости результатов. Предложена классификация методов повышения точности и объяснимости, включающая подходы на уровне retrieval, генерации и их комбинаций, а также методы трассировки источников и оценки согласованности ответов. Выполнен сравнительный анализ выделенных групп методов с точки зрения их влияния на ключевые характеристики RAG-систем и выявлены их основные ограничения. Полученные результаты позволяют структурировать существующие решения и формируют основу для дальнейших исследований в области создания более надёжных и объяснимых систем на базе LLM.

Ключевые слова: Большие Языковые Модели, RAG, Объяснимость, Точность, Галлюцинации, Извлечение Информации, Интерпретируемость, Искусственный Интеллект, Обработка Естественного Языка.

Введение

Современные большие языковые модели (LLM) демонстрируют высокую способность к генерации связного текста, однако их применение в критически важных областях ограничивается двумя ключевыми проблемами: недостаточной точностью и отсутствием объяснимости результатов. Модели склонны к так называемым «галлюцинациям», формируя правдоподобные, но фактически неверные ответы, а также не предоставляют прозрачного обоснования своих выводов. Одним из наиболее перспективных подходов к решению данных проблем является архитектура RAG, сочетающая генеративные возможности LLM с механизмами извлечения релевантной информации из внешних источников. В отличие от классических языковых моделей, RAG опирается не только на параметры модели, но и на актуальные данные, извлекаемые из баз знаний, что потенциально повышает как точность, так и интерпретируемость ответов.

Несмотря на активное развитие данного направления, методы повышения эффективности RAG остаются разрозненными, а их систематизация и анализ влияния на

ключевые характеристики системы недостаточно проработаны. В этой связи целью настоящей работы является формирование классификации методов повышения точности и объяснимости RAG-систем, а также анализ их взаимосвязей и ограничений.

Архитектура RAG-систем

Базовая архитектура RAG представляет собой гибридную систему, объединяющую методы поиска информации и генеративные возможности больших языковых моделей. В отличие от традиционных LLM, которые опираются исключительно на параметры, полученные в процессе обучения, RAG использует внешний контекст, извлекаемый из специализированных хранилищ знаний, что позволяет динамически расширять информационную базу системы.

Процесс функционирования RAG начинается с обработки пользовательского запроса. На первом этапе текст запроса преобразуется в векторное представление с использованием embedding-модели. Это представление отражает семантическое содержание запроса и позволяет осуществлять поиск не по точному совпадению слов, а по смысловой близости. Качество embedding напрямую влияет на релевантность найденных документов, поэтому выбор модели кодирования является критически важным. Далее вектор запроса используется модулем поиска для обращения к хранилищу знаний. В качестве такого хранилища чаще всего выступают векторные базы данных, содержащие предварительно проиндексированные документы или их фрагменты. Поиск осуществляется на основе метрик сходства, таких как косинусное расстояние или скалярное произведение. Важно отметить, что на данном этапе система отбирает ограниченное число наиболее релевантных документов, что накладывает ограничения на полноту контекста.

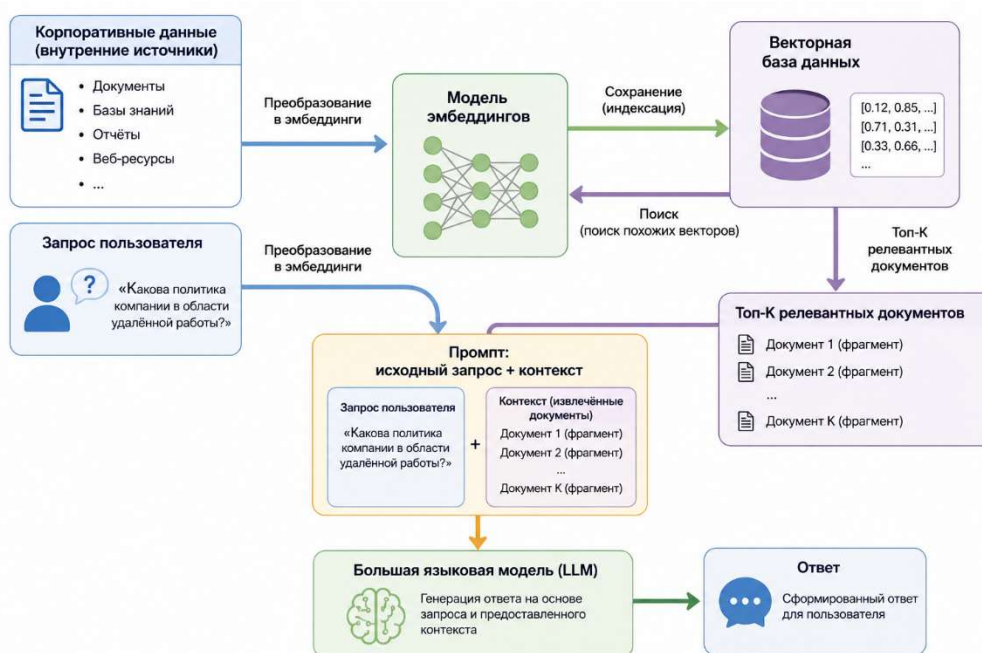


Рисунок 1. Обобщённая архитектура системы Retrieval-Augmented Generation с использованием векторного поиска и больших языковых моделей

Хранилище знаний является ключевым элементом архитектуры, определяющим актуальность и достоверность информации. Оно может включать как статические корпуса текстов, так и динамически обновляемые источники, такие как базы знаний организаций. Важной особенностью является предварительная обработка данных: документы разбиваются на фрагменты, индексируются и снабжаются метаданными, что повышает

эффективность поиска. После извлечения релевантных документов происходит этап интеграции контекста. Найденные фрагменты объединяются с исходным запросом и формируют расширенный вход для генеративной модели. На данном этапе возникает одна из ключевых проблем RAG - ограничение контекстного окна LLM. Избыточный объём информации может привести к ухудшению качества ответа, тогда как недостаток контекста снижает точность [1]. Поэтому применяются различные стратегии отбора и структурирования контента. Генеративная модель, получив расширенный контекст, формирует итоговый ответ. В отличие от классического использования LLM, здесь модель должна учитывать предоставленные источники и, в идеале, опираться исключительно на них. Однако на практике модель может частично игнорировать контекст или дополнять его собственной внутренней информацией, что приводит к искажению результатов. Отдельного внимания заслуживает взаимодействие между компонентами системы. Архитектура RAG может быть реализована как в виде линейного конвейера, так и в более сложных вариантах с обратной связью. Например, в итеративных системах модель может формировать уточняющие запросы для повторного поиска, что повышает полноту извлекаемой информации. Также возможны архитектуры с промежуточной валидацией, где результаты генерации проверяются на соответствие источникам. Существенным аспектом является масштабируемость системы. При увеличении объёма данных возрастает нагрузка на модуль поиска, что требует использования эффективных индексов и методов приближённого поиска. Одновременно увеличивается сложность управления качеством данных, включая удаление дубликатов, фильтрацию нерелевантной информации и обновление базы знаний. Архитектура RAG представляет собой сложную многоуровневую систему, в которой качество итогового ответа определяется не только возможностями генеративной модели, но и эффективностью поиска, структурой хранилища знаний и методами интеграции контекста. Именно согласованная работа всех компонентов позволяет достичь повышения точности и частичной объяснимости по сравнению с традиционными языковыми моделями.

Классификация методов повышения точности

Повышение точности систем Retrieval-Augmented Generation представляет собой комплексную задачу, затрагивающую все этапы обработки запроса - от извлечения релевантной информации до формирования итогового ответа. В отличие от классических LLM, где основным источником ошибок является ограниченность обучающих данных, в RAG-системах точность определяется качеством взаимодействия между модулем поиска и генеративной моделью. В этой связи методы повышения точности целесообразно классифицировать по трём основным направлениям: оптимизация retrieval, улучшение генерации и гибридные подходы, объединяющие оба уровня [2].

Первая группа методов направлена на повышение качества извлекаемого контекста, поскольку именно на этом этапе формируется информационная база, на которую будет опираться генеративная модель. Ошибки retrieval носят критический характер: даже идеально настроенная LLM не сможет сформировать корректный ответ при отсутствии релевантных данных. Ключевым направлением является выбор и настройка embedding-моделей. Современные подходы используют плотные векторные представления, формируемые нейросетевыми моделями, которые способны учитывать контекст и семантические связи между словами. Более точные embedding-модели позволяют существенно повысить качество поиска, особенно в случаях, когда формулировка запроса отличается от формулировок в документах.

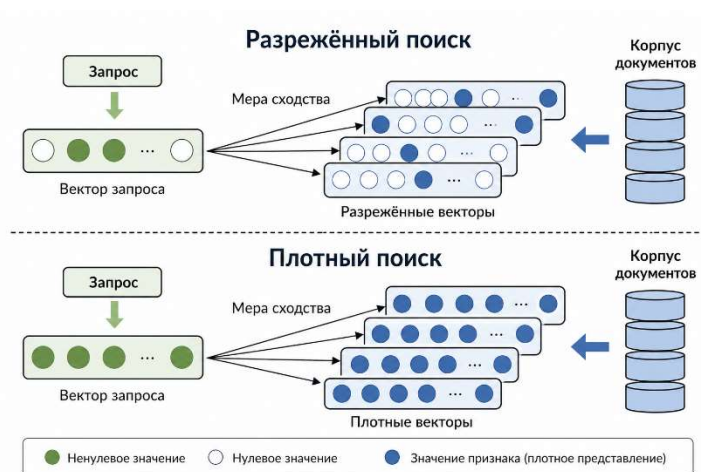


Рисунок 2. Сравнение разрежённого и плотного методов поиска в задачах извлечения информации

Не менее важным фактором является стратегия разбиения документов на фрагменты. Оптимальный размер фрагмента определяется компромиссом между полнотой контекста и точностью поиска. Крупные фрагменты увеличивают вероятность включения нерелевантной информации, тогда как слишком мелкие могут привести к потере смысловой связности. В современных системах применяются адаптивные методы chunking, учитывающие структуру текста, например, разделение по смысловым блокам или заголовкам. Дополнительное повышение точности достигается за счёт использования гибридного поиска, сочетающего плотные и разреженные представления, такие как BM25. Такой подход позволяет учитывать как точное совпадение терминов, так и семантическую близость, что особенно эффективно в сложных запросах. Важным элементом является этап повторного ранжирования. После первичного отбора документов более точные модели, например кросс-энкодеры, используются для уточнения порядка релевантности. Несмотря на высокую вычислительную стоимость, reranking значительно повышает качество top-k результатов и, как следствие, итоговую точность системы [3].

Вторая группа методов направлена на повышение качества работы генеративной модели при использовании извлечённого контекста. Даже при наличии релевантной информации LLM может некорректно интерпретировать данные или дополнять их недостоверными сведениями. Одним из ключевых направлений является управление контекстом. Поскольку LLM имеют ограниченное контекстное окно, важно обеспечить подачу только релевантной и структурированной информации. Для этого применяются методы фильтрации, удаления дубликатов и ранжирования фрагментов перед генерацией. Кроме того, используется структурирование входных данных, например, разделение на блоки с указанием источников, что облегчает интерпретацию информации моделью. Значительную роль играет prompt engineering - формирование входных инструкций для модели. Корректно составленный промпт может существенно снизить вероятность галлюцинаций, задавая строгие рамки генерации. Например, модели может быть явно указано использовать только предоставленные источники или указывать ссылки на них в ответе. Дополнительно применяются методы post-processing, включающие проверку и корректировку сгенерированного ответа. Это может быть повторная генерация с уточнённым контекстом или использование вспомогательных моделей для оценки достоверности результата.

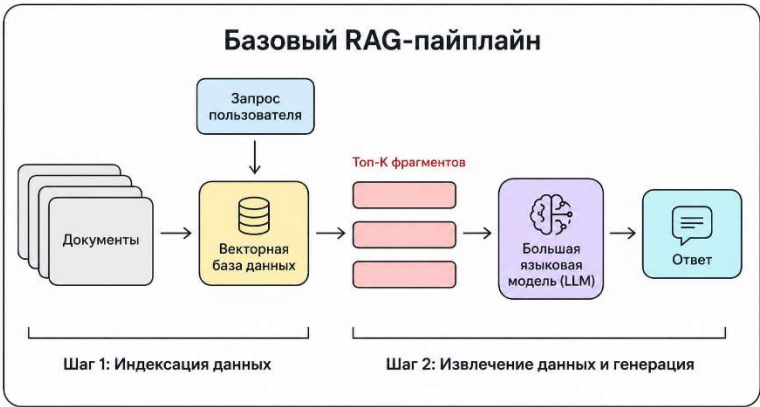


Рисунок 3. Схема базового конвейера обработки данных в RAG-системе

Третья группа методов объединяет подходы, направленные на одновременное улучшение retrieval и генерации. Такие методы рассматривают RAG как единую систему с обратной связью между компонентами. Одним из наиболее перспективных направлений является итеративный retrieval, при котором система выполняет несколько циклов поиска и генерации. На каждом этапе модель может уточнять запрос, формируя новые поисковые выражения на основе промежуточных результатов. Это позволяет существенно повысить полноту и релевантность извлекаемой информации. Другим важным подходом является использование механизмов обратной связи. Система может оценивать качество ответа и при необходимости инициировать повторный поиск или генерацию. В более сложных архитектурах применяются агентные модели, способные самостоятельно принимать решения о необходимости дополнительных шагов обработки [4].

Также к гибридным методам относятся подходы, интегрирующие дополнительные источники знаний, такие как графы знаний или структурированные базы данных, что позволяет улучшить логическую согласованность ответов.

Для систематизации рассмотренных подходов представим их сравнительный анализ с точки зрения влияния на ключевые аспекты точности.

Таблица 1. Сравнительный анализ методов повышения точности

Категория методов	Основной эффект	Уровень влияния	Вычислительная сложность	Устойчивость к ошибкам
Оптимизация retrieval	Повышение релевантности контекста	Высокий	Средняя	Низкая
Улучшение генерации	Снижение искажений ответа	Средний	Низкая–средняя	Средняя
Гибридные методы	Комплексное улучшение	Высокий	Высокая	Высокая

Анализ показывает, что наибольший вклад в точность вносит именно этап retrieval, однако максимальный эффект достигается при использовании гибридных подходов, обеспечивающих согласованную работу всех компонентов системы. Таким образом, повышение точности RAG-систем требует комплексного подхода, учитывающего особенности как извлечения информации, так и её последующей интерпретации. Представленная классификация позволяет структурировать существующие методы и выявить направления для дальнейших исследований, направленных на создание более надёжных и устойчивых систем генерации.

Классификация методов повышения объяснимости систем Retrieval-Augmented Generation

Повышение точности и объяснимости систем RAG представляет собой взаимосвязанную задачу, в которой качество итогового ответа определяется не только корректностью извлечённой информации, но и степенью прозрачности её использования при генерации. В отличие от классических больших языковых моделей, где объяснение результата зачастую отсутствует, RAG-системы потенциально позволяют проследить происхождение ответа. Однако на практике достижение одновременно высокой точности и объяснимости требует комплексного подхода, включающего оптимизацию всех этапов обработки данных. В рамках данного исследования методы повышения эффективности RAG предлагается рассматривать как единую систему, в которой механизмы улучшения точности и объяснимости тесно переплетены. С этой точки зрения можно выделить несколько ключевых направлений: оптимизация retrieval, улучшение генерации, методы трассировки источников, оценка согласованности и гибридные архитектуры. Современные подходы к RAG всё чаще рассматривают систему как замкнутый цикл, в котором этапы поиска, генерации и валидации взаимно усиливают друг друга. Повышение точности напрямую влияет на объяснимость, поскольку корректно найденные источники облегчают интерпретацию ответа. В то же время механизмы объяснимости позволяют выявлять ошибки, возникающие на предыдущих этапах, что способствует улучшению общей точности системы.



Рисунок 4. Архитектура формирования контекста в системах на основе больших языковых моделей

Первичный этап обработки - извлечение релевантной информации - оказывает определяющее влияние как на точность, так и на объяснимость. Использование современных embedding-моделей позволяет повысить семантическую релевантность найденных документов, что снижает вероятность генерации ошибочных ответов. Однако важно отметить, что даже при высокой точности retrieval объяснимость может оставаться ограниченной, если отсутствует явная связь между источниками и ответом. Дополнительные методы, такие как гибридный поиск и reranking, не только повышают качество отбора документов, но и способствуют более прозрачной интерпретации результатов, поскольку позволяют отбирать наиболее релевантные и информативные источники. Тем не менее зависимость от качества исходных данных остаётся ключевым ограничением данного подхода. На этапе генерации важнейшую роль играет способность модели корректно использовать предоставленный контекст. Методы управления контекстом, включая фильтрацию и структурирование входных данных, позволяют снизить вероятность искажений и повысить согласованность ответа [5].

С точки зрения объяснимости значительный эффект достигается за счёт prompt engineering, при котором модели задаются явные инструкции по использованию источников. Например, требование указывать ссылки или формировать ответ исключительно на основе предоставленного контекста способствует повышению прозрачности. Однако данные методы имеют ограниченную интерпретируемость, поскольку внутренняя логика модели остаётся недоступной для анализа.

Одним из ключевых направлений повышения объяснимости является трассировка источников, позволяющая установить связь между отдельными частями ответа и конкретными документами. Такой подход значительно повышает доверие к системе, поскольку пользователь получает возможность проверить достоверность информации. Тем не менее следует учитывать, что наличие ссылок не гарантирует корректность ответа. Возможна ситуация, при которой модель использует источники формально, но интерпретирует их неверно, что приводит к феномену ложной объяснимости. Для преодоления проблемы ложной объяснимости применяются методы оценки согласованности, направленные на проверку соответствия ответа извлечённому контексту. Эти методы включают как автоматические метрики, так и дополнительные модели, оценивающие степень зависимости ответа от источников. С практической точки зрения такие подходы позволяют выявлять случаи, когда модель выходит за пределы предоставленного контекста или искажает информацию. Однако их применение связано с дополнительными вычислительными затратами, что ограничивает использование в реальных системах с высокими требованиями к производительности. Современные исследования всё чаще ориентированы на создание архитектур, изначально ориентированных на объяснимость. Это включает явное разделение этапов обработки, использование промежуточных представлений и внедрение механизмов обратной связи.

Гибридные подходы объединяют методы повышения точности и объяснимости, формируя замкнутые циклы обработки. Например, система может выполнять повторный поиск на основе сгенерированного ответа или использовать результаты оценки согласованности для корректировки генерации. Такие архитектуры обеспечивают наилучшие результаты, однако характеризуются высокой сложностью реализации. Для систематизации рассмотренных подходов представим их сравнительный анализ.

Таблица 2. Сравнительный анализ методов

Группа методов	Влияние на точность	Влияние на объяснимость	Основные преимущества	Ограничения
Оптимизация retrieval	Высокое	Среднее	Повышение релевантности контекста	Зависимость от качества данных
Улучшение генерации	Среднее	Низкое	Снижение искажений	Ограниченная прозрачность
Трассировка источников	Низкое	Высокое	Повышение доверия	Ложная объяснимость
Методы согласованности	Среднее	Высокое	Контроль достоверности	Высокие вычислительные затраты
Гибридные подходы	Высокое	Высокое	Комплексное улучшение системы	Сложность реализации

Проведённый анализ показывает, что между точностью и объяснимостью существует сложная взаимосвязь. Методы, направленные исключительно на повышение точности, не всегда обеспечивают прозрачность, тогда как подходы, ориентированные на объяснимость, могут не влиять на качество ответа. Наиболее эффективными являются гибридные решения, обеспечивающие баланс между этими характеристиками. Повышение точности и объяснимости RAG-систем требует комплексного подхода, учитывающего особенности всех этапов обработки данных. Предложенная классификация позволяет не только систематизировать существующие методы, но и определить направления дальнейших исследований, направленных на создание более надёжных, прозрачных и эффективных систем на базе больших языковых моделей.

Проблемы, ограничения и перспективные направления развития RAG-систем

Несмотря на значительный потенциал архитектуры Retrieval-Augmented Generation, её практическое применение сопровождается рядом фундаментальных ограничений, которые напрямую влияют как на точность, так и на объяснимость результатов. Одной из ключевых проблем является зависимость качества системы от используемых источников данных. В отличие от полностью обученных языковых моделей, RAG опирается на внешние базы знаний, которые могут содержать устаревшую, неполную или нерелевантную информацию. В таких условиях даже корректно работающий механизм поиска не гарантирует достоверность итогового ответа. Более того, наличие ссылок на источники создаёт лишь видимость прозрачности: пользователь может воспринимать ответ как обоснованный, несмотря на возможные искажения при интерпретации данных моделью. Данный эффект, известный как «ложная объяснимость», представляет собой серьёзный вызов для практического внедрения RAG-систем в критически важных областях. Существенным ограничением является и сложность масштабирования. По мере роста объёма хранимых данных увеличивается нагрузка на модуль поиска, что приводит к росту времени отклика и необходимости использования более сложных алгоритмов индексирования и приближённого поиска. Это, в свою очередь, усложняет архитектуру системы и повышает требования к вычислительным ресурсам. Дополнительной проблемой становится управление качеством данных: необходимо регулярно обновлять хранилища, удалять дубликаты, контролировать релевантность информации. В противном случае эффективность retrieval существенно снижается, что негативно отражается на всей системе. Отдельного внимания заслуживает противоречие между точностью и производительностью. Методы, повышающие точность, такие как reranking или использование более сложных моделей, как правило, увеличивают вычислительные затраты и время обработки запроса. Напротив, упрощение архитектуры и сокращение числа операций ускоряет работу системы, но может приводить к снижению качества ответов. Таким образом, разработка RAG-систем требует поиска компромисса между этими характеристиками, что усложняет проектирование и внедрение решений [6].

В контексте выявленных ограничений особую значимость приобретают перспективные направления развития RAG-систем, направленные на преодоление существующих проблем. Одним из ключевых направлений является интеграция дополнительных источников знаний, включая графы знаний и структурированные базы данных. В отличие от неструктурированных текстовых корпусов, такие источники позволяют учитывать семантические связи между сущностями, что повышает логическую согласованность ответов и способствует улучшению объяснимости. Другим важным направлением является развитие адаптивных механизмов retrieval. В традиционных RAG-системах стратегия поиска, как правило, фиксирована, тогда как современные подходы предполагают динамическую настройку параметров поиска в зависимости от типа запроса.

Это может включать изменение количества извлекаемых документов, выбор различных моделей представления данных или использование многошагового поиска с уточнением запроса. Подобные методы позволяют более гибко учитывать особенности задачи и повышать точность системы.

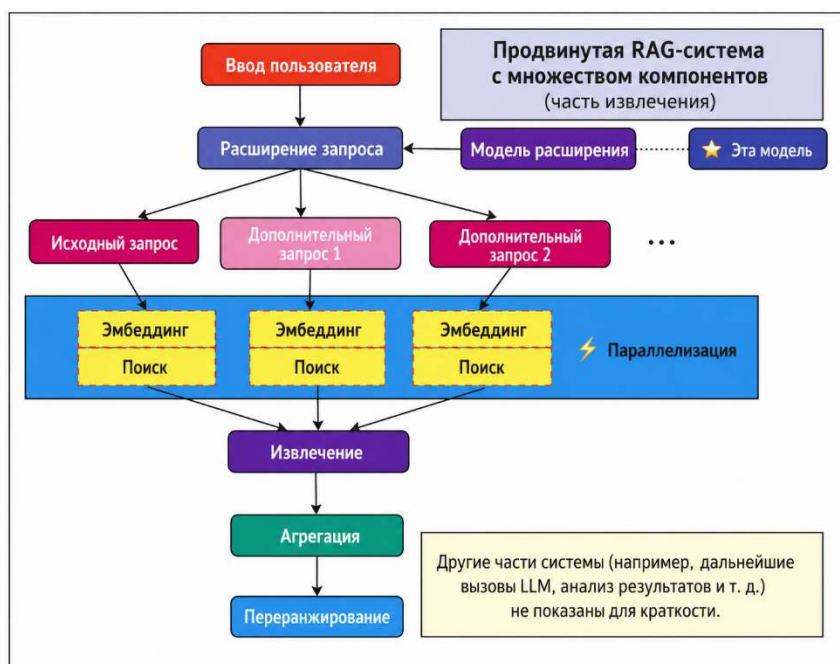


Рисунок 5. Схема многоэтапного процесса извлечения информации в RAG-системе с расширением запросов

Значительное внимание также уделяется разработке методов автоматической оценки объяснимости. Формализация данного показателя открывает возможность его использования не только для анализа, но и для обучения моделей. В частности, перспективным является внедрение метрик согласованности и механизмов валидации, позволяющих оценивать степень соответствия ответа извлечённому контексту. Это способствует снижению уровня галлюцинаций и повышению доверия к системе. Развитие RAG-систем осуществляется в направлении повышения их надёжности, адаптивности и прозрачности. Несмотря на существующие ограничения, интеграция новых подходов и технологий позволяет рассматривать RAG как одну из ключевых архитектур для построения объяснимых и точных систем на основе больших языковых моделей.

Заключение

В настоящей работе проведён комплексный анализ методов повышения точности и объяснимости систем Retrieval-Augmented Generation и предложена их обобщённая классификация, охватывающая этапы извлечения информации, генерации и интерпретации результатов. Показано, что эффективность RAG-систем определяется совокупностью взаимосвязанных факторов, включая качество механизма retrieval, релевантность и актуальность используемых источников данных, способы интеграции контекста в генеративную модель, а также наличие механизмов контроля согласованности и прозрачности ответов. Проведённый анализ позволил выявить, что наибольший вклад в повышение точности вносят методы оптимизации поиска, в то время как обеспечение объяснимости требует дополнительных механизмов, таких как трассировка источников и оценка согласованности. При этом показано, что изолированное применение отдельных методов не обеспечивает устойчивого улучшения качества системы, тогда как наилучшие

результаты достигаются при использовании гибридных подходов, объединяющих различные уровни обработки данных.

Предложенная классификация позволяет систематизировать существующие научные и практические решения, а также выявить ключевые ограничения современных RAG-систем, включая зависимость от качества данных, проблему ложной объяснимости и необходимость балансировки между точностью и вычислительной эффективностью. Это создаёт основу для более структурированного подхода к проектированию и анализу подобных систем. Практическая значимость работы заключается в возможности использования предложенной классификации при разработке и оценке RAG-архитектур в различных прикладных областях. Теоретическая значимость связана с формализацией взаимосвязи между точностью и объяснимостью, что является важным направлением в развитии систем на основе больших языковых моделей.

В качестве перспектив дальнейших исследований можно выделить разработку унифицированных метрик оценки объяснимости, создание адаптивных механизмов retrieval, а также интеграцию RAG со структурированными источниками знаний. Реализация данных направлений позволит повысить надёжность, интерпретируемость и практическую применимость систем, основанных на Retrieval-Augmented Generation.

Список источников:

1. Lewis P., Perez E., Piktus A. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // NeurIPS.- 2020.
2. Gao Y., Xiong Y., Gao X. Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey.- 2023.
3. Mialon G., Dessì R., Lomeli M. Augmented Language Models: A Survey // Transactions of the Association for Computational Linguistics.- 2023.
4. Izacard G., Grave E. Leveraging Passage Retrieval with Generative Models for Open Domain Question Answering // ACL.- 2021.
5. Khattab O., Zaharia M. ColBERT: Efficient and Effective Passage Search via Contextualized Late Interaction // SIGIR.- 2020.
6. Lin J., Nogueira R., Yates A. Pretrained Transformers for Text Ranking: BERT and Beyond // arXiv:2010.06467.- 2021.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ SIEM В ВЫЯВЛЕНИИ КИБЕРАТАК В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Бакытжан Ернар Бакытжанулы

Студент 2 курса магистратуры, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Адилжанова Салтанат Альмуханбетовна

Доктор Ph.D. Ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Аннотация. В условиях стремительной цифровизации и роста числа распределённых информационных систем обеспечение кибербезопасности в реальном времени становится одной из ключевых задач современных организаций. Существенное усложнение атак, включая многоэтапные целевые воздействия и использование скрытых техник обхода средств защиты, требует внедрения интеллектуальных инструментов мониторинга и анализа событий безопасности. В данной статье представлен расширенный обзор эффективности систем Security Information and Event Management в выявлении кибератак в реальном времени. Рассматриваются архитектурные особенности SIEM, включая процессы сбора, нормализации, хранения и корреляции событий из разнородных источников данных. Особое внимание уделяется механизмам обнаружения инцидентов, основанным на правилах корреляции и поведенческом анализе. Проанализированы ключевые метрики эффективности, такие как время обнаружения угроз, время реагирования, а также уровень ложноположительных и ложноотрицательных срабатываний. Отмечается, что эффективность SIEM во многом определяется качеством входных данных, полнотой логирования и корректностью настройки корреляционных правил.

В работе также рассмотрены ограничения традиционных SIEM-систем, включая проблемы масштабируемости, перегрузку аналитиков из-за большого количества оповещений и недостаточную адаптивность к новым видам атак. В качестве направлений повышения эффективности анализируются современные подходы, такие как интеграция методов машинного обучения, использование поведенческой аналитики пользователей и сущностей.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что, несмотря на существующие ограничения, SIEM остаётся ключевым элементом инфраструктуры кибербезопасности, обеспечивающим централизованный мониторинг и оперативное выявление угроз. Перспективы развития данных систем связаны с переходом к интеллектуальным, адаптивным и самообучающимся решениям, способным существенно повысить точность и скорость обнаружения кибератак в условиях динамично изменяющейся угрозной среды.

Ключевые слова: SIEM, информационная безопасность, мониторинг в реальном времени, кибератаки, корреляция событий, SOC, обнаружение угроз, машинное обучение.

Введение

В условиях стремительной цифровой трансформации, сопровождающейся активным внедрением облачных технологий, микросервисных архитектур и распределённых

вычислительных сред, обеспечение информационной безопасности становится одной из приоритетных задач как для государственных, так и для корпоративных структур. Расширение периметра инфраструктуры, увеличение числа подключённых устройств и рост объёмов обрабатываемых данных существенно усложняют процессы мониторинга и защиты информационных систем. Одновременно с этим наблюдается качественная эволюция киберугроз: современные атаки характеризуются многоэтапностью, использованием сложных техник обхода средств защиты, а также высокой степенью скрытности и адаптивности. В этих условиях традиционные средства защиты, ориентированные преимущественно на сигнатурный анализ и изолированное обнаружение инцидентов, оказываются недостаточно эффективными. Возникает необходимость в централизованных платформах, способных агрегировать события безопасности из различных источников, проводить их комплексный анализ и выявлять взаимосвязи между, на первый взгляд, разрозненными инцидентами. Именно такую роль выполняют системы класса Security Information and Event Management, которые являются ключевым элементом современных центров мониторинга безопасности.

SIEM-системы обеспечивают непрерывный сбор, нормализацию и хранение журналов событий, поступающих от сетевых устройств, серверов, приложений и средств защиты информации. Центральным компонентом данных систем является механизм корреляции, позволяющий выявлять сложные сценарии атак за счёт анализа последовательностей событий и установления причинно-следственных связей между ними. Это даёт возможность обнаруживать угрозы, которые невозможно идентифицировать при анализе отдельных событий в изоляции. Одной из основных задач SIEM является обеспечение выявления инцидентов безопасности в режиме, максимально приближенном к реальному времени. Это особенно важно в контексте сокращения временного окна между началом атаки и её обнаружением, поскольку задержка в выявлении угроз напрямую влияет на масштаб потенциального ущерба. Однако достижение высокой эффективности в реальном времени сопряжено с рядом технических и организационных вызовов, включая необходимость обработки больших объёмов данных, обеспечение высокой производительности систем и минимизацию задержек при анализе событий.

Эффективность функционирования SIEM определяется совокупностью факторов. Ключевыми из них являются качество и полнота входных данных, корректность настройки механизмов корреляции, уровень автоматизации обработки инцидентов, а также интеграция с внешними источниками информации об угрозах. Существенное влияние оказывает и человеческий фактор, связанный с квалификацией аналитиков SOC и способностью интерпретировать результаты анализа. При этом одной из наиболее острых проблем остаётся высокий уровень ложноположительных срабатываний, приводящий к перегрузке специалистов и снижению общей эффективности реагирования. В последние годы наблюдается активное развитие SIEM-систем в направлении повышения интеллектуальности и адаптивности. В частности, внедрение методов машинного обучения и поведенческой аналитики позволяет выявлять ранее неизвестные угрозы и снижать зависимость от статических правил. Кроме того, интеграция SIEM с системами автоматизации реагирования SOAR способствует ускорению обработки инцидентов и снижению нагрузки на персонал. Анализ эффективности SIEM в выявлении кибератак в реальном времени представляет собой актуальную научно-практическую задачу. Проведение такого анализа позволяет выявить существующие ограничения, определить направления совершенствования и сформировать подходы к построению более эффективных систем мониторинга безопасности, способных адекватно противостоять современным киберугрозам.

Архитектура и принципы работы SIEM

Типичная архитектура систем класса Security Information and Event Management представляет собой многоуровневую структуру, обеспечивающую полный цикл обработки событий безопасности - от их получения до визуализации и реагирования. В основе лежит принцип централизованного агрегирования данных из различных источников, включая сетевые устройства - межсетевые экраны, маршрутизаторы, серверы, операционные системы, базы данных, приложения и специализированные средства защиты. Такое объединение позволяет формировать целостную картину происходящих в инфраструктуре событий и выявлять скрытые взаимосвязи между ними. Процесс функционирования SIEM начинается с этапа сбора данных, который реализуется с использованием агентов, безагентных механизмов или стандартных протоколов передачи логов. На данном этапе критически важно обеспечить полноту и достоверность собираемой информации, поскольку качество последующего анализа напрямую зависит от качества входных данных. После поступления события проходят этап нормализации, в рамках которого данные приводятся к унифицированному формату. Это позволяет устранить различия в структуре логов различных производителей и упростить дальнейшую обработку. Следующим ключевым этапом является хранение данных. Современные SIEM-системы используют масштабируемые хранилища, способные обрабатывать большие объёмы информации в условиях высокой нагрузки. Архитектурно это могут быть распределённые базы данных или специализированные хранилища событий, оптимизированные для быстрого поиска и аналитики. При этом важную роль играет баланс между скоростью доступа к данным и затратами на хранение, особенно в условиях необходимости длительного ретеншена логов для соответствия требованиям регуляторов.

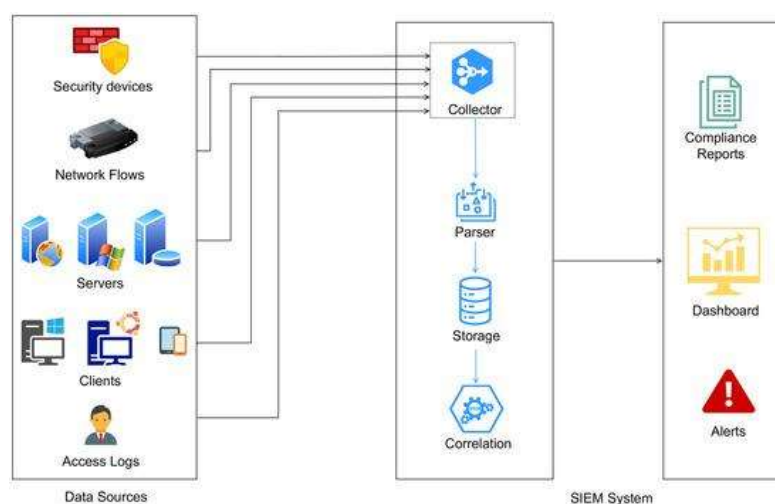


Рисунок 1. Архитектура SIEM-системы и поток обработки событий безопасности

Центральным элементом SIEM является механизм корреляции событий. Он предназначен для выявления сложных сценариев атак путём анализа последовательностей событий и установления логических связей между ними. Классические методы корреляции основаны на заранее заданных правилах, описывающих известные паттерны атак. Например, последовательность неудачных попыток аутентификации, за которыми следует успешный вход, может свидетельствовать о попытке подбора пароля. Однако такие подходы ограничены своей статичностью и требуют постоянного обновления правил. В дополнение к сигнатурным методам всё чаще применяются поведенческие модели, позволяющие выявлять аномалии в активности пользователей и систем. Эти модели формируются на основе анализа нормального поведения и позволяют обнаруживать отклонения, которые могут указывать на потенциальные угрозы. Такой подход значительно расширяет

возможности SIEM, однако требует более сложных вычислительных ресурсов и качественной настройки.

Завершающим этапом является визуализация и представление информации аналитикам SOC. SIEM-системы предоставляют панели мониторинга, отчёты и механизмы оповещения, позволяющие оперативно реагировать на инциденты. Удобство и наглядность интерфейса играют важную роль, поскольку от этого зависит скорость принятия решений специалистами.

Для более наглядного представления архитектуры SIEM можно выделить основные функциональные компоненты, приведённые в таблице ниже.

Таблица 1. Основные компоненты SIEM-системы, их функции и особенности реализации

Компонент	Функция	Особенности реализации
Сбор данных	Получение логов из источников	Агенты, Syslog, API
Нормализация	Приведение к единому формату	Парсинг, унификация
Хранение	Сохранение и индексация данных	Data Lake, SIEM storage
Корреляция	Выявление инцидентов	Правила, модели, ML
Визуализация	Отображение и алертинг	Dashboards, отчёты

Несмотря на логическую завершённость данной архитектуры, её практическая реализация сопряжена с рядом вызовов. Одним из ключевых является обеспечение обработки событий в режиме реального времени при постоянно растущем объёме данных. Кроме того, необходимость интеграции с разнородными источниками информации усложняет процесс нормализации и требует разработки универсальных механизмов обработки. Архитектура SIEM представляет собой сложную, многоуровневую систему, эффективность которой определяется не только техническими характеристиками, но и качеством её настройки, уровнем интеграции и применяемыми аналитическими подходами. Эволюция SIEM в сторону более интеллектуальных и адаптивных систем обусловлена необходимостью повышения точности и скорости выявления современных киберугроз.

Метрики оценки эффективности SIEM

Оценка эффективности систем класса Security Information and Event Management является одной из ключевых задач при построении и развитии центров мониторинга безопасности. В отличие от традиционных средств защиты, эффективность SIEM не может быть определена исключительно фактом обнаружения угрозы - важным является то, насколько быстро и точно система выявляет инциденты, а также насколько эффективно поддерживает процессы реагирования.

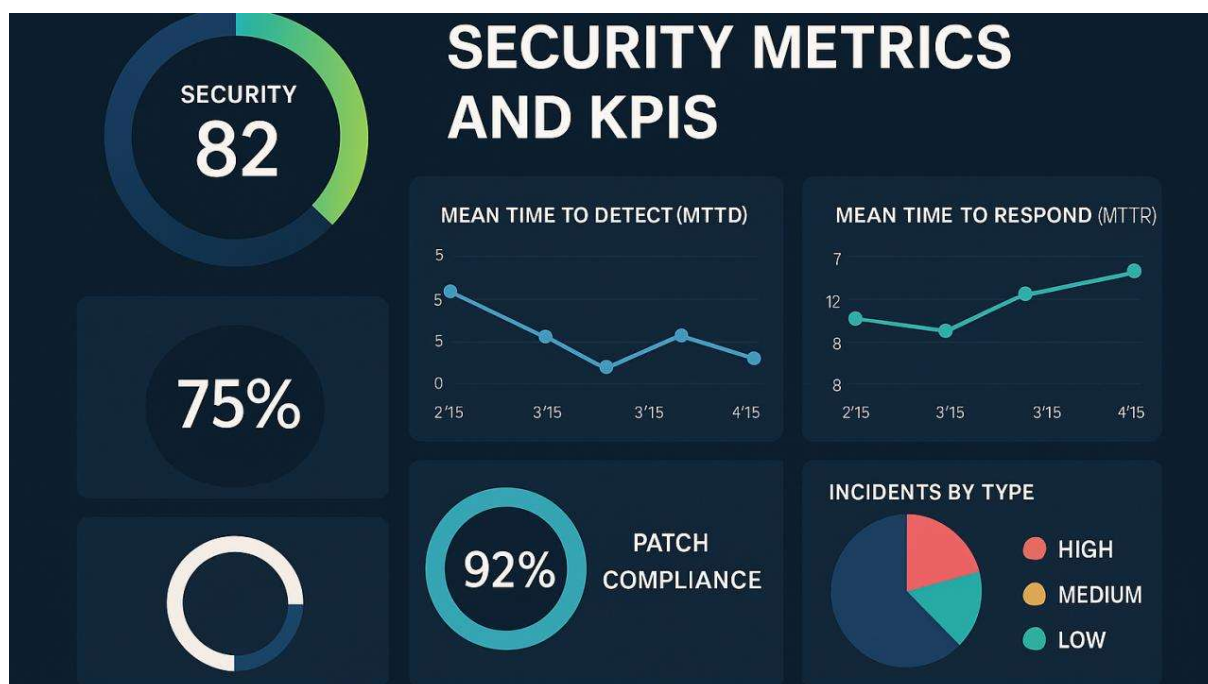


Рисунок 2. Панель мониторинга метрик эффективности информационной безопасности (SIEM KPI)

В связи с этим применяется совокупность количественных и качественных метрик, отражающих различные аспекты функционирования системы. Одними из базовых показателей являются временные метрики - время обнаружения инцидента и время реагирования. Показатель MTTD характеризует интервал между началом атаки и моментом её выявления системой SIEM, в то время как MTTR отражает время, необходимое для анализа инцидента и принятия мер по его устранению. Сокращение этих показателей напрямую влияет на снижение потенциального ущерба от кибератак, поскольку позволяет минимизировать период присутствия злоумышленника в системе.

Наряду с временными характеристиками, существенное значение имеют показатели точности обнаружения. К ним относятся уровень ложноположительных и ложноотрицательных срабатываний. Высокая доля ложноположительных событий приводит к перегрузке аналитиков SOC, снижению их продуктивности и формированию так называемой усталости от алертов. В свою очередь, ложноотрицательные срабатывания представляют ещё большую угрозу, поскольку реальные атаки остаются незамеченными. Баланс между этими показателями является одной из ключевых задач настройки SIEM [1].

Важным аспектом оценки эффективности является также полнота покрытия инфраструктуры. Этот показатель отражает долю источников событий, интегрированных в SIEM, и степень детализации собираемых данных. Недостаточное покрытие приводит к формированию слепых зон, в которых атаки могут оставаться незамеченными. Таким образом, эффективность SIEM зависит не только от аналитических механизмов, но и от качества и полноты входной информации. Отдельного внимания заслуживают метрики производительности системы. К ним относятся скорость обработки событий, задержки при корреляции и время генерации оповещений. В условиях высоконагруженных инфраструктур способность SIEM обрабатывать большие объёмы данных в реальном времени становится критическим фактором. Недостаточная производительность может приводить к задержкам в обнаружении угроз и снижению общей эффективности системы.

Для систематизации основных метрик эффективности SIEM можно использовать следующую таблицу.

Таблица 2. Основные метрики оценки эффективности SIEM-системы и их значение для безопасности

Метрика	Описание	Значение для безопасности
MTTD	Среднее время обнаружения инцидента	Скорость выявления атак
MTTR	Среднее время реагирования	Эффективность реагирования
False Positive Rate	Доля ложных срабатываний	Нагрузка на SOC
False Negative Rate	Пропущенные инциденты	Риск незамеченных атак
Coverage	Покрытие источников логов	Полнота мониторинга
EPS	Событий в секунду	Производительность системы

Кроме количественных показателей, важную роль играют качественные метрики, связанные с удобством использования системы и эффективностью работы аналитиков. К ним можно отнести понятность интерфейса, качество визуализации, уровень автоматизации и интеграцию с другими системами безопасности. Эти факторы напрямую влияют на скорость принятия решений и способность оперативно реагировать на инциденты. В современных условиях наблюдается тенденция к расширению набора метрик за счёт внедрения более сложных показателей, учитывающих контекст инцидентов и уровень риска. Например, используются метрики, отражающие критичность активов, вероятность реализации угрозы и потенциальный ущерб. Это позволяет перейти от количественной оценки к более комплексному анализу эффективности SIEM. Оценка эффективности SIEM представляет собой многомерную задачу, требующую учёта как технических характеристик системы, так и организационных аспектов её использования. Комплексный подход к анализу метрик позволяет выявить узкие места в работе SIEM и определить направления её дальнейшего совершенствования, что особенно важно в условиях постоянно усложняющегося ландшафта киберугроз.

Сравнительный анализ SIEM-решений

В современных условиях рынок систем класса Security Information and Event Management представлен широким спектром решений, ориентированных на обеспечение мониторинга безопасности в реальном времени. Среди наиболее распространённых и зрелых платформ выделяются IBM QRadar, Splunk Enterprise Security и ArcSight. Несмотря на схожесть базового функционала, включающего сбор, корреляцию и анализ событий, данные системы существенно различаются по архитектурным подходам, методам аналитики и уровню автоматизации. Платформа IBM QRadar ориентирована на использование встроенных механизмов корреляции и поведенческого анализа. Её ключевым преимуществом является наличие преднастроенных правил и моделей, что позволяет ускорить процесс внедрения и сократить время достижения операционной эффективности. QRadar эффективно справляется с задачами выявления известных сценариев атак, однако в ряде случаев требует дополнительной настройки для работы с нетипичными или новыми угрозами [2].

Feature	Datadog	Google SecOps	Splunk	XSIAM	QRadar	Chronicle
Cloud-Native	✓	✓	⚠	✓	✗	✓
Custom Detections	✓	✓	✓	✓	✓	⚠
Threat Intelligence	⚠	✓	✓	✓	✓	✓
Detection-as-Code	✓	✓	⚠	✓	✗	✗
SOAR/Automation	⚠	⚠	✓	✓	✓	✗
Log Query Experience	⚠	✓	✓	⚠	⚠	⚠
Cost Efficiency	✗	✓	✗	⚠	⚠	✓
Scalability	✓	✓	⚠	✓	⚠	✓
Best For	Mid-sized cloud-native	Large-scale GCP	Enterprise Hybrid	PAN-native SecOps	Regulated Sectors	Lightweight Cloud Logging

Рисунок 3. Сравнительный анализ функциональных возможностей современных SIEM платформ

В свою очередь, Splunk Enterprise Security представляет собой более гибкую платформу, основанную на мощных механизмах поиска и анализа данных. Основным преимуществом данного решения является высокая степень кастомизации и возможность построения сложных аналитических запросов. Это делает Splunk особенно эффективным в средах с нестандартными требованиями и большим объёмом данных. Однако такая гибкость требует высокой квалификации специалистов и может увеличивать сложность эксплуатации. ArcSight, являясь одним из наиболее ранних решений на рынке SIEM, отличается развитым механизмом корреляции событий и поддержкой сложных правил анализа. Он широко используется в крупных корпоративных и государственных инфраструктурах, где требуется строгий контроль и соответствие нормативным требованиям. Вместе с тем, по сравнению с современными платформами, ArcSight может уступать в удобстве интерфейса и гибкости аналитики [3].

Таблица 3. Сравнительный анализ ключевых характеристик данных платформ

Платформа	Особенности анализа	Поддержка real-time	Уровень автоматизации
QRadar	Поведенческий анализ, встроенная корреляция	Высокий	Средний
Splunk ES	Расширенная аналитика, поиск и кастомизация	Высокий	Высокий
ArcSight	Глубокая корреляция событий	Средний	Средний

С точки зрения эффективности выявления кибератак в реальном времени, все рассматриваемые решения демонстрируют высокие показатели при условии корректной настройки и достаточного уровня интеграции с источниками данных. Однако их практическая эффективность во многом зависит от контекста применения. Например, в средах с высокой динамикой данных и необходимостью гибкой аналитики предпочтение часто отдаётся Splunk, тогда как QRadar может быть более удобен для быстрого развертывания типовых сценариев безопасности. Важным аспектом является также масштабируемость решений. Современные SIEM должны обрабатывать миллионы событий в секунду, что требует использования распределённых архитектур и оптимизированных механизмов хранения данных. В этом контексте Splunk демонстрирует высокую гибкость за счёт горизонтального масштабирования, тогда как QRadar и ArcSight используют более структурированные подходы к управлению данными.

Несмотря на высокую функциональность, внедрение и сопровождение SIEM-систем связано с существенными затратами. Это включает не только стоимость лицензий, но и необходимость привлечения квалифицированных специалистов, настройки правил корреляции, интеграции с инфраструктурой и постоянного обновления системы. Таким

образом, выбор конкретного решения должен основываться на комплексной оценке требований организации, доступных ресурсов и уровня зрелости процессов информационной безопасности. В целом, сравнительный анализ показывает, что не существует универсального SIEM-решения, одинаково эффективного для всех сценариев. Каждая платформа имеет свои сильные и слабые стороны, а их эффективность определяется качеством внедрения и соответствием специфике защищаемой инфраструктуры [4].

Проблемы, ограничения и современные подходы к повышению эффективности SIEM

Несмотря на широкое распространение систем класса Security Information and Event Management и их ключевую роль в обеспечении мониторинга безопасности, данные решения сталкиваются с рядом фундаментальных ограничений, влияющих на их эффективность в реальном времени. Одной из наиболее значимых проблем является необходимость обработки больших объёмов данных, поступающих из множества разнородных источников. В условиях современных инфраструктур количество событий может достигать миллионов в секунду, что требует высокопроизводительных вычислительных ресурсов и оптимизированных механизмов хранения и обработки. При недостаточной масштабируемости это приводит к задержкам в анализе и снижению оперативности обнаружения угроз. Существенным ограничением классических SIEM-систем остаётся зависимость от статических правил корреляции. Такие правила, как правило, формируются на основе известных сценариев атак и требуют постоянного обновления. В условиях быстро меняющегося ландшафта угроз данный подход демонстрирует ограниченную адаптивность и не всегда позволяет выявлять ранее неизвестные или целевые атаки. В результате возникает риск пропуска сложных инцидентов, особенно тех, которые не соответствуют заранее заданным шаблонам.

Отдельного внимания заслуживает проблема ложноположительных срабатываний. Высокий уровень false positive приводит к перегрузке аналитиков SOC и формированию так называемой усталости от алертов. В таких условиях специалисты вынуждены обрабатывать большое количество нерелевантных событий, что снижает их способность своевременно реагировать на действительно критические инциденты. Параллельно существует риск ложноотрицательных срабатываний, при которых реальные атаки остаются незамеченными, что представляет серьёзную угрозу для безопасности организации.

Дополнительные сложности связаны с интеграцией SIEM в гетерогенные инфраструктуры. Различия в форматах логов, протоколах передачи данных и архитектурных особенностях систем усложняют процессы нормализации и корреляции событий. Кроме того, внедрение и сопровождение SIEM требует значительных организационных и финансовых ресурсов, включая подготовку квалифицированных специалистов, настройку правил и постоянное обновление системы. В ответ на указанные ограничения в последние годы наблюдается активное развитие подходов, направленных на повышение эффективности SIEM. Одним из ключевых направлений является внедрение методов машинного обучения и поведенческой аналитики. Данные технологии позволяют формировать модели нормального поведения пользователей и систем, а также выявлять отклонения от этих моделей. Это существенно расширяет возможности обнаружения атак, включая ранее неизвестные и целевые угрозы, и снижает зависимость от статических правил. Важным направлением развития является интеграция SIEM с системами автоматизации реагирования. Такой подход позволяет не только обнаруживать инциденты, но и автоматически инициировать ответные действия на основе заранее заданных сценариев. Это значительно сокращает время реагирования, снижает нагрузку на аналитиков и повышает общую эффективность процессов обеспечения безопасности [5].

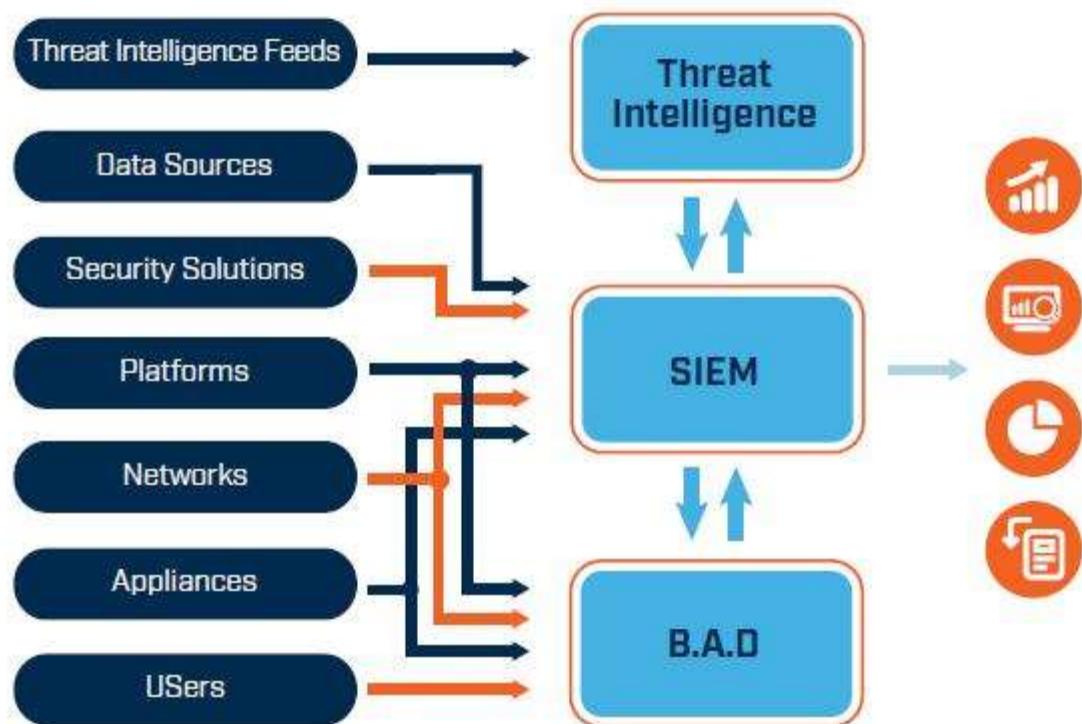


Рисунок 4. Обобщённая модель взаимодействия SIEM с источниками данных, Threat Intelligence и системами поведенческого анализа

Дополнительным фактором повышения эффективности является использование внешних источников Threat Intelligence, которые предоставляют актуальную информацию о новых угрозах, индикаторах компрометации и тактиках злоумышленников. Интеграция таких данных в процессы корреляции позволяет повысить точность обнаружения и уменьшить количество ложных срабатываний. Современные тенденции развития SIEM направлены на переход от статических систем мониторинга к интеллектуальным, адаптивным платформам, способным эффективно работать в условиях высокой динамики угроз. Интеграция аналитических методов, автоматизации и внешних источников данных позволяет значительно повысить точность и скорость обнаружения кибератак, а также снизить нагрузку на специалистов SOC. В перспективе развитие SIEM будет тесно связано с концепциями XDR и автономных систем безопасности, обеспечивающих более высокий уровень защиты информационных инфраструктур [6].

Заключение

Проведённый обзор подтверждает, что системы класса Security Information and Event Management продолжают занимать центральное место в архитектуре обеспечения информационной безопасности, выступая ядром процессов мониторинга, анализа и реагирования на инциденты в режиме, близком к реальному времени. Их ключевая ценность заключается в способности агрегировать разнородные события, выявлять скрытые взаимосвязи и формировать целостное представление о состоянии защищаемой инфраструктуры. При этом эффективность SIEM напрямую определяется не только функциональными возможностями платформы, но и качеством её внедрения, полнотой охвата источников данных, корректностью настройки корреляционных правил и зрелостью процессов в SOC.

В ходе анализа было установлено, что значительное влияние на результативность SIEM оказывают такие факторы, как уровень ложноположительных срабатываний, скорость обработки событий, а также способность системы адаптироваться к новым типам угроз. Ограничения, связанные с обработкой больших объёмов данных, статичностью правил и высокой нагрузкой на аналитиков, остаются актуальными и требуют комплексного подхода к их преодолению. В частности, недостаточная автоматизация и фрагментированность инструментов безопасности могут снижать общую эффективность реагирования и увеличивать время обработки инцидентов. Современные направления развития SIEM ориентированы на интеграцию интеллектуальных методов анализа, включая машинное обучение и поведенческую аналитику, что позволяет существенно повысить точность обнаружения угроз и снизить зависимость от заранее заданных сценариев. Существенную роль играет также внедрение решений класса SOAR, обеспечивающих автоматизацию процессов реагирования и снижение операционной нагрузки на специалистов. Дополнительным источником повышения эффективности выступает использование данных Threat Intelligence, позволяющих учитывать актуальный контекст угроз и повышать качество корреляции событий. В перспективе развитие SIEM будет связано с их трансформацией в более комплексные и адаптивные платформы, интегрированные с концепциями XDR и автономной кибербезопасности. Такие системы будут характеризоваться высокой степенью автоматизации, способностью к самообучению и контекстно-ориентированному анализу, что позволит эффективно противостоять современным и будущим киберугрозам. Таким образом, дальнейшее совершенствование SIEM является важным направлением научных исследований и практического развития средств обеспечения информационной безопасности.

Список источников:

1. Gartner. Magic Quadrant for Security Information and Event Management. Gartner, 2024.
2. IBM Security. IBM QRadar SIEM: Architecture and Deployment Guide. IBM, 2023.
3. Splunk. Splunk Enterprise Security Use Cases and Best Practices. Splunk Inc., 2024.
4. NIST. Guide to Computer Security Log Management (SP 800-92). NIST, 2023.
5. MITRE. MITRE ATT&CK Framework. MITRE, 2024.
6. SANS Institute. SIEM Use Cases and Log Management Strategies. SANS, 2022.

Improving regulatory documentation for the production of semi-smoked sausages with improved safety indicators

Bekakhmetov A.M.

PhD student, S.Seifullin Kazakh AgroTechnical Research University, Kazakhstan, Astana

In today's evolving agro-industrial complex, ensuring the quality and safety of food products is of strategic importance, as it directly impacts public health and the competitiveness of meat processing enterprises. Semi-smoked sausages occupy a special place in the meat industry, characterized by stable demand. However, their production is associated with a number of technological and sanitary risks that require strict regulatory frameworks. This necessitates improving regulatory documentation in accordance with the requirements of the Technical Regulations of the Customs Union «On the Safety of Meat and Meat Products», as well as implementing modern engineering and technological solutions aimed at improving product safety.

The production of semi-smoked sausages is a multi-stage process, including raw material preparation, formulating, grinding, salting, molding, heat treatment, smoking, and storage. Each of these stages poses potential risks associated with both microbiological contamination and chemical factors, including residual nitrites and the formation of thermal by-products. An analysis of production practices shows that a significant portion of deviations from standard parameters are due to human error, failure to adhere to process parameters, and insufficient process automation.

Particular attention should be paid to the formulation stage, which is critical for ensuring consistent quality of finished products. In traditional production systems, this process is often carried out directly on-site using paper recipes, which creates the potential for component dosing errors, incorrect proportions, and, consequently, deviations in physicochemical and microbiological parameters. Furthermore, poor raw material flow within the workshop leads to counterflows, increased processing times, and an increased risk of secondary contamination.

To minimize these risks, it is proposed to improve regulatory documentation by incorporating requirements for mandatory centralization of formulation set formation processes and the implementation of automated control systems. The use of digital solutions integrated with weighing equipment and raw material identification systems ensures dosing accuracy, eliminates operator errors, and improves the reproducibility of production processes. Each operation is accompanied by registration of parameters, which forms the basis for a traceability system and subsequent analysis of deviations.

A significant area for improving product safety is the implementation of real-time monitoring systems for process parameters. Monitoring temperature, humidity, and heat treatment duration ensures the achievement of required safety indicators, including the inactivation of pathogenic microflora. Incorporating these requirements into regulatory documentation facilitates process standardization and reduces product quality variability. Additionally, it is recommended to regulate the use of modern packaging technologies, such as vacuum packaging and modified atmosphere packaging, which extend shelf life and reduce the risk of microbial growth.

An important element in improving the regulatory framework is the integration of Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) principles. Identifying critical control points at the stages of raw material acceptance, heat treatment, and product storage enables the timely

detection and prevention of deviations. Regulatory documentation should include not only a list of monitored parameters but also acceptable limits, control methods, and corrective actions.

From the perspective of sustainable development in the agro-industrial complex, the proposed approaches not only improve product safety but also optimize resource use. Centralized processes and automated management reduce raw material losses, lower energy costs, and improve production efficiency. Furthermore, reducing defective and returned products helps reduce environmental impacts, which aligns with modern low-carbon development requirements.

Therefore, improving regulatory documentation for the production of semi-smoked sausages should be based on a comprehensive approach that takes into account modern technological capabilities, implements engineering solutions, and applies principles of systemic safety management. Implementation of the proposed measures will ensure consistent product quality, compliance with technical regulations, and enhance the competitiveness of meat processing companies in the context of a globalized food market.

ЖОҒАРЫ ПАРАФИНДІ МҰНАЙДЫ ӨНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІН ИМПУЛЬСТІК ЖЫЛУЛЫҚ БАСҚАРУ АЛГОРИТМДЕРІН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ SIEMENS S7-1500 НЕГІЗІНДЕ АСУТП ЖОБАЛАУ

Баянғали Парасат Салауатулы

магистрант, «Өндірісті автоматтандыру және басқару» бағдарламасы, «Сафи
Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті» КеАҚ, Қазақстан, Атырау
Ғылыми жетекші:

Шабдиров Д.Н.

к.ф.-м.н., профессор

Аннотация: Бұл мақалада жоғары парафинді мұнайды өндіру кезіндегі насос-компрессорлық құбырлардағы (НКТ) жылулық режимді математикалық модельдеу және импульстік жылулық басқару алгоритмдерін синтездеу нәтижелері берілген. Конвективті-жылуөткізгіштік теңдеуіне негізделген математикалық модель сызықтар әдісімен (MOL) дискретизацияланды. Siemens S7-1500R/H ПЛК және WinCC SCADA платформасында АСУТП жобаланды. Сандық симуляция импульстік жылытудың 50% энергия үнемдейтінін дәлелдеді.

Түйін сөздер: жоғары парафинді мұнай, АШПШ, НКТ, импульстік жылыту, математикалық модель, АСУТП, PLC, SCADA, WAT, Siemens S7-1500.

1. Кіріспе

Қазақстан Республикасы — Орталық Азиядағы ең ірі мұнай өндіруші мемлекет. 2023 жылы 90 млн тонна мұнай өндірілді. Атырау облысының Қашаған, Теңіз, Молдабек кен орындарының мұнайы жоғары парафин мөлшерімен (8–22 масс.%) сипатталады. Мұнайды НКТ арқылы жер бетіне жеткізу кезінде температура парафин кристалдану температурасынан ($WAT = 35–55^{\circ}C$) төмен түссе, асфальт-шайыр-парафинді шөгінділер (АШПШ) НКТ қабырғасына жабысады [1].

АШПШ түзілуі ұңғыма дебитін 30–70%-ға төмендетіп, жоспардан тыс тоқтаулар санын жылына 8–24-ке жеткізеді. Дүниежүзілік зерттеушілер [1, 2] импульстік жылулық басқарудың дәстүрлі тұрақты жылытумен салыстырғанда 20–50%-ға энергетикалық тиімдірек екенін дәлелдеді. Осы тұрғыдан АСУТП негізіндегі импульстік жылыту жүйесін жобалау өзекті мәселе болып табылады.

2. Математикалық модель

НКТ бойындағы мұнай температурасының таралуы конвективті-жылуөткізгіштік теңдеуімен сипатталады [3]:

$$\rho \cdot c \cdot A \cdot \partial T / \partial t + \rho \cdot c \cdot A \cdot v \cdot \partial T / \partial z = \lambda \cdot A \cdot \partial^2 T / \partial z^2 - k \cdot P \cdot (T - T_{\text{окр}}) + q(z, t) \quad (1)$$

мұндағы $T(z, t)$ — мұнай температурасы ($^{\circ}\text{C}$); $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$ — тығыздық; $c = 2100 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$ — жылусыйымдылық; $\lambda = 0,14 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}$ — жылуөткізгіштік; v — ағын жылдамдығы (м/с); $k = 15\text{--}45 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$ — жылу беру коэффициенті; $P = \pi \cdot d$ — НКТ периметрі ($d = 0,076 \text{ м}$); $T_{\text{окр}} = 8^{\circ}\text{C}$ — қоршаған орта; $q(z, t)$ — жылытқыш қуаты (Вт/м).

Сызықтар әдісімен (MOL) $N = 20$ учаскеге дискретизациялау нәтижесінде:

$$dT_i/dt = \alpha(T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1})/\Delta z^2 - (v/\Delta z)(T_i - T_{i-1}) - \beta_{\text{eff}}(T_i - T_{\text{окр}}) + \gamma \cdot u_i(t) \quad (2)$$

мұндағы $\alpha = \lambda/(\rho c)$ — жылулық диффузивтілік; $\beta_{\text{eff}} = kP/(\rho c A)$; $\gamma = 1/(\rho c A)$; $u_i(t)$ — жылытқыш сигналы (Вт/м). Аналитикалық шешіммен верификация нәтижесі: макс. қате $0,23^{\circ}\text{C} < \text{датчик дәлдігі} (\pm 0,1^{\circ}\text{C})$.

Жүйе матрицасы A_{sys} тұрақтылығы Ляпунов теориясы бойынша тексерілді: барлық меншікті мәндердің нақты бөліктері теріс — $\text{Re}(\lambda_i) < 0$. Тұрақтылық қоры $SM = 0,0009 < 1$.

3. Импульстік жылулық басқару алгоритмі

Жылытқыш секциялар «қосулы/ажыратулы» (On-Off) режимінде жұмыс жасайды. Гистерезисті реттегіш алгоритмі:

$$\begin{aligned} \text{егер } T_i < T_{\text{WAT}} - \Delta T &\rightarrow u_i = Q_{\text{max}} \text{ (жылыту қосылады)} \\ \text{егер } T_i > T_{\text{WAT}} + \Delta T &\rightarrow u_i = 0 \text{ (жылыту ажыратылады)} \end{aligned}$$

Оңтайлы параметрлер: $Q_{\text{max}} = 15 \text{ Вт/м}$ (аналитикалық: $Q_{\text{min,max}} \times 1,3$); $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$ (chattering жоқ, температура стандарт ауытқуы $\sigma(T) \approx 2,5^{\circ}\text{C}$).

Скважжылдылық коэффициенті $\delta = t_{\text{on}}/(t_{\text{on}} + t_{\text{off}})$ арқылы энергия үнемдеу бағаланады: $\bar{u}_i = \delta \cdot i \cdot Q_{\text{max}}$. Динамикалық симуляция нәтижесі (2 сағат, $N=20$, $L=2000 \text{ м}$):

Кесте 1 — Импульстік және тұрақты жылыту энергиясын салыстыру

Параметр	Тұрақты жылыту	Импульстік жылыту	Үнемдеу
Жылулық энергия, МДж	216	107	109 (50%)
Орташа скважжылдылық δ	100%	$\approx 50\%$	—
WAT шегінде ұстау	Иә	Иә	—

4. АСУТП аппараттық-бағдарламалық кешені

Жобаланған АСУТП үш деңгейлі архитектурадан тұрады: далалық деңгей (HART/Modbus датчиктері), бақылау деңгейі (Siemens S7-1500R/H ПЛК), диспетчерлік деңгей (WinCC Professional V17 SCADA). Жоба «Молдабек» мұнай дайындау қондырғысы (МДҚ) негізінде іске асырылды.

TIA Portal V16 ортасында бағдарламалық кешен:

— OB1 (10 мс, негізгі цикл), OB30 (100 мс, ПИД + импульстік жылыту), OB100 (іске қосу);

- FC1–FC5: Scan_DI, Scan_AI, Hart, Modbus, Switch_State;
- FB1 (AI), FB2 (AI_HART), FB3 (DI), FB5 (MB_MASTER_RTU);
- DB142 (HART деректері), DB167 (Modbus), DB186 (Data).

10 реттелетін клапанға CONT_C ПИД реттегіштер конфигурацияланды ($K_p = -0,5 \dots -1,5$, $T_i = 12 \dots 30$ с). ISA-18.2 стандарты бойынша 128 ескерту нүктесі (45 Alarm, 52 Warning, 31 Info) ұйымдастырылды. Жүйе қолжетімділігі $A = 99,992\%$ (Hot-standby, MTBF > 50 000 сағ).

Кесте 2 — АСУТП аппараттық құрамының негізгі компоненттері

Компонент	Модель	Саны
Резервтелген ПЛК	Siemens CPU 1517H-3 PN	2 (Hot-standby)
Аналогтық кіріс (HART)	AI 4xI 2-wire 4..20mA	8
Температура датчигі	Rosemount 644H / E+H TMT142	12
Қысым датчигі	Yokogawa EJA110E (HART)	8
SCADA сервері	WinCC Professional V17	2

5. Нәтижелер мен талқылау

Сандық симуляция мен аналитикалық нәтижелерді жинақтай келсек:

- аналитикалық верификация: $N=20$ үшін макс. қате $0,23^\circ\text{C}$, $O(\Delta z^2)$ дәлдік реті расталды;
- сезімталдық анализі: ағын жылдамдығы v ең маңызды параметр ($WAT < T$ учаскелер $85\% \rightarrow 0\%$), одан кейін жылу беру коэффициенті k ;
- тұрақтылық: барлық меншікті мәндер $\text{Re}(\lambda_i) < 0$, $SM = 0,0009 \ll 1$;
- энергия үнемдеу: импульстік жылыту — 50% (107 МДж vs 216 МДж, 2 сағат);
- технологиялық тиімділік: жоспардан тыс тоқтаулар –67%, жылыту энергиясы –50%, парафин тазалаулар –67%.

WinCC SCADA жүйесінде нақты уақыт деректері расталды: TFS1 деңгейі 2772 мм, O_2 температурасы $0,75^\circ\text{C}$ (WAT-тан төмен — АШПШ ескертуі автоматты белсендіріледі). Жүйе 30+ далалық аспаппен HART/Modbus арқылы интеграцияланды.

6. Қорытынды

Жұмыс шеңберінде: (1) НКТ жылулық режимінің математикалық моделі тұрғызылып, $N=20$ MOL дискретизациясымен ПЛК-да іске асыруға ыңғайлы жүйеге келтірілді; (2) $Q_{\max} = 15$ Вт/м, $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ оңтайлы параметрлермен гистерезисті импульстік басқару алгоритмі синтезделді; (3) Siemens S7-1500R/H, TIA Portal V16, WinCC Professional V17 негізінде «Молдабек» МДҚ-ға арналған АСУТП кешені жобаланды. Динамикалық симуляция 50% энергия үнемдеуді дәлелдеді. Болашақ бағыт: LSTM нейрон желісімен АШПШ болжамдау; IIoT интеграциясы.

Пайдаланылган әдебиеттер тізімі

1. Ilyushin Y.V. Development of a Process Control System for the Production of High-Paraffin Oil // Energies. — 2022. — Vol. 15, No. 17. — Art. 6462. DOI: 10.3390/en15176462.
2. Ilyushin Y.V., Fetisov V. Experience of virtual commissioning of a process control system for the production of high-paraffin oil // Scientific Reports. — 2022. — Vol. 12. — Art. 18415.
3. Nikolaev A.K. et al. Research of processes of heat exchange in horizontal pipeline // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. — 2018. — Vol. 327. — Art. 032041.
4. Siemens AG. SIMATIC S7-1500 / ET 200MP System Manual. — Nuremberg: Siemens, 2022.
5. Siemens AG. SIMATIC WinCC V17 System Manual. — Nuremberg: Siemens, 2022.
6. Nurgalieva K.S. et al. Improving the Efficiency of Oil and Gas Wells Complicated by the Formation of ARPD // Energies. — 2021. — Vol. 14. — Art. 6673.
7. Åström K.J., Hägglund T. Advanced PID Control. — Research Triangle Park: ISA, 2006.

THE IMPACT OF THE INTERNET OF THINGS ENPOWERED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON THE CORPORATE WORKING ENVIRONMENT

Askarbek Aslan

Master Degree of IT and Engineering. Researcher. ORCID: 0009-0009-1062-1314

Abstract

This paper explores two technologies creating intelligently connected systems: the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence of Things (AIoT). The Internet of Things, combined with the most dynamic technology, artificial intelligence (AI), is expected to make IoT systems smarter and more easily imitates human activity. However, what contemporary challenges await this synergy, and what development paths can be expected? This paper aims to examine the development prospects of both the Internet of Things and Artificial Intelligence, which could impact the professional and career prospects of various specialists. It also examines how the labor market is changing in light of AIoT.

Key Words: *Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence of Things (AIoT), AI, Soft skills, Labor market.*

Introduction

Today, mastery of AI tools is becoming as essential as knowledge of Office programs was 10-15 years ago (Kamaldinova, 2026). According to HR expert of ICL Services, when hiring, employees are expected to possess not just the basic ability to use, like, ChatGPT or other AI tools, but the ability to formulate tasks for AI, critically evaluate results, and integrate AI into work processes (Kamaldinova, 2026).

The labor market is undoubtedly undergoing an unprecedented transformation. Skill requirements for specialists are changing across a wide range of fields. IoT tools - software and other technologies for exchanging data with other devices and systems via the internet - work in conjunction with AI, known as AIoT. This trend is significantly changing the professional requirements of specialists. According to Vikulov (2026), data science and industrial engineering skills are becoming critical for career advancement in most industries. Professionals need not simply to adapt, but also to learn to manage AI tools (Vikulov, 2026).

The labor market is seeing changes in job requirements. AI is actively influencing the economy and society. According to Georgieva (2026), the impact of artificial intelligence on the economy and society has moved from the stage of theoretical forecasts to the phase of large-scale structural restructuring by 2025 - 2026. AI technologies are becoming the foundation of business, without which it cannot develop. A transformation of professions is predicted. According to Georgieva (2024), AI will affect almost 40% of jobs worldwide. Moreover, it is predicted that 170 million new positions will be created, while approximately 92 million traditional roles will disappear by 2030. This will drive a skills shortage. According to recent research, demand for AI-required jobs increased by 15% in 2024. By 2028, AI literacy will become a key competency for 55% of companies (Work Trend Index, 2024; Gartner Newsroom, 2024).

Thus, broad knowledge of AI is becoming a crucial hiring criterion, requiring analytical and critical thinking skills in addition to specialized skills. However, a thorough understanding requires

a detailed understanding of the operating principles of modern technology. Below, it is examined the principles of IoT and AI separately.

The term "Internet of Things" was created by entrepreneur Kevin Ashton, one of the founders of the Auto-ID Center at MIT in Boston. Ashton's team came up with the idea of connecting objects to the internet using RFID tags. It is first used the phrase "Internet of Things" in 1999, and it has since gained popularity.

Initially, the IoT was used only in cutting-edge projects at the time, using expensive equipment and was inaccessible to the average person. The development of the Internet of Things over the past decade and its integration into everyday life has been due to the following factors:

- The creation of devices with modern digital technologies has become more accessible
- The number of Wi-Fi-enabled products has increased dramatically
- Smartphones have become an integral part of people's lives
- Smartphone functionality has begun to allow control of other devices

IoT technology is currently being applied across many industries. Currently, the main areas of application are light and heavy industry. Specifically, these include:

- Sensors on equipment and machines collect data on their operation and help prevent breakdowns.
- Climate control systems that analyze temperature and humidity, automatically regulating the microclimate in a workshop or warehouse.
- Sensors on products and components that assist with inventory control and defect detection.
- Remote control systems for production equipment, such as remote machine start-up.
- Pollution sensors that analyze a plant's emissions and monitor compliance with environmental regulations.

The Internet of Things offers the opportunity to reduce production costs and avoid losses. Equipment sensors can help identify when maintenance is needed. A climate control system can ensure that goods don't spoil in hot weather. The data collected by all these sensors can be uploaded to analytics systems to generate forecasts and analyze the entire production process (Kotov, 2022).

Thus, the Internet of Things is the concept of a computing network of physical objects with built-in technologies for exchanging information with each other and with the environment. Today, the number of devices connected to the Internet of Things has long exceeded expectations. These devices can exchange data via networks or cloud platforms connected to the Internet of Things (IoT), in other words, IoT platforms. The IoT encompasses not only complex mechanisms such as robotic manipulators and supercomputers, but also much more diverse and simple devices, such as electronics that have never been connected to the network before: refrigerators, coffee machines, washing machines, sockets, kettles, etc. (Kotov, 2022).

According to Newman (2020), by 2027, the IoT will reach more than 41 billion devices, up from approximately 8 billion in 2019. This survey was compiled based on responses from 400 senior executives from around the world, including giants such as Alibaba, Alphabet, Amazon, Apple, VMWare, Verizon, and others. Newman (2020) also claims that by 2027, all remaining untapped devices will be able to access the internet, and the IoT market will grow to more than \$2.4 trillion annually.

This development of the Internet of Things, combined with the most dynamic Artificial Intelligence technology, can make the IoT system itself smarter and more easily imitate human activity, according to the scientist (Newman, 2020).

Today, Artificial Intelligence is being applied to all modern technologies. Discussions about the development of such technologies often include the terms "artificial intelligence" and "Internet of Things." Many already use these two terms interchangeably, as these two

technologies often complement each other's functionality (Kotov, 2022). However, in this case, it's necessary to mention the concept of Artificial Intelligence of Things. Artificial intelligence-driven Internet of Things networks combine the capabilities of AI and IoT, and therefore can find application in virtually all areas of human activity.

Thus, it is established that:

- The Internet of Things is a system in which the internet connects to various objects, sensors, and devices – things - so they can collect and transmit information about their surroundings via software or other devices. The goal of the IoT is to connect simple objects to computers and other computing machines.
- Artificial intelligence refers to a system that, like humans and animals, can learn by collecting specific information or performing tasks. AI technologies include machine learning (ML), natural language processing (NLP), voice and facial recognition, and deep learning. In other words, AI imbues machines and objects with a certain intelligence.

Together, these two technologies create intelligently connected systems in which Artificial Intelligence serves as the "brain" and the Internet of Things serves as the "body." IoT devices collect and transmit data from multiple sources, supporting the AI learning process so it knows how to properly automate the required processes. Thanks to AI, IoT systems can learn and make decisions about data management and analysis, which inevitably increases productivity (Tickhonenko, 2020).

Materials and Methods

The role of artificial intelligence in the IoT lies in information. AI is defined as the process of making machines intelligent enough to perform tasks without any human intervention. All IoT devices collectively collect vast amounts of data, while building a modern AI model requires vast amounts of data. Thus, the combination of these two dynamic methods transforms the monotonous IoT into the intelligent IoT - smart tasks performed without human intervention. The powerful combination of the Internet of Things and AI has the potential to be a huge breakthrough in people's lives. Therefore, when it comes to artificial intelligence, machine learning and deep learning (DL) play a more important role, as DL and ML are subsets of AI (Kotov, 2022). For businesses, the value of the IoT lies in its ability to turn virtually everything, from trucks to pharmacy prescriptions, into a data point. However, without embedded AI, it is impossible to utilize this data to its full potential. According to PwC, AI technology is being used so frequently alongside the Internet of Things that it will soon become an essential requirement for IoT systems (Tickhonenko, 2020). There are two reasons for this:

First, AIoT enables real-time analysis and response. Where IoT systems can only collect and organize data, AIoT systems can go further. Because IoT platforms provide an interface for collecting data from various devices, all the information can be easily analyzed and used using AI/ML. AI can detect anomalies, failures, and system security threats in real time, and in many cases, it can be programmed to respond.

Second, AI conducts long-term analysis, allowing users to identify trends and patterns over specific periods of time. Sophisticated AI algorithms enable businesses to perform predictive analytics based on a variety of possible scenarios, simplifying the problem-solving process for users. This ability allows businesses to assess and respond to risks in real time, adjust operating parameters, and avoid unplanned downtime, gaining a competitive advantage.

Based on the results of a global survey of 450 executives on the impact of artificial intelligence combined with the Internet of Things (IDC Global Study 2020) for SAS, Intel, and Deloitte Consulting, it is found clear evidence of momentum behind this new combination of technologies. According to study respondents, AIoT capabilities are already yielding results. According to IDC (2020), the presence of AI is a significant factor in whether the IoT will live up to

expectations. Specifically, their study findings cover executive expectations for AIoT, advances to date, AIoT applications, and the value of combining AI and IoT, with 90% of active AI users reporting significantly higher ROI on the Internet of Things than their projected ROI.

It shows that the nature of the Internet of Things will accelerate the adoption of artificial intelligence. MegaFon, together with the ORO analytical agency, conducted a study that showed, one in five companies will increase their investment in the development of the Internet of Things. According to respondents, IoT technologies will improve efficiency, optimize costs, respond more quickly to changes, and adapt to new conditions. The study participants identified the most in-demand IoT services as video surveillance and video analytics, the Industrial Internet of Things, employee monitoring, smart transportation and logistics, and smart housing and utilities (Yakimova, 2024).

Experts note that although many AIoT applications are developed for specific industries - for example, predictive diagnostics of industrial equipment, intelligent shopping carts in stores, and AI-powered medical imaging - the main advantage of using AI and the IoT simultaneously is the ease of data processing. AI and the IoT are most often used to prevent downtime, optimize operational processes, and better understand ever-increasing volumes of data. Below are some current examples of AIoT application:

- Edge computing involves processing large volumes of data at high speed, allowing users to make decisions locally without sending data to the cloud. Where IoT devices collect data, AI/ML technologies enable decision-making at the edge.
- Collaborative robots (cobots) represent the fastest-growing segment of industrial automation. The combination of IoT sensors and AI-ML modeling gives robots a sense of perception and awareness of their surroundings, allowing them to "make decisions" and seamlessly work alongside humans.
- Digital twins are virtual copies of physical objects that allow users to simulate the startup of new equipment and the operation of devices. For example, digital twins can be used to test a new motor or wind turbine before production.
- Autonomous delivery robots. While autonomous delivery robots may well fall under the category of "cobots," their use case is slightly different. AIoT technology is applied in urban environments to reduce delivery costs and increase delivery speed - a key factor in customer satisfaction.

A study of two fields, artificial intelligence and the Internet of Things, shows that their convergence has given rise to a highly sought-after technology trend - the Artificial Intelligence of Things, which promises to revolutionize industry, increase efficiency, and pave the way for a more connected and intelligent future (TruGemTech, 2024). AI enhances the capabilities of the IoT by imbuing it with the cognitive capabilities of AI, transforming connected devices into intelligent entities capable of learning, adapting, and making decisions based on data (TruGemTech, 2024). A specialist with knowledge at the intersection of these two fields gains a significant career advantage (Lifelonglearningsg, 2025).

However, solid knowledge in both fields proves insufficient in light of real-world challenges. According to the Future of Jobs Report (2025) survey, 69% of respondents believe it is necessary to develop analytical thinking and innovation, which includes: the ability to break complex problems down into component parts; The ability to find patterns in large volumes of data; critical information analysis skills; and innovative thinking (RenLife, 2025).

Thus, the development of AIoT itself is underway, calling on specialists to acquire additional knowledge at the intersection of the Internet of Things and Artificial Intelligence - soft skills. Possessing AI skills requires the ability to solve problems using neural networks with knowledge of their narrow professional field, while maintaining responsibility for the outcome, which may also include soft skills. This will require flexibility on the part of the specialist to adapt to the demands

of the times. According to the Future of Jobs Report (2025) survey, 67% of respondents believe flexibility, resilience, and adaptability are necessary mechanisms for self-management in a rapidly changing environment, where adaptability is becoming key. According to their survey, these skills include: rapid adaptation to change; stress resilience; the ability to work in conditions of uncertainty; and a willingness to continuously learn (RenLife, 2025).

Results and Discussion

The literature review primarily examined employer expectations for highly technical professionals. However, a quantitative survey was conducted to determine the impact of AI on the work and careers of ordinary service professionals. Sixty-two respondents were interviewed: 54 employees and 8 employers from various industries in Kazakhstan. The participants' profiles included: Self-employed professionals (mobile phone repair, psychologists, hairdressers, massage therapists, etc.) – 14; Household services (cleaning, etc.) – 8; Retail – 7; Bakery and confectionery – 5; Publishing and printing – 8; Interior designers – 3; Graphic designers – 6; Tourism – 4; Appliance repair – 7.

The study focused on the following research questions: What does AI mean to specialist? Do employers require AI expertise? What are the expectations of AI? What will AI do to society? What will you do if AI is capable of replacing your profession? Of the 62 respondents surveyed, 47% said AI hasn't affected their work. And 36% believe AI won't replace them. However, 27% of respondents admitted to fearing that people using AI could replace them. Nevertheless, 67% of respondents don't devote their free time to increasing their knowledge and learning AI tools. And to the main research question: What will you do if AI is capable of replacing your profession? - 31% of respondents believe they need to develop professionally in a creative way; 36% believe AI won't affect them at all; 24% of respondents admitted to fearing the future and have no idea what to expect; while 9% of respondents found it difficult to answer. Also, all 8 employers surveyed noted that one of the hiring criteria is the applicant's level of AI proficiency and what tools they use.

As IoT devices become increasingly available, more and more companies will deploy IoT networks in hopes of reducing costs, increasing profits, or improving operational processes. While it's possible to use the IoT without AI, it alone won't be able to handle the volume of data from the myriad sensors, devices, and machines that make up the industrial IoT ecosystem. As information begins to flow from production lines, supply chains, and elsewhere, without AI, it will be very difficult for humans to sort through the data themselves, let alone extract specific, useful information. The future of IoT is billions of physical devices with sensors connected to the internet worldwide. IoT has diverse applications across all sectors except manufacturing to expand business opportunities.

For example, a person listening to music on headphones connected to a smartphone while driving is emerging as an AI-powered IoT. AIoT will be able to use an IoT sensor in the headphones to obtain heart rate data and, using AI, predict the individual's emotions. Based on these emotions, a smartphone can select the best song stored somewhere in the world's technology. There are several million songs in the world, and a smartphone doesn't need super-storage to store them all or super-computing power to run an applied artificial intelligence model for emotion recognition (Pacifi, 2020).

Thus, the Internet of Things, combined with the most dynamic artificial intelligence (AI) technology, can make the IoT system itself smarter and more easily imitate human activity. According to TruGemTech (2026), while the tech industry previously measured progress by the scale of its bandwidth, today's focus is shifting from quantity to quality, where human potential enables enterprises to confidently operate in an increasingly complex digital world.

A theoretical review found that technical specialists are preparing themselves for the challenges of the times and developing in their respective fields, strengthening their skills with AIoT. However, if AI is capable of impacting the economy and society of any country (Georgieva, 2026), then attention must also be paid to service professions in the household sector. There are few forecasts for professional transformation in these professions. There is also little information on what innovative technology skills are needed for their growth and development. These questions remain open. It should also be noted that the small survey sample in this study is intended as a preliminary survey to identify problematic situations related to the subject area and therefore has limitations. Nevertheless, the data obtained clearly illustrates the situation in the service industries studied and points to the need for further research covering a broader range of professions, and, most importantly, using a larger sample size, using both quantitative and qualitative methods.

Conclusion

The study examined expectations of AI. How does AI impact the profession and career of specialists? The survey conducted in this study confirms that employers are interested in AI-savvy employees, while a certain number of specialists demonstrate unpreparedness for such changes, both professionally and mentally. This study did not address which professions will disappear or emerge. The primary focus was on examining the labor market situation in the service industries. To what extent are service-level specialists informed and prepared to evolve with the times? Do they have any insight into the ongoing or impending changes related to AI? The goal was to determine the impact of AI on the work and career of the average service specialist. According to the data obtained, it turned out that 67% of respondents do not devote their free time to expanding their knowledge and learning AI tools, although some employers are interested in AI-savvy specialists. And 36% of service specialists believe that AI will not affect them in any way. However, 24% of respondents admitted that they do not have a clear vision of their future. These data clearly point to the need to study the impact of AI on service professions.

As for the impact of AI on other innovation-related professions, based on the data analyzed, it can be concluded that to remain in-demand, specialists must continually upgrade their skills as new technologies change or emerge. Based on the data analyzed, the following key factors influence AI on the profession and career of specialists in any field.

1. Today's professionals must develop within their own field - be breakthrough in their narrow field, and be groundbreaking as a general professional. The need to expand knowledge across multiple fields, as AI can, while also remaining an expert in a specific area, is a defining factor for professional resilience. It's important to note that in this regard, AI stimulates human development, but AI itself also learns in the process.
2. Critical and analytical thinking are among the basic skills associated with AI. The ability to independently make decisions on the spot, extract relevant information from a big of data, take responsibility for interacting with AI, and develop emotional self-management skills when interacting with technology can become a matter of ethical self-correction - these are essential qualities for any profession in today's reality.
3. AI is definitely impacting the profession and career of any specialist. However, service specialists are of interest for research in light of the emergence of AGI (Artificial General Intelligence) – a powerful, general-purpose artificial intelligence capable of performing any complex intellectual tasks at a human level, and capable of flawlessly imitating any human emotion by reading facial expressions and vocal timbre. Although it is expected that AI will not be able to completely replace service specialists (Deloitte Access Economics, 2017; McKinsey & Company, 2025), advanced AIs are already capable of soft skills and are quite successful at imitating humans. These specialists are special interest for research because, through their interactions, they also teach the AI through

feedback. However, the main message of the data studied is that in the next decade, the person at risk of losing their job is not the psychologist or manager who demonstrates empathy, but rather the one who refuses to use AI for routine tasks and loses productivity to their more flexible colleagues.

References

- Deloitte Access Economics. (2017). Soft skills for business success. Deloitte Australia.
<https://www.deloitte.com/au/en/services/economics/perspectives/soft-skills-business-success.html>
- Gartner Newsroom. (2024). Gartner Says AI Literacy Will Be a Top Skill by 2027. .
<https://www.gartner.com>.
- Georgieva, K. (2024). AI Will Transform the Global Economy. Let's Make Sure It Benefits Humanity. <https://www.imf.org/en/blogs/articles/2024/01/14/ai-will-transform-the-global-economy-lets-make-sure-it-benefits-humanity>
- Georgieva, K. (2026). New Skills and AI Are Reshaping the Future of Work.
<https://www.imf.org/en/topics/artificial-intelligence>
- IDC Global Study. (2020). AIoT - How IoT Leaders are Breaking Away. For SAS, Intel and Deloitte Consulting. <https://www.sas.com/sas/offers/19/aiot-how-iot-leaders-are-breaking-away.html>
- Kamaldinova, K. (2026). Speech of ICL Services HR Head. Conference of TAdviser IT Security & NGFW Day.
https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Влияние_искусственного_интеллекта_на_рынок_труда#.
- Kotov, M.K. (2022). Introduction to the Internet of Things. MGBot. Author - https://leader-id.storage.yandexcloud.net/event_doc/239130/6170348b0fe48812107350.pdf
- Lifelonglearningsg. (2025). Top AI Skills of 2025 That Will Define 2026 and Beyond.
<https://www.lifelonglearningsg.org/resources/articles/top-ai-skills>
- McKinsey & Company. (2025). Superagency in the workplace: Empowering people to unlock AI's full potential. <https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/superagency-in-the-workplace-empowering-people-to-unlock-ais-full-potential-at-work>
- Newman, P. (2020). The Internet of Things. Research Report.
<https://www.businessinsider.com/internet-of-things-report?IR=T>
- Pacifici, F. (2020). Headphones with a sense of emotion Powered by machine learning with IoT: to make your life better! <https://www.iotworlds.com/ru/наушники-с-чувством-эмоций-работает-н/>
- RenLife. (2025). What work skills need to be developed in the modern realities of 2025: an expert guide. <https://shop.renlife.ru/articles/kakie-rabochie-navyki-nado-razvivat-v-sovremennyh-realiyah-2025-goda>
- Tickhonenko, I. (2020). AIoT: The Role of Artificial Intelligence in the Internet of Things.
<https://iotji.io/ru/aiot-rol-iskusstvennoho-intellekta-v-internete-veshchej/>
- TruGemTech. (2024). What is AIoT? TruGem All-in-One AIoT Edge Computing Series.
<https://www.trugemtech.com/ru/что-такое-айот/>
- TruGemTech. (2026). 5G AIoT Trends 2026: Why the Future of Connectivity Is Quality, Not Quantity. <https://www.trugemtech.com/ru/тенденции-развития-5g-айотов-в-2026-году/>.
- Vikulov, K. (2026). AI is changing the labor market: how neural networks are transforming recruitment. <https://companies.rbc.ru/news/gf54vNHMWz/ii-menyaet-ryinok-truda-kak-nejroseti-transformiruyut-najm-personala/>

Work Trend Index. (2024). AI at work is here. Now comes the hard part. Microsoft & LinkedIn: 2024. May 8. . <https://www.microsoft.com>.
Yakimova, S. (2024). Internet of Things Will Accelerate the Implementation of Artificial Intelligence.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОВЕРИЯ К ДАННЫМ ИНЦИДЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКЧЕЙН- ТЕХНОЛОГИЙ

Маметьярова Нинель Шухратовна

Студент 2 курса магистратуры, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Абдуллаев Алишер Анварулы

Студент 2 курса магистратуры, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Ускенбаева Раиса Кабиевна

Доктор технических наук, профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Аннотация. Современные системы информационной безопасности активно используют централизованные платформы мониторинга, управления событиями и реагирования на инциденты. Однако одной из ключевых проблем остаётся обеспечение доверия к данным журналов событий, уведомлений об инцидентах и результатам расследований. Централизованное хранение информации создаёт риски модификации, удаления или подделки данных злоумышленниками, особенно при компрометации инфраструктуры безопасности. В связи с этим особую актуальность приобретают блокчейн-технологии, обеспечивающие неизменяемость, распределённость и криптографическую защиту данных.

В данной статье проводится исследование методов обеспечения доверия к данным инцидентов безопасности с использованием блокчейн-технологий. Рассматриваются основные принципы блокчейн, архитектурные подходы интеграции распределённых реестров в системы SIEM и SOAR, а также преимущества и ограничения подобных решений. Дополнительно выполнен сравнительный анализ централизованных и блокчейн-ориентированных моделей хранения данных безопасности.

Ключевые слова: Блокчейн, SIEM, SOAR, Информационная Безопасность, Инциденты Безопасности, Доверие К Данным, Цифровая Криминалистика, Threat Intelligence, Распределённый Реестр.

Введение

Рост количества кибератак и усложнение методов компрометации информационных систем приводят к необходимости совершенствования механизмов мониторинга и расследования инцидентов информационной безопасности. Современные организации активно используют SIEM-системы, позволяющие собирать и анализировать журналы событий из различных источников инфраструктуры. Дополнительно применяются SOAR-платформы, обеспечивающие автоматизацию реагирования на инциденты.

Несмотря на широкое распространение подобных решений, одной из наиболее серьёзных проблем остаётся обеспечение доверия к данным безопасности. В случае компрометации инфраструктуры злоумышленники могут удалять, модифицировать или подделывать журналы событий, что существенно осложняет проведение расследований и цифровой криминалистики. Кроме того, централизованное хранение данных создаёт единую точку отказа, а также повышает риск внутренних угроз. Блокчейн-технологии рассматриваются как перспективный механизм повышения доверия к данным инцидентов безопасности. Благодаря распределённой архитектуре, криптографическим механизмам и неизменяемости записей blockchain способен обеспечить высокий уровень целостности журналов событий и прозрачности процессов расследования.

Целью данной статьи является исследование методов обеспечения доверия к данным инцидентов безопасности с использованием блокчейн-технологий, а также анализ преимуществ и ограничений применения распределённых реестров в системах управления событиями и инцидентами.

Теоретические основы блокчейн-технологий

Блокчейн-технологии в последние годы стали одним из наиболее активно развивающихся направлений в области информационных технологий и кибербезопасности. Первоначально blockchain рассматривался исключительно как основа криптовалютных систем, однако дальнейшее развитие распределённых реестров показало возможность их применения в различных областях, включая цифровую криминалистику, управление событиями безопасности, хранение журналов аудита и обмен Threat Intelligence. С технической точки зрения блокчейн представляет собой распределённый реестр, в котором данные сохраняются в виде непрерывной цепочки взаимосвязанных блоков. Каждый новый блок содержит информацию о предыдущем блоке в виде криптографического хэша, благодаря чему формируется защищённая последовательность записей. Изменение данных хотя бы в одном блоке приводит к изменению его хэша и нарушению целостности всей цепочки, что делает незаметную модификацию информации практически невозможной [1].

Одной из ключевых особенностей blockchain является отсутствие единого центра хранения данных. В традиционных централизованных системах вся информация располагается на сервере или группе серверов, контролируемых одной организацией. Подобный подход создаёт риск единой точки отказа, а также повышает вероятность компрометации данных при успешной атаке на центральный узел. В распределённом реестре копии базы данных одновременно хранятся на множестве узлов сети, что значительно повышает устойчивость системы к отказам и несанкционированным изменениям. Важную роль в обеспечении безопасности blockchain играют криптографические механизмы. Для защиты информации применяются алгоритмы хэширования и цифровые подписи. Хэш-функции используются для проверки целостности данных, а механизмы электронной подписи позволяют подтвердить подлинность транзакций и идентифицировать участников сети. Благодаря этому блокчейн способен обеспечить высокий уровень доверия к данным даже при отсутствии централизованного администратора. Дополнительным элементом безопасности являются механизмы консенсуса, обеспечивающие согласование состояния распределённого реестра между участниками сети. Алгоритмы консенсуса определяют правила подтверждения новых блоков и предотвращают возможность внесения недостоверной информации. Наиболее распространёнными алгоритмами являются Proof of Work, Proof of Stake, Practical Byzantine Fault Tolerance и Delegated Proof of Stake [2]. Для корпоративных систем информационной безопасности чаще всего используются permissioned blockchain-платформы, поскольку они обеспечивают более высокую производительность, ограниченный доступ участников и

упрощённое администрирование. Применительно к системам управления событиями и инцидентами информационной безопасности blockchain рассматривается прежде всего как механизм обеспечения целостности и доверия к данным. Использование распределённых реестров позволяет фиксировать события безопасности, результаты расследований и действия аналитиков SOC в неизменяемой форме. Это особенно важно при проведении цифровой криминалистики, когда требуется подтверждение подлинности журналов событий и отсутствие фактов их модификации.

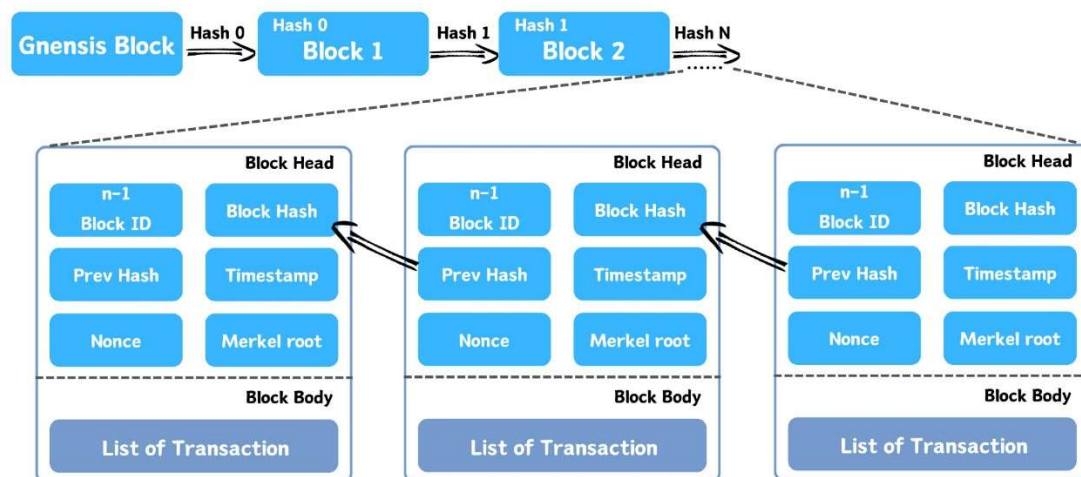


Рисунок 1. Базовая структура блокчейн-системы

На рисунке 1 представлена базовая архитектура blockchain-системы. Можно увидеть последовательность взаимосвязанных блоков, каждый из которых содержит собственный криптографический хэш и ссылку на предыдущий блок. Подобная структура обеспечивает целостность всей цепочки данных, поскольку изменение информации в одном блоке автоматически приводит к изменению всех последующих хэшей [3]. Также на схеме отображены распределённые узлы сети, хранящие идентичные копии реестра. Благодаря синхронному хранению данных на множестве узлов достигается высокая отказоустойчивость и исключается зависимость от единого центра обработки информации. Даже при компрометации одного из узлов злоумышленник не сможет незаметно изменить данные во всей сети без согласования с остальными участниками. Таким образом, сочетание распределённой архитектуры, криптографической защиты и механизмов консенсуса делает blockchain перспективной технологией для построения доверенных систем хранения и обработки данных информационной безопасности.

Проблемы доверия к данным инцидентов безопасности

Современные системы управления событиями и инцидентами информационной безопасности играют ключевую роль в обеспечении киберустойчивости организаций. SIEM и SOAR-платформы ежедневно обрабатывают огромные объёмы данных, поступающих из различных источников инфраструктуры: сетевых устройств, серверов, конечных точек, систем аутентификации, облачных сервисов и приложений. На основе этих данных выполняются обнаружение угроз, корреляция событий, анализ аномалий и расследование инцидентов безопасности. В связи с этим достоверность и целостность информации становятся критически важными факторами для эффективного функционирования систем защиты. Одной из основных проблем современных систем мониторинга безопасности является зависимость от централизованной архитектуры хранения данных. В большинстве случаев журналы событий, результаты корреляции и данные расследований концентрируются на центральном SIEM-сервере или в едином хранилище логов. Подобный

подход упрощает администрирование и обработку информации, однако одновременно создаёт риск единой точки отказа. При успешной компрометации центрального узла злоумышленник может получить возможность изменять, удалять или подделывать данные безопасности. После проникновения в инфраструктуру атакующие нередко пытаются скрыть следы своей активности. Для этого используются методы очистки журналов событий, изменения временных меток, удаления записей аудита и подделки сетевых логов. Подобные действия существенно осложняют расследование инцидентов и снижают достоверность forensic-анализа. В некоторых случаях злоумышленники могут полностью уничтожать критически важные журналы событий, что делает невозможным восстановление последовательности атаки [4-5].

Серьёзную угрозу также представляют инсайдерские риски. Пользователи, обладающие административными привилегиями, потенциально способны модифицировать или удалять данные расследований, изменять результаты анализа инцидентов либо скрывать собственные действия. Даже при наличии механизмов аудита централизованные системы не всегда способны гарантировать абсолютную неизменяемость информации. Дополнительной проблемой является обеспечение доверия при обмене Threat Intelligence между организациями. Современные SOC-центры активно используют обмен индикаторами компрометации, сигнатурами атак и аналитическими отчётами. Однако при централизованной модели сложно подтвердить подлинность источника информации, а также гарантировать отсутствие изменений в передаваемых данных. В результате существует риск распространения недостоверных или компрометированных индикаторов угроз. Особое значение проблема доверия к данным приобретает в области цифровой криминалистики. Во время расследования инцидентов журналы событий используются в качестве доказательной базы для анализа действий злоумышленников. Нарушение целостности логов или отсутствие прозрачности хранения информации может привести к невозможности подтверждения подлинности цифровых доказательств. Обеспечение доверия к данным безопасности становится одной из важнейших задач современных систем управления инцидентами. Необходимость защиты журналов событий от модификации, повышения прозрачности расследований и минимизации риска скрытых изменений требует применения новых подходов к хранению и обработке данных безопасности.

Таблица 1. Основные угрозы доверия к данным безопасности

Угроза	Описание
Подделка логов	Изменение записей журналов событий
Удаление событий	Скрытие следов атаки
Компрометация SIEM	Получение контроля над центральным сервером
Инсайдерские угрозы	Модификация данных внутренними пользователями
Потеря целостности	Нарушение достоверности forensic-данных
Недоверенный обмен TI	Передача ложных индикаторов компрометации

Таблица 1 демонстрирует основные угрозы, влияющие на доверие к данным информационной безопасности в современных SIEM- и SOC-инфраструктурах. Наиболее опасными являются подделка журналов событий и удаление записей аудита, поскольку подобные действия позволяют злоумышленникам скрывать факт компрометации системы и затруднять проведение расследования. Отдельное внимание следует уделить рискам компрометации центрального SIEM-сервера. При получении доступа к центральному узлу атакующий потенциально способен изменить данные корреляции, удалить события безопасности или нарушить процессы мониторинга. Дополнительную угрозу создают инсайдерские атаки, при которых сотрудники организации, обладающие повышенными

привилегиями, могут воздействовать на результаты исследований и содержимое журналов событий. Также в таблице отражена проблема доверенного обмена Threat Intelligence. Передача недостоверных индикаторов компрометации между организациями способна привести к ошибочным решениям систем обнаружения угроз и снижению эффективности реагирования на инциденты. В совокупности перечисленные угрозы подтверждают необходимость применения технологий, обеспечивающих неизменяемость и прозрачность хранения данных безопасности [6].

Методы обеспечения доверия с использованием блокчейн-технологий

Одним из наиболее перспективных направлений применения blockchain в области информационной безопасности является обеспечение доверия к данным инцидентов и журналам событий. Благодаря распределённой архитектуре, криптографической защите и неизменяемости записей блокчейн способен значительно повысить уровень целостности и прозрачности данных, используемых в SIEM и SOAR-системах. В отличие от традиционных централизованных моделей хранения информации, распределённый реестр позволяет минимизировать риск скрытого изменения данных и повысить достоверность результатов расследования инцидентов. Наиболее распространённым методом применения blockchain в системах безопасности является обеспечение неизменяемого хранения журналов событий. В подобных решениях сами логи могут храниться во внешнем хранилище или SIEM-платформе, а в блокчейн записываются их криптографические хэши и служебные метаданные. При формировании нового события система вычисляет контрольную сумму журнала и фиксирует её в распределённом реестре. Если в дальнейшем злоумышленник попытается изменить содержимое логов, повторно вычисленный хэш уже не будет совпадать с ранее сохранённым значением в blockchain. Таким образом обеспечивается возможность обнаружения любых несанкционированных изменений информации. Подобный подход особенно важен для систем цифровой криминалистики и расследования инцидентов, поскольку позволяет подтверждать подлинность журналов событий и формировать доверенную доказательную базу. Дополнительным преимуществом является возможность независимой проверки данных различными участниками системы без необходимости доверия к центральному администратору [7]. В корпоративной среде чаще всего используются гибридные архитектуры, в которых blockchain применяется не для хранения полного объёма событий, а исключительно для фиксации контрольных данных и журналов аудита. Другим важным направлением является использование смарт-контрактов для автоматизации процессов реагирования на инциденты. Smart contracts представляют собой программируемые алгоритмы, автоматически выполняющие заранее определённые действия при наступлении заданных условий. В контексте информационной безопасности подобные механизмы могут использоваться для регистрации инцидентов, фиксации действий аналитиков SOC, автоматического создания задач расследования и контроля выполнения процедур реагирования.

Применение смарт-контрактов позволяет повысить прозрачность процессов обработки инцидентов и минимизировать вероятность скрытого изменения данных. Каждое действие аналитика или автоматизированной системы фиксируется в распределённом реестре и становится доступным для последующей проверки. Это особенно важно для крупных корпоративных SOC-центров, где расследование инцидентов осуществляется несколькими подразделениями одновременно. Дополнительной областью применения blockchain является организация защищённого обмена Threat Intelligence между различными организациями. Современные системы кибербезопасности активно используют индикаторы компрометации, сигнатуры атак и аналитические данные для обнаружения угроз. Однако централизованные платформы обмена Threat Intelligence не всегда способны гарантировать

подлинность информации и защиту от её подделки. Использование распределённого реестра позволяет создать единую доверенную платформу обмена данными угроз между участниками сети. Каждый новый индикатор компрометации фиксируется в blockchain, что обеспечивает прозрачность его происхождения и возможность отслеживания всех изменений. Благодаря этому организации получают возможность безопасного коллективного обмена информацией о киберугрозах без необходимости полного доверия к отдельному поставщику данных.

Таким образом, blockchain-технологии способны обеспечить новый уровень доверия к данным информационной безопасности за счёт сочетания распределённого хранения, криптографической защиты и прозрачности операций. Наиболее перспективными направлениями применения являются контроль целостности журналов событий, автоматизация процессов реагирования и защищённый обмен Threat Intelligence.

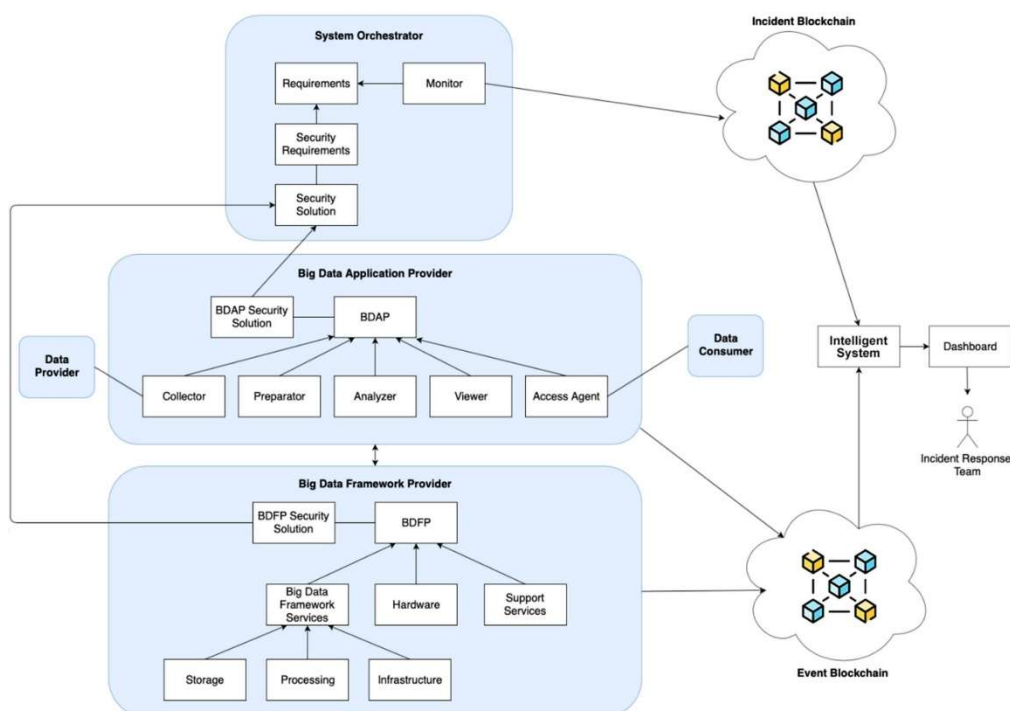


Рисунок 2. Концептуальная модель применения blockchain в системе управления инцидентами

На рисунке 2 представлена концептуальная архитектура применения blockchain в системе управления событиями и инцидентами информационной безопасности. В центре схемы располагается SIEM/SOAR-платформа, осуществляющая сбор и корреляцию событий безопасности из различных источников инфраструктуры, включая сетевые устройства, серверы, конечные точки и облачные сервисы. Полученные журналы событий и результаты анализа инцидентов дополнительно фиксируются в blockchain-сети в виде криптографических хэшей и метаданных [8]. Такой подход обеспечивает контроль целостности информации и позволяет обнаруживать любые попытки скрытого изменения логов. Распределённая структура blockchain исключает зависимость от одного центрального узла и повышает устойчивость системы к компрометации. Также на схеме отображён модуль Threat Intelligence, взаимодействующий с распределённым реестром. Использование blockchain позволяет безопасно обмениваться индикаторами компрометации между организациями, обеспечивая прозрачность происхождения данных и защиту от их подделки. В результате формируется доверенная среда хранения и обмена информацией

безопасности, повышающая эффективность процессов мониторинга и расследования инцидентов.

Сравнительный анализ централизованных и blockchain-ориентированных моделей

Для оценки перспектив применения blockchain-технологий в системах управления событиями и инцидентами информационной безопасности необходимо провести сравнительный анализ традиционных централизованных решений и распределённых моделей хранения данных. Современные SIEM и SOAR-платформы в большинстве случаев используют централизованную архитектуру, при которой сбор, хранение и обработка журналов событий осуществляются на одном или нескольких взаимосвязанных серверах. Подобный подход обеспечивает высокую производительность и удобство администрирования, однако одновременно создаёт определённые риски безопасности. Одним из основных недостатков централизованных систем является наличие единой точки отказа. В случае компрометации центрального сервера злоумышленник потенциально получает возможность модифицировать журналы событий, удалять данные расследований или нарушать процессы мониторинга безопасности. Кроме того, уровень доверия к данным в подобных системах во многом зависит от надёжности администраторов и механизмов внутреннего контроля. Blockchain-ориентированные системы предлагают альтернативный подход к хранению информации безопасности. За счёт распределённого хранения данных и криптографической защиты значительно повышается устойчивость системы к несанкционированным изменениям. Любая попытка модификации записей может быть обнаружена благодаря механизмам хэширования и консенсуса. Дополнительным преимуществом является прозрачность операций, поскольку все изменения фиксируются в распределённом реестре и доступны для проверки участниками сети [9].

Вместе с тем blockchain-системы обладают рядом ограничений. Одной из наиболее серьёзных проблем является снижение производительности при обработке большого количества событий. Для подтверждения новых записей требуется выполнение процедур консенсуса, что увеличивает задержки обработки информации. Дополнительные сложности связаны с масштабируемостью распределённых реестров, ростом объёма хранимых данных и необходимостью интеграции blockchain с существующей инфраструктурой SIEM и SOC. Несмотря на существующие ограничения, распределённые реестры обеспечивают значительно более высокий уровень доверия к данным по сравнению с традиционными централизованными моделями. Особенно это актуально для систем цифровой криминалистики, где критически важна неизменяемость журналов событий и возможность подтверждения подлинности доказательной базы.

Таблица 2. Сравнение централизованных и blockchain-ориентированных систем

Критерий	Централизованные системы	Blockchain-системы
Целостность данных	Средняя	Высокая
Устойчивость к модификации	Ограниченная	Высокая
Централизованная точка отказа	Присутствует	Отсутствует
Прозрачность операций	Ограниченная	Высокая
Производительность	Высокая	Средняя
Масштабируемость	Высокая	Ограниченная
Стоимость внедрения	Средняя	Повышенная
Уровень доверия	Зависит от администратора	Криптографически подтверждён

Таблица 2 демонстрирует различия между традиционными централизованными системами управления инцидентами и blockchain-ориентированными архитектурами. Наиболее значимым преимуществом распределённых реестров является высокий уровень целостности данных и устойчивость к их модификации. Благодаря криптографическим механизмам и распределённому хранению информации blockchain позволяет существенно снизить риск скрытого изменения журналов событий и forensic-данных. Важным отличием также является отсутствие единой точки отказа. В централизованных SIEM-системах компрометация основного сервера способна привести к потере контроля над всей инфраструктурой мониторинга безопасности. В blockchain-сетях данные одновременно хранятся на множестве узлов, что повышает устойчивость системы к атакам и отказам оборудования. В то же время таблица показывает, что blockchain-решения уступают традиционным системам по показателям производительности и масштабируемости. Обработка большого объёма событий безопасности в режиме реального времени требует значительных вычислительных ресурсов и может сопровождаться задержками подтверждения транзакций. Кроме того, внедрение распределённых реестров связано с дополнительными затратами на инфраструктуру и интеграцию. Наиболее перспективным подходом являются гибридные архитектуры, сочетающие высокую производительность централизованных SIEM-платформ и механизмы blockchain-подтверждения целостности данных. Подобные решения позволяют обеспечить баланс между эффективностью обработки событий безопасности и высоким уровнем доверия к информации [10].

Ограничения и проблемы применения блокчейн-технологий

Несмотря на значительный интерес к использованию blockchain в системах информационной безопасности, применение распределённых реестров сопровождается рядом технических, организационных и архитектурных ограничений. Хотя blockchain способен обеспечить высокий уровень целостности данных и прозрачности операций, интеграция данной технологии в инфраструктуры SIEM, SOAR и SOC остаётся сложной задачей. Одной из наиболее серьёзных проблем является производительность blockchain-систем. Современные SIEM-платформы могут обрабатывать миллионы событий безопасности в сутки, включая сетевые журналы, данные аутентификации, телеметрию конечных устройств и результаты корреляционного анализа. Запись подобного объёма информации в распределённый реестр требует значительных вычислительных ресурсов и может сопровождаться задержками подтверждения транзакций. Особенно остро данная проблема проявляется при использовании публичных blockchain-сетей с медленными механизмами консенсуса. Дополнительным ограничением является масштабируемость. По мере увеличения количества событий размер распределённого реестра постоянно растёт, что повышает требования к хранению данных и нагрузку на узлы сети. В крупных корпоративных инфраструктурах объём журналов событий может достигать десятков терабайт, что делает хранение полного массива данных непосредственно в blockchain практически нецелесообразным. В связи с этим большинство современных решений используют гибридный подход, при котором в blockchain сохраняются только хэши и критически важные метаданные.

Сложности также возникают при интеграции blockchain с существующими SIEM и SOAR-платформами. Большинство корпоративных систем безопасности изначально проектировались для централизованной архитектуры и не поддерживают распределённые механизмы хранения данных. Внедрение blockchain требует модификации процессов обработки событий, адаптации API и разработки дополнительных механизмов синхронизации данных. Отдельное внимание следует уделить вопросам

конфиденциальности информации. Публичные blockchain-сети обеспечивают высокую прозрачность операций, однако подобная открытость не всегда соответствует требованиям корпоративной безопасности. Журналы событий могут содержать конфиденциальные данные пользователей, информацию о внутренней инфраструктуре организации и результаты расследований инцидентов. По этой причине в корпоративной среде чаще применяются permissioned blockchain-платформы с ограниченным доступом участников. Дополнительной проблемой являются уязвимости smart contracts. Ошибки в логике смарт-контрактов могут привести к неправильной автоматизации процессов реагирования, ложному выполнению действий или возможности эксплуатации уязвимостей злоумышленниками. В некоторых случаях компрометация smart contracts способна привести к полной потере контроля над автоматизированными механизмами обработки инцидентов.

Следует учитывать и то, что blockchain не способен гарантировать достоверность исходных данных. Если ложная или скомпрометированная информация была добавлена в систему до фиксации в распределённом реестре, blockchain обеспечит лишь неизменяемость этой недостоверной информации. Таким образом, качество и надёжность исходных данных остаются критически важными факторами для эффективности подобных решений. Помимо технических ограничений существуют и угрозы безопасности самих blockchain-систем. Наиболее известными являются атаки типа 51%, при которых злоумышленник получает контроль над большей частью вычислительных ресурсов сети, Sybil-атаки, направленные на создание множества поддельных узлов, а также компрометация частных ключей пользователей. В результате защита blockchain-инфраструктуры сама становится важной задачей информационной безопасности [11].

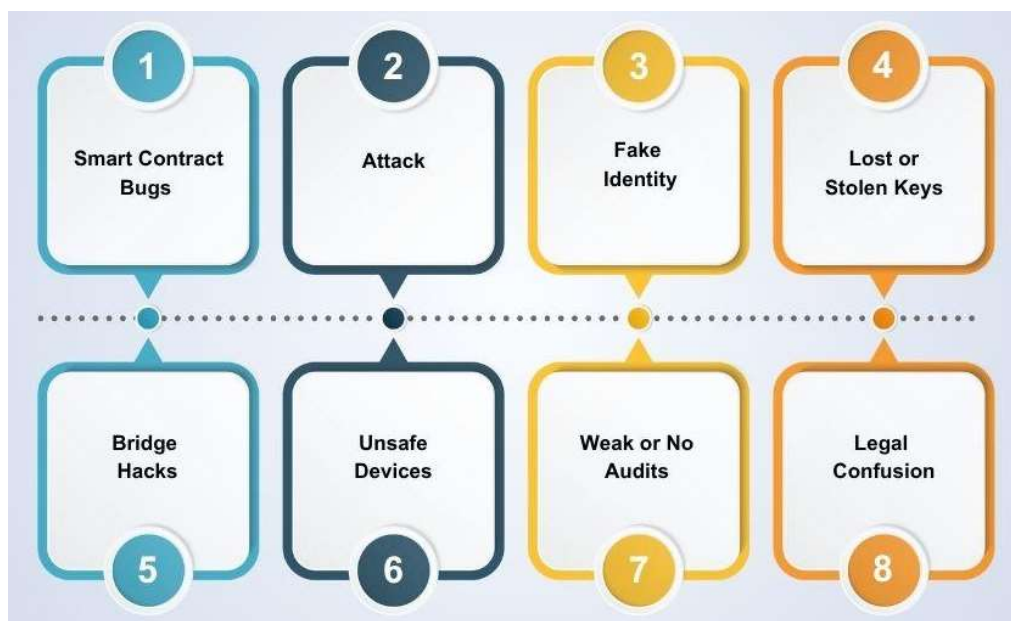


Рисунок 3. Основные ограничения применения blockchain в системах информационной безопасности

На рисунке 3 представлены основные ограничения применения blockchain-технологий в системах информационной безопасности. На схеме отображены проблемы производительности, масштабируемости, хранения данных и интеграции с существующей инфраструктурой SIEM/SOAR. Также показаны потенциальные угрозы безопасности blockchain-сетей, включая уязвимости smart contracts и атаки на механизмы консенсуса. Особое внимание на схеме уделено проблеме высокой вычислительной нагрузки и увеличения объёма распределённого реестра при росте количества событий безопасности.

Данные факторы существенно ограничивают возможность прямого хранения всех логов в blockchain и требуют использования гибридных архитектур. Дополнительно схема демонстрирует взаимосвязь между прозрачностью blockchain и рисками нарушения конфиденциальности корпоративных данных.

Таблица 3. Основные ограничения применения blockchain в системах безопасности

Ограничение	Описание
Низкая производительность	Замедление обработки событий
Масштабируемость	Рост нагрузки при увеличении объёма данных
Стоимость	Высокие затраты на инфраструктуру
Сложность интеграции	Необходимость адаптации SIEM/SOAR
Конфиденциальность	Ограничения публичных blockchain
Уязвимости smart contracts	Риски ошибок автоматизации

Таблица 3 отражает ключевые ограничения, препятствующие широкому внедрению blockchain-технологий в корпоративные системы управления инцидентами. Наиболее существенными являются проблемы производительности и масштабируемости, поскольку обработка большого объёма событий безопасности требует высокой скорости работы SIEM-платформ и минимальных задержек. Дополнительным фактором являются высокие затраты на внедрение и поддержку распределённой инфраструктуры [12]. Организациям требуется модернизация существующих систем безопасности, настройка узлов blockchain-сети и обеспечение защищённого хранения криптографических ключей. Также таблица демонстрирует важность вопросов конфиденциальности, поскольку чрезмерная прозрачность публичных blockchain может противоречить требованиям корпоративной безопасности и законодательства о защите данных. Отдельное внимание необходимо уделять безопасности smart contracts, поскольку ошибки в их логике способны привести к автоматическому выполнению некорректных действий и нарушению процессов реагирования на инциденты. В совокупности перечисленные ограничения подтверждают необходимость дальнейших исследований и разработки адаптированных blockchain-решений для систем информационной безопасности.

Перспективы развития blockchain в системах управления инцидентами

Развитие современных киберугроз и постоянное усложнение инфраструктур информационной безопасности формируют потребность в создании более надёжных, прозрачных и автоматизированных механизмов управления событиями и инцидентами. В связи с этим blockchain-технологии рассматриваются не только как средство обеспечения целостности данных, но и как основа для построения распределённых систем кибербезопасности нового поколения. В последние годы наблюдается активный рост исследований, посвящённых интеграции blockchain с SIEM, SOAR, XDR-платформами, а также технологиями искусственного интеллекта и машинного обучения. Одним из наиболее перспективных направлений является использование искусственного интеллекта для анализа blockchain-логов и выявления аномалий в распределённых системах безопасности. AI-алгоритмы способны автоматически анализировать большие объёмы журналов событий, выявлять подозрительную активность и прогнозировать потенциальные инциденты. Комбинация blockchain и машинного обучения позволяет одновременно обеспечить высокий уровень доверия к данным и повысить эффективность обнаружения угроз. Перспективным направлением считается создание распределённых SOC-инфраструктур, в которых несколько организаций или подразделений могут совместно использовать единое доверенное пространство хранения данных безопасности. Подобная архитектура позволяет

обмениваться журналами событий, индикаторами компрометации и аналитической информацией без необходимости полного доверия к отдельному участнику сети. В результате формируется распределённая экосистема коллективной киберзащиты [13-14].

Дополнительным направлением исследований является интеграция blockchain в zero-trust архитектуры. Концепция Zero Trust предполагает постоянную проверку подлинности пользователей, устройств и сервисов независимо от их расположения в сети. Blockchain может использоваться как механизм хранения доверенных идентификаторов, журналов аутентификации и результатов проверки доступа, обеспечивая прозрачность и неизменяемость операций безопасности. Существенный интерес также вызывает интеграция blockchain с современными XDR-платформами. XDR-системы объединяют данные из различных источников безопасности и обеспечивают централизованное обнаружение сложных атак. Использование blockchain в подобных архитектурах способно повысить доверие к данным корреляции и обеспечить защиту журналов событий от скрытой модификации. Особенно перспективными считаются permissioned blockchain-платформы, предназначенные для корпоративного использования. В отличие от публичных blockchain-сетей, permissioned-модели обеспечивают ограниченный доступ участников, более высокую производительность и возможность централизованного управления политиками безопасности. Подобные решения могут эффективно использоваться в государственных структурах, финансовом секторе и корпоративных SOC-центрах для формирования доверенной среды хранения и обмена данными безопасности. Дальнейшее развитие blockchain в области информационной безопасности связано прежде всего с интеграцией распределённых реестров, искусственного интеллекта и автоматизированных систем реагирования. Подобные технологии способны стать основой для построения интеллектуальных доверенных платформ киберзащиты нового поколения [15].

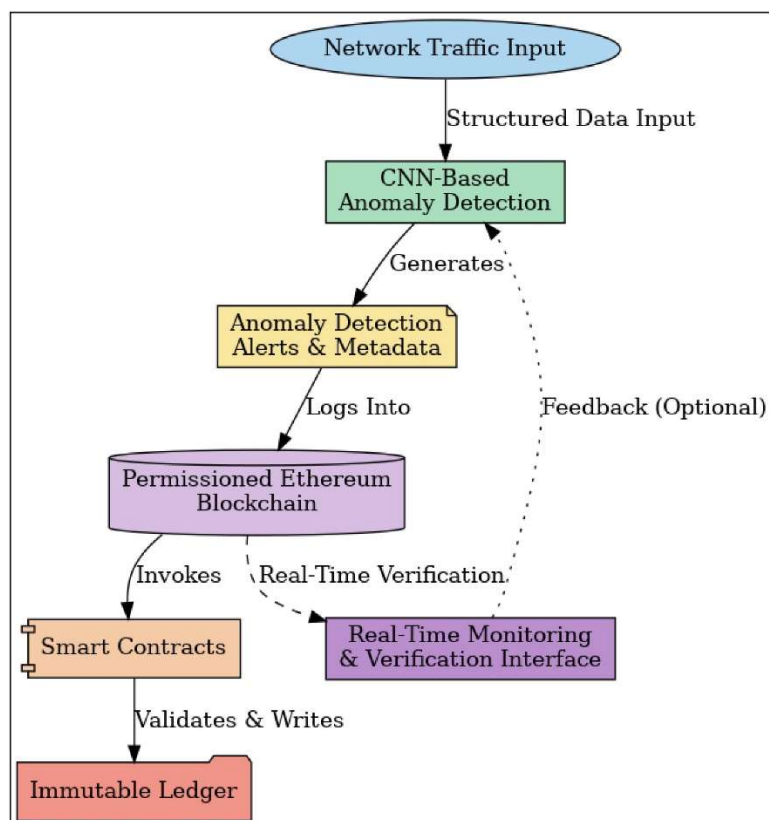


Рисунок 4. Перспективные направления интеграции blockchain и систем кибербезопасности

На рисунке 4 представлены перспективные направления интеграции blockchain-технологий с современными системами кибербезопасности. Центральное место в архитектуре занимает blockchain-платформа, взаимодействующая с SIEM, SOAR и XDR-системами, а также модулями искусственного интеллекта и Threat Intelligence. Схема демонстрирует использование AI-алгоритмов для анализа журналов событий и выявления аномалий в распределённой инфраструктуре безопасности. Одновременно blockchain обеспечивает неизменяемость логов, прозрачность процессов расследования и контроль целостности данных. Интеграция smart contracts позволяет автоматизировать процедуры реагирования на инциденты и фиксировать действия аналитиков SOC. Также на рисунке показан распределённый обмен Threat Intelligence между организациями. Использование blockchain позволяет формировать доверенную среду коллективного обмена индикаторами компрометации и аналитической информацией о киберугрозах. В совокупности представленные компоненты формируют перспективную архитектуру интеллектуальной системы кибербезопасности нового поколения.

Заключение

Проведённое исследование показывает, что блокчейн-технологии обладают значительным потенциалом для повышения уровня доверия к данным инцидентов информационной безопасности. В условиях постоянного роста количества кибератак и усложнения методов компрометации информационных систем проблема обеспечения целостности журналов событий, прозрачности расследований и достоверности forensic-информации становится одной из ключевых задач современных SOC и SIEM инфраструктур. Анализ существующих подходов показывает, что традиционные централизованные системы управления событиями безопасности обладают рядом существенных ограничений, связанных с наличием единой точки отказа, риском скрытой модификации логов и зависимостью от доверия к администраторам инфраструктуры. В подобных условиях применение blockchain-технологий позволяет обеспечить криптографически подтверждённую неизменяемость данных, распределённое хранение информации и прозрачность процессов обработки инцидентов. В ходе исследования было установлено, что наиболее перспективными направлениями применения blockchain в системах информационной безопасности являются контроль целостности журналов событий, автоматизация процессов реагирования с использованием smart contracts, защищённый обмен Threat Intelligence и обеспечение достоверности цифровых доказательств при проведении расследований. Дополнительные возможности открывает интеграция распределённых реестров с технологиями искусственного интеллекта, машинного обучения и современными XDR-платформами. Вместе с тем проведённый анализ показал, что применение blockchain в системах SIEM и SOAR сопровождается рядом технических и организационных ограничений. Основными проблемами остаются снижение производительности при обработке больших объёмов событий, сложности масштабируемости, высокие требования к вычислительным ресурсам и необходимость адаптации существующей инфраструктуры безопасности. Дополнительные риски связаны с уязвимостями smart contracts, угрозами безопасности самих blockchain-сетей и вопросами конфиденциальности корпоративных данных. Blockchain-технологии способны стать важным компонентом перспективных систем управления инцидентами информационной безопасности. Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на разработку адаптивных моделей распределённых SOC-систем, оптимизацию алгоритмов консенсуса, повышение производительности permissioned blockchain-платформ и интеграцию распределённых реестров с интеллектуальными механизмами анализа угроз.

Развитие данных направлений позволит создать более устойчивые, прозрачные и доверенные системы кибербезопасности нового поколения.

Список источников:

1. Nakamoto S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System.- 2008.
2. Zheng Z., Xie S., Dai H., Chen X., Wang H. Blockchain challenges and opportunities: A survey // International Journal of Web and Grid Services.- 2018.
3. Conti M., Kumar S., Lal C., Ruj S. A Survey on Security and Privacy Issues of Bitcoin // IEEE Communications Surveys & Tutorials.- 2018.
4. Roman R., Zhou J., Lopez J. On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things // Computer Networks.- 2019.
5. Dorri A., Kanhere S., Jurdak R. Blockchain in Internet of Things: Challenges and Solutions // arXiv.- 2019.
6. Meng W., Li W., Kwok L. Design of Intelligent KSI-Based Integrity Verification for Cloud Data // IEEE Transactions on Cloud Computing.- 2020.
7. Khan M., Salah K. IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges // Future Generation Computer Systems.- 2021.
8. Casino F., Dasaklis T., Patsakis C. A systematic literature review of blockchain-based applications // Telematics and Informatics.- 2021.
9. Alketbi A., Nasir Q., Abu Talib M. Blockchain for Government Services- Use Cases, Security Benefits and Challenges // IEEE Access.- 2022.
10. Ferrag M., Shu L., Yang X. Security and Privacy for Green IoT-Based Agriculture: Review, Blockchain Solutions, and Challenges // IEEE Access.- 2022.
11. Noor M., Hassan W., Yaqoob I. Blockchain-based secure logging systems: A review // Journal of Network and Computer Applications.- 2023.
12. Rahman A., Hossain M. Blockchain applications in cybersecurity and digital forensics: A systematic review // Computers & Security.- 2024.
13. Singh P., Sharma R. Distributed Ledger Technologies for SIEM and Threat Intelligence Systems // IEEE Access.- 2024.
14. Gupta A., Kim J. Blockchain-enabled security monitoring architectures for SOC infrastructures // Future Internet.- 2025.
15. Wang L., Chen Y. Smart-contract based incident response automation in enterprise cybersecurity // Journal of Information Security.- 2025.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ REST API: ПОДХОДЫ К ВАЛИДАЦИИ, ОГРАНИЧЕНИЮ ДОСТУПА И МОНИТОРИНГУ

Гасанов Амир Рауфович

Магистрант, Академия государственного управления при Президенте
Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан

SUMMARY

The rapid advancement of digital technologies has significantly reshaped how government and commercial organizations manage data exchange through REST APIs. Unlike traditional monolithic architectures, distributed systems rely heavily on secure API endpoints to maintain data integrity and availability. This article examines the key components of REST API security, focusing on input validation, access control mechanisms, and real-time monitoring. The study explores architectural advantages of modern security frameworks and explores essential measures required to protect sensitive data in the public sector. Key questions include: Why is API security essential for modern digital infrastructure? What challenges do developers face in preventing sophisticated injection attacks? How do OAuth2 and JWT protocols ensure scalable authorization? What is the role of continuous monitoring in threat detection?

Keywords: REST API, information security, data protection, validation, authentication, authorization, monitoring, JWT, OAuth2, rate limiting, cybersecurity, public administration.

XÜLASƏ

Rəqəmsal texnologiyaların sürətli inkişafı dövlət və kommertiya təşkilatlarının REST API vasitəsilə məlumat mübadiləsini idarə etmə üsulunu əhəmiyyətli dərəcədə dəyişmişdir. Ənənəvi monolit arxitekturalardan fərqli olaraq, paylanmış sistemlər məlumatların təmliğini və əlçatanlığını qorumaq üçün təhlükəsiz API nöqtələrinə əsaslanır. Bu məqalədə giriş məlumatlarının validasiyası, girişə nəzarət mexanizmləri və real vaxt rejimində monitorinqə diqqət yetirməklə REST API təhlükəsizliyinin əsas komponentləri nəzərdən keçirilir. Tədqiqat müasir təhlükəsizlik sistemlərinin arxitektura üstünlüklərini və dövlət sektorunda həssas məlumatların qorunması üçün tələb olunan zəruri tədbirləri araşdırır.

Açar sözlər: REST API, informasiya təhlükəsizliyi, məlumatların qorunması, validasiya, autentifikasiya, avtorizasiya, monitorinq, JWT, OAuth2, sürət məhdudlaşdırılması, kiber təhlükəsizlik.

АННОТАЦИЯ

Стремительное развитие цифровых технологий существенно изменило способы управления обменом данными в государственных и коммерческих организациях через REST API. В отличие от традиционных монолитных архитектур, распределенные системы в значительной степени полагаются на защищенные конечные точки API для поддержания целостности и доступности данных. В данной статье рассматриваются ключевые компоненты безопасности REST API с упором на валидацию входных данных, механизмы контроля доступа и мониторинг в реальном времени. Исследование изучает архитектурные преимущества современных фреймворков безопасности и основные меры, необходимые для защиты

конфиденциальных данных в государственном секторе.

Ключевые слова: REST API, информационная безопасность, защита данных, валидация, аутентификация, авторизация, мониторинг, JWT, OAuth2, ограничение скорости, кибербезопасность.

1. Введение

В условиях глобальной цифровизации государственного управления и бизнес-процессов, программные интерфейсы (API) стали фундаментом для взаимодействия между распределенными информационными системами. REST (Representational State Transfer) является наиболее распространенным архитектурным стилем, обеспечивающим гибкость и масштабируемость современных веб-сервисов. Однако открытая природа HTTP-протокола, на котором базируется REST, делает эти интерфейсы уязвимыми для широкого спектра кибератак, от несанкционированного доступа до внедрения вредоносного кода.

Для Академии государственного управления вопросы защиты API имеют стратегическое значение, так как через них осуществляется доступ к государственным реестрам, персональным данным граждан и критически важным сервисам. Традиционные подходы к безопасности, ориентированные на защиту периметра сети, оказываются неэффективными в архитектурах, где каждый микросервис должен самостоятельно обеспечивать свою защиту. Актуальность данной работы заключается в необходимости систематизации методов обеспечения безопасности REST API в условиях усложнения ландшафта киберугроз.

2. Теоретические предпосылки и актуальность защиты программных интерфейсов

Теоретический базис безопасности API опирается на принцип «нулевого доверия» (Zero Trust), согласно которому любой запрос, даже из внутренней сети, должен быть проверен и авторизован. Рост числа мобильных приложений и IoT-устройств привел к тому, что API стали основным каналом передачи данных, что подтверждается отчетами OWASP (Open Web Application Security Project).

Основные вызовы, стоящие перед разработчиками и государственными организациями при внедрении API:

- Сложность управления идентификацией: Необходимость безопасного делегирования прав доступа между множеством сервисов.
- Рост автоматизированных атак: Боты и скрипты постоянно сканируют эндпоинты на предмет наличия уязвимостей типа «битая авторизация» (BOLA).
- Прозрачность и подотчетность: Трудности в отслеживании цепочки действий пользователя в распределенной системе.

Без надежной системы безопасности внедрение цифровых сервисов сопряжено с неприемлемыми рисками для национальной информационной инфраструктуры.

3. Особенности архитектуры защищенного API

Архитектура REST API должна включать специализированные слои безопасности, работающие на разных уровнях обработки запроса. Ключевым элементом является API Gateway это единая точка входа, которая берет на себя функции предварительной фильтрации трафика.

Компонент	Функция безопасности	Преимущество
API Gateway	Терминация SSL/TLS, Rate Limiting	Скрытие внутренней структуры сети
Middleware	Проверка JWT токенов, логирование	Централизованный контроль доступа
Data Mapper (DTO)	Фильтрация выходящих полей	Предотвращение утечки лишних данных

Модульность архитектуры позволяет обновлять механизмы защиты (например, переходить на более стойкие алгоритмы шифрования) без переписывания основной бизнес-логики приложения.

4. Комплексные подходы к валидации и фильтрации данных

Валидация данных является первым эшелонм обороны. Ошибки на этом этапе приводят к наиболее критическим уязвимостям, таким как SQL-инъекции или выполнение произвольного кода (RCE). Защищенное API должно реализовывать «позитивную валидацию» - разрешать только те данные, которые точно соответствуют ожидаемому формату.

Основные методы:

1. Валидация типов: Автоматическое отклонение запросов, где в поле «число» передается «строка».
2. Проверка длины и диапазона: Установка жестких лимитов для предотвращения атак типа «отказ в обслуживании» (DoS) через переполнение буфера.
3. Санитизация HTML/JS: Очистка входных данных от скриптов для предотвращения XSS-атак в административных интерфейсах.

Важно подчеркнуть, что валидация должна происходить как на стороне клиента (для удобства пользователя), так и обязательно на стороне сервера (для безопасности).

5. Ограничение доступа: Аутентификация и авторизация

Разграничение прав доступа в современных API строится на использовании токенов. Это позволяет избежать передачи пароля в каждом запросе и обеспечивает гибкое управление сессиями.

JWT (JSON Web Tokens) стал стандартом для Stateless-аутентификации. Токен содержит в себе зашифрованную информацию о пользователе и его правах, подписанную секретным ключом сервера. Однако использование JWT требует соблюдения строгих мер безопасности: использование алгоритма HS256 или RS256, установка короткого времени жизни токена (EXP) и использование механизма Refresh-токенов.

Rate Limiting (ограничение частоты запросов) предотвращает попытки перебора паролей и защищает сервер от перегрузок. Настройка лимитов должна быть дифференцированной: например, 10 запросов в минуту для API входа и 1000 запросов для получения публичных новостей.

6. Мониторинг, логирование и асинхронная обработка инцидентов

Ни одна система не является защищенной на 100%, поэтому критически важно иметь возможность своевременно обнаружить факт атаки. Логирование в REST API должно быть гранулярным, но безопасным (запрещено логировать пароли и токены целиком).

Система мониторинга должна отслеживать:

- Всплески ошибок 401 (Unauthorized) и 403 (Forbidden), что часто указывает на попытки несанкционированного доступа.
- Географическое распределение запросов (аномальные входы из нетипичных регионов).
- Время обработки запросов - замедление системы может свидетельствовать о начале DDoS-атаки или внедрении «тяжелых» запросов.

Интеграция с облачными системами мониторинга позволяет настроить мгновенные уведомления администраторам безопасности при обнаружении подозрительной активности.

7. Заключение

Обеспечение безопасности REST API в современных информационных системах государственного управления требует комплексного и многоуровневого подхода. Теоретический анализ и практические рекомендации показывают, что только сочетание строгой валидации входных данных, использования современных протоколов авторизации (JWT/OAuth2) и непрерывного мониторинга позволяет минимизировать риски киберугроз. Представленная в статье архитектура защиты может стать стандартом для разработки государственных информационных сервисов благодаря своей гибкости и надежности. Дальнейшие исследования могут быть сосредоточены на применении технологий машинного обучения для автоматического выявления аномалий в трафике API и адаптивной защиты от Zero-day атак.

Список литературы

1. Microsoft Docs: API Security Overview. <https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/security/anti-request-forgery>
2. Biehl M. API Architecture: The Big Picture for Building APIs. – API-University Press, 2021.
3. OWASP API Security Top 10. <https://owasp.org/www-project-api-security/>
4. Троелсен Э., Джепикс Ф. Язык программирования C# 10 и платформа .NET 6. – СПб.: Питер, 2022.
5. Freeman A. Pro ASP.NET Core 6. – Apress, 2021.
6. Microsoft Docs: Secure an ASP.NET Core web API. <https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/security/>
7. Чаплин Э. Разработка высоконагруженных систем. – СПб.: БХВ-Петербург, 2021.
8. Snyder L. Proactive Security in Agile Environments. – Springer, 2023.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АУТЕНТИФИКАЦИИ И АВТОРИЗАЦИИ В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯХ

Гасанов Амир Рауфович

Магистрант, Академия государственного управления при Президенте
Азербайджанской Республики, Баку, Азербайджан

SUMMARY

In the digital age, securing user identities and managing access rights have become the cornerstones of web application reliability. This article provides a comprehensive analysis of modern authentication and authorization methods, ranging from multi-factor authentication (MFA) to decentralized identity solutions. It explores the transition from traditional session-based security to stateless token-based protocols like OAuth2 and OpenID Connect. The study addresses key questions: What are the fundamental differences between authentication and authorization in modern architectures? How do biometric and passwordless technologies enhance user security? What challenges arise when implementing Zero Trust principles in government digital services? The paper highlights best practices for protecting sensitive data against credential stuffing and session hijacking attacks.

Keywords: authentication, authorization, MFA, OAuth2, JWT, OpenID Connect, biometric security, passwordless, Zero Trust, web application security, cybersecurity.

XÜLASƏ

Rəqəmsal dövrdə istifadəçi şəxsiyyətlərinin qorunması və giriş hüquqlarının idarə edilməsi veb-tətbiqlərin etibarlılığının təməl daşlarına çevrilmişdir. Bu məqalə çoxfaktorlu autentifikasiyadan (MFA) mərkəzləşdirilməmiş şəxsiyyət həllərinə qədər müasir autentifikasiya və avtorizasiya metodlarının hərtərəfli təhlilini təqdim edir. Tədqiqat ənənəvi sessiya əsaslı təhlükəsizlikdən OAuth2 və OpenID Connect kimi vəziyyətsiz (stateless) token əsaslı protokollara keçidi araşdırır. Məqalədə müasir arxitekturalarda autentifikasiya və avtorizasiya arasındakı fundamental fərqlər, biometrik və şifrəsiz texnologiyaların təhlükəsizliyi necə artırması və dövlət rəqəmsal xidmətlərində Zero Trust prinsiplərinin tətbiqi zamanı yaranan çətinliklər nəzərdən keçirilir.

Açar sözlər: autentifikasiya, avtorizasiya, MFA, OAuth2, JWT, OpenID Connect, biometrik təhlükəsizlik, şifrəsiz giriş, Zero Trust, veb-tətbiq təhlükəsizliyi.

АННОТАЦИЯ

В цифровую эпоху защита личных данных пользователей и управление правами доступа стали краеугольными камнями надежности веб-приложений. Данная статья представляет всесторонний анализ современных методов аутентификации и авторизации, начиная от многофакторной аутентификации (MFA) и заканчивая децентрализованными решениями идентификации. Исследование рассматривает переход от традиционной безопасности на основе сессий к протоколам на основе токенов, таким как OAuth2 и OpenID Connect. В работе освещаются ключевые вопросы: каковы фундаментальные различия между аутентификацией и авторизацией в современных архитектурах? Как биометрические и беспарольные технологии повышают безопасность? С какими проблемами сталкиваются организации при внедрении принципов Zero Trust в государственные цифровые сервисы?

Ключевые слова: аутентификация, авторизация, MFA, OAuth2, JWT, OpenID Connect, биометрическая защита, беспарольный вход, Zero Trust, безопасность веб-приложений.

1. Введение

Безопасность современных веб-приложений начинается с надежной системы идентификации пользователей. В условиях стремительного роста киберпреступности и автоматизированных атак на учетные записи, классическая модель доступа «логин-пароль» более не считается достаточной. Проблема усугубляется тем, что пользователи склонны использовать слабые или повторяющиеся пароли, что делает системы уязвимыми к атакам типа «перебор» (brute-force) и «подстановка учетных данных» (credential stuffing).

Для государственных структур, обеспечивающих работу электронного правительства и порталов предоставления услуг, создание надежной инфраструктуры аутентификации является приоритетом национальной безопасности. Настоящая статья направлена на изучение современных технологических стандартов и архитектурных паттернов, которые позволяют минимизировать риски компрометации учетных записей при сохранении высокого уровня удобства для конечного пользователя.

2. Теоретические основы: разграничение понятий и актуальность

Для глубокого понимания предмета необходимо четко разграничить два взаимосвязанных процесса:

- Аутентификация (Authentication): Процесс подтверждения личности пользователя (ответ на вопрос «Кто вы?»).
- Авторизация (Authorization): Процесс проверки прав доступа пользователя к конкретному ресурсу (ответ на вопрос «Что вам разрешено делать?»).

Актуальность перехода к современным методам обусловлена концепцией «кражи личности». В распределенных системах, где один пользователь может обращаться к десяткам микросервисов, необходимо использовать механизмы, позволяющие безопасно передавать состояние аутентификации без повторного ввода данных. Современная теория информационной безопасности постулирует переход к многофакторным моделям, где знание пароля является лишь одним из условий доступа.

3. Современные протоколы и стандарты аутентификации

На смену проприетарным решениям пришли открытые стандарты, обеспечивающие интероперабельность систем:

Протокол	Назначение	Ключевая особенность
OpenID Connect (OIDC)	Аутентификация	Надстройка над OAuth2 для получения профиля пользователя
SAML 2.0	SSO (Single Sign-On)	Обмен данными об аутентификации в корпоративных средах
FIDO2 / WebAuthn	Беспарольный вход	Использование аппаратных ключей и биометрии (TouchID/FaceID)

Особое внимание заслуживает стандарт FIDO2, который позволяет полностью отказаться от паролей в пользу криптографии с открытым ключом, что делает фишинговые атаки практически невозможными.

4. Механизмы авторизации и управления доступом

Авторизация в современных веб-приложениях реализуется через концепцию токенов. Наиболее распространенным форматом является JWT (JSON Web Token).

- RBAC (Role-Based Access Control): Доступ предоставляется на основе ролей (например, «Администратор», «Пользователь»). Это простой в реализации, но не всегда гибкий метод.
- ABAC (Attribute-Based Access Control): Более сложная модель, учитывающая контекст запроса: время суток, местоположение пользователя, тип устройства и т.д.

В государственных информационных системах рекомендуется использовать гибридный подход, сочетающий четкие роли с дополнительными проверками контекста для критически важных операций.

5. Многофакторная аутентификация (MFA) как стандарт защиты

Внедрение MFA стало обязательным требованием для систем, обрабатывающих конфиденциальные данные. Основные факторы аутентификации делятся на три категории:

- Фактор знания: Пароль или PIN-код.
- Фактор владения: Смартфон (SMS/OTP), аппаратный токен или смарт-карта.
- Фактор свойства (биометрия): Отпечаток пальца, распознавание лица или радужной оболочки глаза.

С точки зрения безопасности, наиболее надежными считаются push-уведомления в защищенных приложениях и аппаратные ключи безопасности, в то время как SMS-подтверждение постепенно признается менее защищенным из-за атак типа SIM-swapping.

6. Архитектура Zero Trust и адаптивная безопасность

Концепция «нулевого доверия» (Zero Trust) предполагает, что ни один пользователь или устройство не считаются доверенными по умолчанию, даже если они находятся внутри корпоративной сети. В такой архитектуре аутентификация становится непрерывным процессом.

Адаптивная аутентификация использует алгоритмы машинного обучения для оценки уровня риска для каждого входа в систему. Если пользователь заходит с нового устройства или из другой страны, система автоматически запрашивает дополнительный фактор проверки. Это позволяет сбалансировать удобство (не запрашивать MFA при обычном поведении) и высокий уровень защиты.

7. Заключение

Эволюция методов аутентификации и авторизации направлена на одновременное повышение уровня защиты и упрощение взаимодействия пользователя с системой. Уход от классических паролей в сторону биометрии и криптографических токенов является глобальным трендом, который должен быть активно внедрен в государственные информационные сервисы Азербайджана.

Комплексное использование протоколов OpenID Connect, JWT и механизмов адаптивной многофакторной защиты позволяет создать надежный цифровой барьер. Дальнейшие исследования в этой области будут связаны с развитием децентрализованной идентификации (Self-Sovereign Identity) на базе технологии блокчейн, что позволит пользователям полностью контролировать свои цифровые личности без посредников.

Список литературы

1. Hardt D. The OAuth 2.0 Authorization Framework. RFC 6749. <https://tools.ietf.org/html/rfc6749>
2. Bertocci V. Modern Authentication with Azure Active Directory for Web Applications. – Microsoft Press, 2020.
3. OWASP Top 10-2021: Identification and Authentication Failures. https://owasp.org/Top10/A07_2021-Identification_and_Authentication_Failures/
4. Siriwardena P. Advanced API Security: Securing APIs with OAuth 2.0, OpenID Connect, JWS, and JWE. – Apress, 2020.
5. ISO/IEC 29115: Entity authentication assurance framework.
6. Microsoft Docs: Single sign-on with OpenID Connect. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/active-directory/develop/v2-protocols-oidc>
7. NIST Special Publication 800-63B: Digital Identity Guidelines.
8. Garrett T. Identity and Access Management: A Comprehensive Guide. – Packt Publishing, 2022.

Gələcəyə yönəlmiş kodlama elmi və onun öyrənilməsi üsulları

Mətanət Həsənpuliyeva

Kompüter mühəndisliyi” kafedrası, Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, Dosent, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7454-3396>

Pərviz Əlizadə

Kompüter mühəndisliyi” kafedrası, Magistrant, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Bakı, Azərbaycan, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9424-5469>

Xülasə. Gələcəyi formalaşdıran əsas alətlərdən biri olan kodlaşdırma, müasir rəqəmsal dövrdə demək olar ki, xarici dil öyrənmək qədər vacib bir bacarıq halına gəlmişdir. İnformasiya texnologiyalarının davamlı inkişafı fonunda kodlaşdırma bacarıqlarının əhəmiyyəti getdikcə artmaqdadır. XXI əsrdə kodlaşdırmanı erkən yaşlardan öyrənməyə başlamaq, məşğulluq imkanlarının genişlənməsi və iqtisadi inkişafın dəstəklənməsi kimi mühüm üstünlüklər təmin edir. Eyni zamanda, kodlaşdırma fərdlərin rəqəmsal transformasiya və texnoloji tərəqqini daha dərinəndən anlamasına kömək edir. Kodlaşdırmanı öyrənmək fərdlərə yalnız rəqəmsal texnologiyalardan şüurlu şəkildə istifadə etməyə deyil, həm də faydalı texnoloji həllər yaratmağa imkan verir. Kodlaşdırma və hesablama təfəkkürü bacarıqlarının inkişaf etdirilməsi gələcəyə yönəlmiş mühüm investisiya kimi qiymətləndirilir və yalnız texnologiyalardan istifadə edən deyil, eyni zamanda onları yaradan cəmiyyətin formalaşmasını dəstəkləyir. Bu tədqiqat kodlaşdırma təhsilinin əhəmiyyətini vurğulayır və uşaqların interaktiv və oyun əsaslı fəaliyyətlər vasitəsilə kodlaşdırmanı öyrənməsinə imkan yaradan açıq mənbəli platformaları – Scratch proqramlaşdırma dili, Code.org platforması və Google Blockly kimi resursları təhlil edir. Bu platformalar yeni başlayanlar və övladlarına kodlaşdırma öyrətmək istəyən valideynlər üçün faydalı vasitələr kimi təqdim olunur.

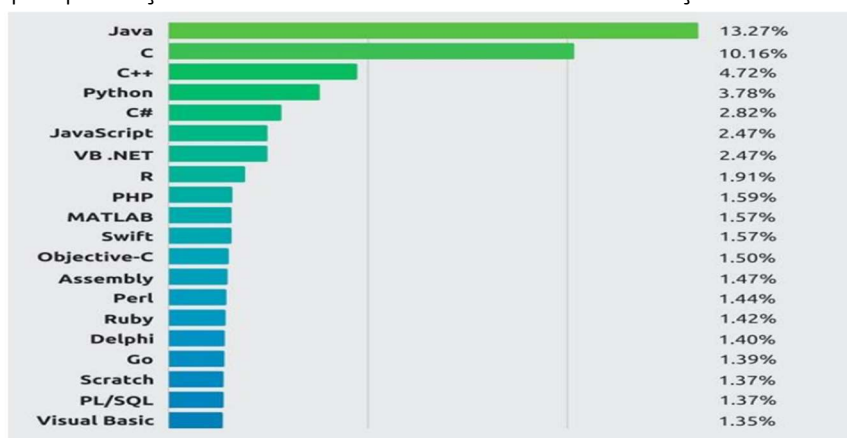
Açar sözlər: Kodlaşdırma, Proqramlaşdırma, Kodlaşdırmada açıq mənbəli resurslar, Oyun əsaslı kodlaşdırma

Giriş. Dünyada, xüsusilə inkişaf etmiş ölkələrdə kodlaşdırmanın öyrənilməsi təhsil sahəsində ən çox müzakirə olunan mövzulardan birinə çevrilmişdir. Kodlaşdırmanın nə olduğu, təhsildə hansı faydaları təmin etdiyi, uşaqlara və böyüklərə hansı üstünlüklər verdiyi, eləcə də bu öyrənmə prosesinə hansı mərhələdə başlanılmalı olduğu kimi suallar geniş şəkildə araşdırılmaqdadır. Müasir dövrdə və yaxın gələcəkdə kodlaşdırma təkcə bir ehtiyac deyil, həm də texnoloji inkişafı uyğunlaşmaq üçün zəruri bacarıq kimi qiymətləndirilir¹. XXI əsrdə fərdlərdən tədqiqat aparmaq, yaradıcılıq və bilik əldə etmə kimi bacarıqlara malik olmaları gözlənilirdi kimi, kodlaşdırma da əsas kompetensiyalardan birinə çevrilmişdir². Erkən yaşlardan kodlaşdırma məntiqinin öyrənilməsi yeni ideyaların yaradılması, həll yollarının tətbiqi, səhvlərin aşkar edilməsi və aradan qaldırılması, eləcə də komanda işində səmərəli əməkdaşlıq kimi bacarıqların inkişafına müsbət təsir göstərir³. Tədqiqatlar göstərir ki, kodlaşdırma həmçinin XXI əsr bacarıqlarının bir çoxunun formalaşmasını dəstəkləyir⁴. Araşdırmalar sübut edir ki, kodlaşdırma bacarıqları problemlərin həlli qabiliyyətini artırır və fərdlərin səhvləri daha asan aşkar edib düzəltməsinə kömək edir. Bu baxımdan, kodlaşdırmanın erkən yaşlardan öyrənilməsinə başlanılması istedad və maraqların inkişafı üçün xüsusilə faydalı hesab olunur⁵. Bir çox uşaqlar texnologiyaya maraq göstərsələr də, bu texnologiyaların necə yaradıldığı onlara nadir hallarda öyrədilir. Bu səbəbdən valideynlər və təhsil mütəxəssisləri uşaqları yalnız texnologiyadan istifadə etməyə deyil, həm də kodlaşdırma təhsili

vasitəsilə onu anlamağa və yaratmağa təşviq etməlidirlər. Bu tədqiqatda kodlaşdırma anlayışı, proqramlaşdırma dilləri, kodlaşdırmanın faydaları və öyrənilməsinin zəruriliyi müzakirə olunur. Eyni zamanda, xüsusilə yeni başlayanlar və uşaqlar üçün kodlaşdırma təhsilini dəstəkləyən müxtəlif metod və platformalar təqdim edilir.

1. Kodlaşdırma. Kodlaşdırma kompüter proqram təminatının hazırlanması prosesinin ilkin mərhələsini təşkil edir. Sözün birbaşa mənasında kodlaşdırma müəyyən qaydalar və strukturlaşdırılmış sistem əsasında həyata keçirilən əməliyyatlar toplusu kimi başa düşülür. Eyni zamanda, kodlaşdırma kompüterlərə və ya elektron mexanizmlərə müəyyən tapşırıqları yerinə yetirmək üçün yazılmış əmrlər ardıcılığı kimi də tərif edilə bilər; bu əmrlər qismən və ya tam təlimatlar toplusu şəklində təqdim oluna bilər (6). Müasir dövrün “əlifbası” kimi səciyyələndirilən kodlaşdırmanın əhəmiyyəti getdikcə artmaqdadır. Bu sahə proqram təminatının hazırlanması, tətbiq dizaynı və veb-saytların yaradılması kimi informasiya və kommunikasiya texnologiyalarını formalaşdıran bir çox istiqamətin əsasını təşkil edir (7). Ənənəvi proqramlaşdırma dilləri struktur baxımından mürəkkəb xüsusiyyətlərə malik olduğundan, onların öyrənilməsi bəzən çətinlik yarada bilər. Son illərdə bu prosesi sadələşdirmək məqsədilə açıq mənbə kodlu platformalar hazırlanmışdır. Bu platformalara Scratch proqramlaşdırma dili, Google Blockly və Code.org platforması daxildir. Vizual xüsusiyyətlərlə zəngin olan və istifadəçi yönümlü interfeysə malik bu platformalar əsasən proqramlaşdırmaya yeni başlayanlar və uşaqlar üçün nəzərdə tutulmuşdur.

1.1.Proqramlaşdırma dilləri. Kodlaşdırmanı öyrənməyə başlayarkən ilk addım onun hansı məqsədlə öyrəniləcəyinin müəyyən edilməsidir. Öyrənmə prosesi zamanı qarşıya çıxan çətinliklər şisirdilməməli, yeni başlayanlar isə ilkin mərhələdə əsas (fundamental) kodlaşdırma texnikalarından başlamalıdırlar. C, C++ və Java kimi baza proqramlaşdırma dillərinin öyrənilməsi gələcəkdə digər proqramlaşdırma dillərinin mənimsənilməsini asanlaşdırır.



Şəkil 1: 2018-ci ildə ən geniş istifadə olunan proqramlaşdırma dilləri

2018-ci ilə aid məlumatlara əsasən, dünyada ən geniş istifadə olunan proqramlaşdırma dilləri Şəkil 1-də təqdim olunmuşdur. Bu siyahının ön sıralarında yer alan bəzi proqramlaşdırma dillərinin xüsusiyyətləri aşağıda ümumiləşdirilmişdir (8):

Java: Java proqramlaşdırma dili 1991-ci ildə təqdim edilmiş və ilkin olaraq ağıllı televizorlar üçün hazırlanmışdır. Qısa müddət ərzində dünyada ən populyar proqramlaşdırma dillərindən birinə çevrilmiş və böyük şirkətlər tərəfindən biznes və tətbiq sahələrində geniş istifadə olunmuşdur. Java proqramçılara müxtəlif funksiyaları effektiv şəkildə həyata keçirməyə imkan verir və geniş proqramlaşdırma tapşırıqlarını dəstəkləyir.

C: C proqramlaşdırma dili ən qədim dillərdən biri olub, 1970-ci ildə hazırlanmış və 1978-ci ildə nəşr olunmuşdur. Bu dil sonradan yaradılmış bir çox proqramlaşdırma dilləri üçün əsas rolunu oynamışdır. C dili daxili sistemlərdə geniş istifadə edilir və bu gün bir çox elektron cihazlarda bu dildə yazılmış komponentlər mövcuddur. C dilinin əsas xüsusiyyətlərindən biri onun maşın dilinə çevrilə bilməsidir. C++ və C# kimi dillər də məhz bu dildən törəmişdir.

Python: 1989-cu ildə yaradılmış Python proqramlaşdırma dili sadə və oxunaqlı sintaksisi ilə seçilir. Son on beş il ərzində onun populyarlığı əhəmiyyətli dərəcədə artmış və hazırda bir çox texnoloji sahələrdə geniş tətbiq olunur. Sadə strukturu digər proqramlaşdırma dilləri ilə müqayisədə proqramların yazılmasını və anlaşılmalarını xeyli asanlaşdırır.

2. Kodlaşdırmanın öyrənilməsinin zəruriliyi. Müasir dövrdə ölkələrin inkişaf səviyyəsi getdikcə daha çox rəqəmsal iqtisadiyyatla əlaqələndirilir. Bu baxımdan, kodlaşdırma bacarıqları bir çox sahələrdə həm tələbələr, həm də mütəxəssislər üçün mühüm kompetensiyalar qazandırdığı üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Mütəxəssislər arasında geniş yayılmış fikrə görə, kodlaşdırmanın öyrənilməsi fərdlərə müasir texnoloji dünyanın necə işlədiyini anlamağa kömək edir və rəqəmsal transformasiya vasitəsilə iqtisadi inkişafı dəstəkləyir. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, kodlaşdırma təhsili şagirdlərdə və tələbələrdə problemin həlli, yaradıcılıq, alqoritmik düşüncə və hesablama təfəkkürü kimi XXI əsr bacarıqlarının formalaşmasına şərait yaradır (9). Bu səbəbdən, kodlaşdırma təhsili yalnız gələcək proqramçılar üçün deyil, bütün tələbələr üçün vacib hesab edilməlidir. Proqramlaşdırıla bilən cihazların həyatın bir çox sahəsində geniş yayılması ilə texnoloji inkişaf sürətlə baş verir. Bu isə öz növbəsində təhsil sistemlərinin qarşısında yeni tələblər qoyur. Belə ki, təhsil sistemləri sürətlə dəyişən texnoloji mühitə uyğunlaşa bilən, eyni zamanda öz texnoloji həllərini dizayn edib yarada bilən fərdlərin yetişdirilməsini əsas məqsəd kimi müəyyən edir (10).

3. Kodlaşdırmanın öyrənilməsinin metodları. Kodlaşdırmanın əsaslarının kiçik yaşlı uşaqlara maraqlı və interaktiv şəkildə öyrədilməsi məqsədilə müxtəlif tətbiqlər hazırlanmışdır. Bu alətlər uşaqlara problemləri addım-addım həll etməyə imkan verərək, eyni zamanda proqramlaşdırmanın baza anlayışlarını mənimsəmələrinə şərait yaradır. Bundan əlavə, bir sıra onlayn platformalar bu öyrənmə prosesini dəstəkləmək üçün pulsuz tədris resursları təqdim edir. Xüsusilə açıq mənbə kodlu platformalar – Code.org, CodeMonkey və Google Blockly – uşaqlara oyunlar, animasiyalar və simulyasiyalar vasitəsilə kodlaşdırmanı öyrənmək imkanı yaradır. Vizual kodlaşdırma strukturlarının köməyi ilə yeni başlayanlar ənənəvi proqramlaşdırma dillərinin mürəkkəb sintaksisini dərindən bilmədən proqramlar və tətbiqlər hazırlaya bilirlər.

3.1. Açıq-Mənbə Resursları. Son dövrlərdə bir çox qeyri-kommersiya təşkilatları kodlaşdırma təhsilini dəstəkləmək məqsədilə innovativ və cəlbedici tədris yanaşmalarına əsaslanan alətlər hazırlamışdır. Blok əsaslı vizual kodlaşdırma vasitələri erkən yaş dövründə uşaqlara proqramlaşdırmanın öyrədilməsi üçün ən effektiv metodlardan biri hesab olunur. Tədqiqatlar göstərir ki, ilkin siniflərdə Scratch vasitəsilə kodlaşdırmanı öyrənən şagirdlər sonradan Java və ya C# kimi proqramlaşdırma dillərini mənimsəyərkən dövrlər kimi anlayışları daha sürətli qavrayırlar. Bu tədqiqat çərçivəsində nəzərdən keçirilən alətlər veb-brauzer üzərindən fəaliyyət göstərən açıq mənbə platformalarıdır ki, bu da onların istifadəsini asan və əlçatan edir. Sadəliyi və geniş əlçatanlığı bu resursları uşaqlara kodlaşdırmanın öyrədilməsi üçün dəyərli vasitələrə çevirir.

3.1.2. Code.org Code.org 2013-cü ildə Hadi Partovi və Ali Partovi tərəfindən yaradılmış qeyri-kommersiya əsaslı kodlaşdırma təhsil platformasıdır və Bill Gates, Mark Zuckerberg kimi texnologiya liderlərinin dəstəyi ilə fəaliyyət göstərir; platformanın əsas məqsədi yeddi yaşdan yuxarı uşaqlara proqramlaşdırmanı maraqlı və oyun əsaslı fəaliyyətlər vasitəsilə öyrətməkdir. Blok əsaslı kodlaşdırma tapşırıqları sayəsində istifadəçilər proqramlaşdırmanın əsas anlayışlarını və alqoritmik düşüncə bacarıqlarını inkişaf etdirir, dövrlər (loop-lar) və problemin həlli strategiyaları kimi konseptləri praktik şəkildə mənimsəyirlər. Motivasiyaedici mühit yaratmaq üçün platformada Elsa kimi məşhur personajlar və Minecraft oyununa aid elementlərdən istifadə olunur; istifadəçilər “sürüklə-burax” prinsipi ilə kod blokları vasitəsilə personajları idarə edərək kodlaşdırmanı

interaktiv və əyləncəli formada öyrənilir (11). Şəkil 3-də təqdim olunan interfeys tapşırıqlar, ipucları, kod blokları və əmərlərin yaradıldığı idarəetmə sahəsindən ibarətdir.

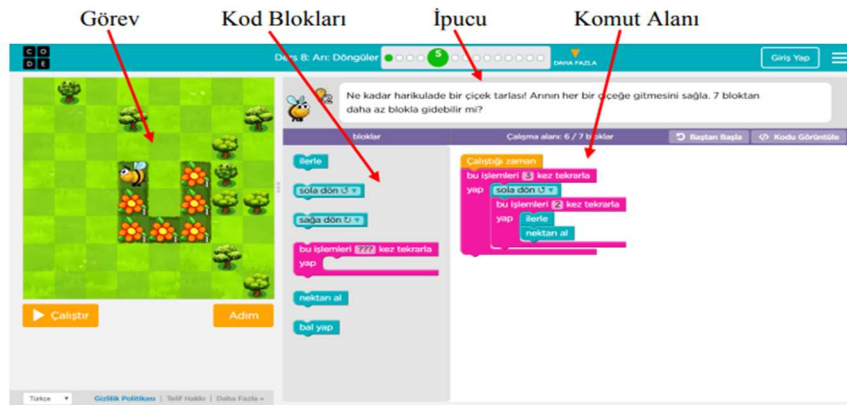


Figure 3: Code.org Tətbiqinin İnterfeysi¹²

3.1.3. CodeCombat. CodeCombat JavaScript, Python və Lua kimi proqramlaşdırma dillərinin öyrədilməsi məqsədilə hazırlanmış onlayn oyun platformasıdır və kodlaşdırmanı oyunlaşdırılmış (game-based) mühitdə öyrətməyi təşviq edir; platforma strateji düşünmə bacarıqlarının inkişafına yönəlib, həmçinin türk dili də daxil olmaqla müxtəlif dil variantlarını dəstəkləyir, ilkin olaraq 9 yaşdan yuxarı uşaqlar üçün nəzərdə tutulsa da, sonradan fərqli yaş və bacarıq səviyyələrinə uyğunlaşdırılmışdır və “learn coding by playing games” şüarı ilə fəaliyyət göstərir. Şəkil 4-də göstəriləndiyi kimi, CodeCombat interfeysi yerinə yetirilməli tapşırıqlardan, bu tapşırıqlarla bağlı ipuclarından və istifadəçilərin kod yazaraq test etdiyi kodlaşdırma sahəsindən ibarətdir.

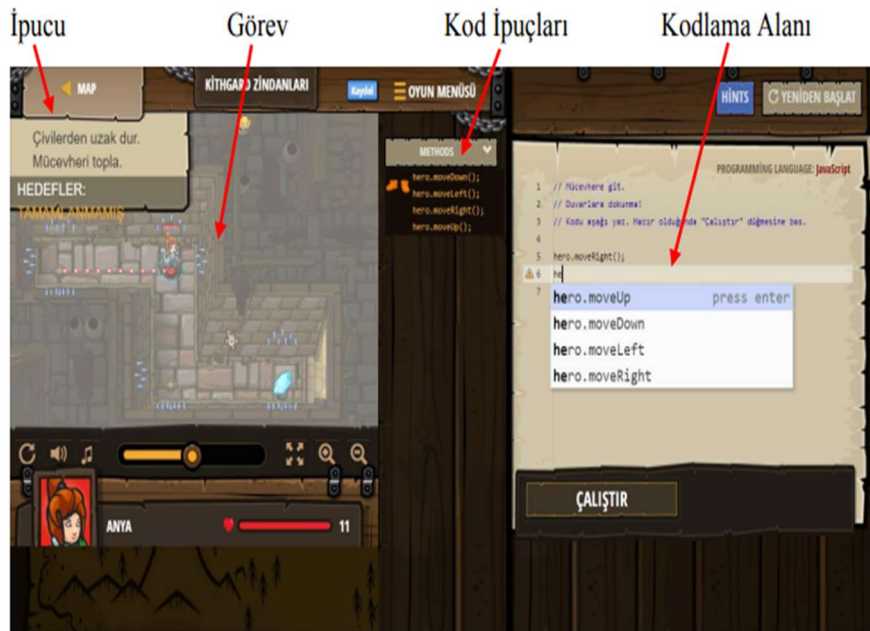
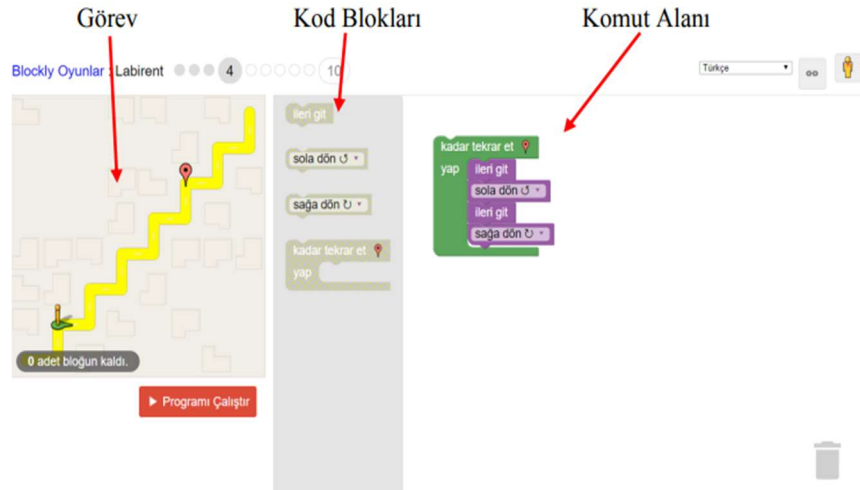


Figure 4: CodeCombat Application Interface

3.1.4. Google Blockly. Google Blockly isə Google tərəfindən hazırlanmış vizual proqramlaşdırma kitabxanasıdır və istifadəçilərə qrafik bloklar vasitəsilə kodlaşdırmanı öyrənmək imkanı yaradır; 2012-ci ilin iyun ayında yaradılmış bu platforma interaktiv fəaliyyətlər vasitəsilə xüsusilə JavaScript öyrənməyə dəstək verir. Digər vizual kodlaşdırma alətləri kimi burada da istifadəçilər tapşırıqları blokları sürüklə-burax metodu ilə yerinə yetirir, tapşırıq uğurla tamamlandıqda isə müvafiq JavaScript kodu avtomatik olaraq göstərilir və istifadəçi növbəti mərhələyə keçir. Platforma uşaq dostu interfeysə malik olmaqla kodlaşdırmanı daha cəlbedici və əlçatan edir, bütün fəaliyyətlər onlayn şəkildə icra olunur və istifadəçilərə zaman və məkan məhdudiyyəti olmadan işləmək imkanı verir.



Şəkil 5: Google Blockly tətbiqinin interfeysi (14)

Nəticə. Kodlaşdırma müasir rəqəmsal dünyada yaradıcılığı, problem həll etmə bacarıqlarını və texnoloji innovasiyanı dəstəkləyən mühüm bir bacarıq kimi formalaşmışdır. Kodlaşdırma biliklərinə malik olan fərdlər oyunlar, animasiyalar və müxtəlif tətbiqlər kimi rəqəmsal məhsullar hazırlaya bilirlər və proqramlaşdırma bacarıqlarına artan tələbat bu sahədə təhsilin əhəmiyyətini daha da gücləndirmişdir. Nəticə etibarilə, bir çox ölkələr Code.org və Scratch kimi platformalar vasitəsilə kodlaşdırmanı təhsil proqramlarına daxil etmişdir. Kodlaşdırma təhsili yalnız texnoloji proseslərin öyrədilməsi ilə məhdudlaşmır, eyni zamanda dil və riyaziyyat kimi fənlərin mənimsənilməsini də asanlaşdırır, analitik düşünmə və layihə hazırlama bacarıqlarını inkişaf etdirir. Vizual və oyun əsaslı kodlaşdırma vasitələri proqramlaşdırma anlayışlarının daha asan qavranılmasına şərait yaradır və öyrənənlərin motivasiyasını artırır. Kodlaşdırma ilə erkən yaşda tanışlıq uşaqlarda yaradıcılıq, innovativ düşüncə və problem həll etmə kimi əsas kompetensiyaların formalaşmasına kömək edir. İnformasiya əsrində kodlaşdırma təhsili mühüm bir tədris vasitəsinə çevrilmişdir və gələcəkdə tələbələrə texnoloji və iqtisadi inkişafə hazırlamaq məqsədilə təhsil proqramlarında daha geniş yer tutacağı gözlənilir.

REFERANSLAR

1. SAYIN, Zehra; SEFEROĞLU, S. Sadi. (2016). “Yeni Bir 21. Yüzyıl Becerisi Olarak Kodlama Eğitimi ve Kodlamanın Eğitim Politikalarına Etkisi”, *XVIII. Akademik Bilişim Konferansı*, s.1–7.
2. SHIN, Seungki; PARK, Phanwoo; BAE, Youngkwon. (2013). “The Effects of an Information-Technology Gifted Program on Friendship Using Scratch Programming Language and Clutter”, *International Journal of Computer and Communication Engineering*, Volume:2, Issue:3, p.246–249.
3. TAYLOR, Marilyn; HARLOW, Ann; FORRET, Michael. (2010). “Using a Computer Programming Environment and an Interactive Whiteboard to Investigate Some Mathematical Thinking”, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 8, p.561–570.
4. WILLIAMS, Lawrence; CERNOCHOVA, Miroslava. (2013). “Literacy from Scratch”, *X World Conference on Computers in Education*, p.17–27.
5. WING, Jeannette M. (2006). “Computational Thinking”, *Communications of the ACM*, Volume:49, Issue:3, p.33–35.
6. YECAN, Esra; ÖZÇINAR, Hüseyin; TANYERİ, Tayfun. “Bilişim Teknolojileri Öğretmenlerinin Görsel Programlama Öğretimi Deneyimleri”, *Elementary Education Online*, Cilt:16, s.377–393.
7. “Blockly Oyunlar: Labirent”, Google Blockly. <https://blocklygames.appspot.com/maze?lang=tr&level=4&skin=0>
8. “Digital Transformation”, European Commission. http://ec.europa.eu/growth/industry/policy/digital-transformation_en
9. “Learn How to Code by Playing a Game”, CodeCombat. <https://codecombat.com/play/level/dungeons-of-kithgard>
10. “Neden Kodlama?”, Kodlama Atölyesi. <http://kodlamaatolyesi.com/neden-kodlama/>
11. “Scratch Project Editor”, Scratch. https://scratch.mit.edu/projects/editor/?tip_bar=home
12. “Shaping the Digital Single Market”, European Commission. <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/policies/shaping-digital-single-market>
13. “TIOBE Index for May 2018”, TIOBE. <https://www.tiobe.com/tiobe-index/>
14. “Blockly Oyunlar:Labirent”, Google Blockly, Web <https://blockly-games.appspot.com/maze?lang=tr&level=4&skin=0>

ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЙ И АДАПТИВНЫЙ МЕДИАКОНТЕНТ: БУДУЩЕЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Алдынгурова Асель Кайыртаевна

магистрант, ОП «Медиа Технологии», Astana IT University (г. Астана, Казахстан)

Научный руководитель:

Ахитова Риза Суиндиговна

Школа Креативных Индустрии, PhD, Astana IT University (г. Астана, Казахстан)

Аннотация. В статье рассматривается развитие персонализированного и адаптивного медиаконтента как одного из ключевых направлений интерактивных технологий. Показано, что современные цифровые платформы постепенно переходят от универсальной модели распространения контента к системам, которые учитывают интересы, поведение, контекст, устройство, уровень цифровой грамотности и эмоциональное состояние пользователя. Особое внимание уделяется роли искусственного интеллекта, рекомендательных алгоритмов, мобильных технологий, AR/VR-сред и иммерсивных форматов. На основе анализа научных источников и отраслевых публикаций рассматриваются преимущества персонализации, а также риски, связанные с приватностью данных, фильтрационными пузырями, манипулятивным воздействием и цифровым неравенством. Сделан вывод о том, что будущее интерактивных технологий должно строиться не только на повышении вовлеченности аудитории, но и на принципах прозрачности, этичности, доступности и человеческого контроля.

Ключевые слова: персонализированный медиаконтент; адаптивные технологии; интерактивные медиа; искусственный интеллект; цифровая среда; иммерсивные технологии; пользовательский опыт; этика данных.

Введение. Современная цифровая среда меняет отношения между пользователем и медиаконтентом. Если раньше аудитория чаще воспринималась как массовая и относительно однородная, то сегодня платформы все активнее подстраивают контент под конкретного человека. Пользователь видит разные рекомендации, разные новостные подборки, разные форматы рекламы и даже разные варианты интерфейса. Поэтому персонализация становится не дополнительной функцией, а одной из основ цифровой коммуникации.

В классическом понимании персонализация означает подбор или организацию контента с учетом интересов пользователя. Thurman и Schifferes отмечают, что она может быть явной, когда человек сам указывает предпочтения, и неявной, когда система делает выводы на основе поведения и данных [13]. В адаптивных системах этот процесс становится еще сложнее: платформа не только выбирает контент, но и меняет способ его подачи в зависимости от контекста, устройства, скорости соединения, места просмотра или пользовательского состояния.

Актуальность темы связана с тем, что персонализированные и адаптивные медиа уже используются в образовании, журналистике, развлечениях, социальных сетях, стриминговых

сервисах и рекламной коммуникации. При этом развитие таких технологий вызывает не только интерес, но и вопросы. С одной стороны, они делают цифровой опыт удобнее и точнее. С другой стороны, они усиливают зависимость платформ от пользовательских данных и могут ограничивать разнообразие информации, которую получает человек.

Персонализация и адаптация: различие понятий

Персонализация и адаптация часто используются как близкие понятия, но между ними есть важное различие. Персонализация в первую очередь связана с подбором контента под конкретного пользователя. Например, видеоплатформа может рекомендовать фильмы на основе истории просмотров, а новостной сайт - выводить темы, которые чаще открывал читатель. Адаптация же предполагает более динамичную реакцию системы: она может менять формат, сложность, интерфейс, визуальные параметры или звук в зависимости от текущей ситуации.

В медиасфере персонализация давно стала экономической стратегией. Новостные сайты и развлекательные платформы используют ее для повышения лояльности, удержания аудитории и сбора данных о поведении пользователей [13]. Однако современные технологии выходят за пределы простого списка рекомендаций. В специализированных исследованиях по адаптивному контенту отмечается, что медиасистема может учитывать не только прошлые действия пользователя, но и условия просмотра, устройство, окружающую среду и даже индивидуальные особенности восприятия [8].

Таким образом, адаптивный медиаконтент можно рассматривать как следующий этап развития персонализации. Он не просто отвечает на вопрос, что показать пользователю, но и определяет, как именно это показать: через текст, видео, звук, интерактивный элемент, визуализацию или иммерсивную среду.

Роль искусственного интеллекта в развитии адаптивных медиа

Искусственный интеллект является одним из основных инструментов, который делает персонализацию масштабной и автоматизированной. Алгоритмы способны анализировать большие объемы данных, выявлять повторяющиеся модели поведения и предлагать контент, который с высокой вероятностью будет интересен конкретному пользователю. В образовании это проявляется через адаптивные траектории обучения, интеллектуальные подсказки, чат-боты и персонализированную обратную связь.

Fortuna et al. показывают, что персонализированное обучение с применением ИИ постепенно переходит от простых правил к машинному обучению, обработке естественного языка, интеллектуальным обучающим системам и большим языковым моделям [4]. Эта логика применима и к другим медиа: если алгоритм может подбирать учебный материал под уровень студента, он может также адаптировать развлекательный, новостной, рекламный или игровой контент.

Исследования мобильного контекстно-адаптивного обучения также показывают, что смартфоны, планшеты и носимые устройства могут использовать данные о местоположении, времени, устройстве, активности и прогрессе пользователя [7]. Для медиаплатформ это означает возможность создавать более гибкие сценарии взаимодействия: один и тот же материал может быть представлен как короткое видео, аудиоформат, интерактивная карточка или подробный текст в зависимости от ситуации просмотра.

Таблица 1. Основные направления персонализации и адаптации медиаконтента

Направление	Какие данные учитываются	Пример применения	Основной риск
Рекомендации контента	История просмотров, клики, поисковые запросы	Персональная лента новостей или фильмов	Фильтрационный пузырь
Адаптация формата	Устройство, скорость интернета, условия просмотра	Автоматический выбор видео, текста или аудио	Снижение разнообразия опыта
Образовательная адаптация	Уровень знаний, ошибки, темп прохождения	Персональная траектория обучения	Зависимость от цифровой грамотности
Иммерсивный опыт	Движение, внимание, взаимодействие в AR/VR	Интерактивные VR/AR-сценарии	Сбор чувствительных данных
Социальные сети	Интересы, реакции, подписки, время просмотра	Персонализированная лента и реклама	Манипуляция вниманием
Визуализация данных	Когнитивный стиль и пользовательские предпочтения	Адаптивные графики и информационные панели	Ошибочная интерпретация данных

Человеческий фактор и дизайн пользовательского опыта

Персонализированные технологии нельзя рассматривать только как технический вопрос. Они напрямую связаны с пользовательским опытом и с тем, насколько человек понимает систему, доверяет ей и контролирует собственные данные. В сборнике НААРИЕ подчеркивается необходимость учитывать когнитивные особенности, эмоции, мотивацию, культуру, опыт и индивидуальные различия пользователей [5]. Это особенно важно потому, что одна и та же визуальная структура может быть удобной для одного человека и сложной для другого.

Steichen и Fu показали, что когнитивный стиль влияет на работу пользователей с информационными визуализациями [12]. Для цифровых медиа это означает, что персонализация должна касаться не только содержания, но и формы подачи. Например, сложный аналитический материал можно представить в виде текста, инфографики, видеообъяснения или интерактивной панели. Чем точнее система учитывает особенности восприятия, тем выше вероятность, что пользователь действительно поймет материал.

Однако человеческий фактор связан и с рисками. Если система слишком хорошо знает слабые места пользователя, она может не только помогать, но и манипулировать. Aimeur, Diaz Ferreyra и Hage рассматривают проблему malicious personalization, когда персонализация используется для эксплуатации когнитивных и поведенческих уязвимостей в социальных сетях [1]. Поэтому развитие адаптивных медиа требует этических ограничений и прозрачных правил.

Образование как модель развития адаптивного контента

Сфера образования хорошо показывает, как может работать адаптивный медиаконтент. В образовательных платформах уже используются персональные задания, автоматическая обратная связь, подбор сложности, отслеживание прогресса и разные формы подачи материала. Sayed et al. предложили адаптивную платформу, которая учитывала когнитивные, поведенческие и аффективные характеристики учащихся;

результаты пилотного исследования показали рост успеваемости и удовлетворенности, особенно у студентов с более низкими начальными результатами [11].

Yaseen et al. также показывают, что адаптивные технологии, персонализированная обратная связь и интерактивные ИИ-инструменты повышают вовлеченность студентов, но эффективность этих инструментов зависит от уровня цифровой грамотности [14]. Этот вывод важен не только для образования. Любая персонализированная платформа будет работать слабее, если пользователь не понимает, как она устроена, какие данные собирает и как с ней взаимодействовать.

Поэтому адаптивные медиа будущего должны не просто подстраиваться под пользователя, но и объяснять свою работу. Прозрачность алгоритмов, доступные настройки и возможность отказаться от определенных типов персонализации становятся частью качественного пользовательского опыта.

Иммерсивные и интерактивные форматы

Следующий этап развития персонализированного контента связан с иммерсивными технологиями. AR, VR, смешанная реальность, носимые устройства и биометрические сенсоры позволяют учитывать не только клики и просмотры, но и положение тела, движение, внимание и физический контекст. Alam и Windiarti отмечают, что ИИ в сочетании с VR, AR и геймификацией может создавать более персонализированные и инклюзивные обучающие системы [2].

Bujić, Thibault и Namari описывают будущие адаптивные медиа как системы, которые могут чувствовать, реагировать и совместно формировать восприятие пользователя [3]. Такие технологии открывают новые возможности для развлечений, образования, терапии, культуры и коммуникации. Вместе с этим они поднимают вопросы личной автономии, приватности и эмоционального воздействия.

В цифровых развлечениях уже заметен переход от отдельных медиапродуктов к экосистемам. Игры, стриминговые сервисы, виртуальные концерты, онлайн-сообщества и авторские платформы становятся пространствами, где пользователь не только потребляет, но и участвует, комментирует, выбирает и совместно создает опыт [6], [9]. Поэтому персонализированный контент все чаще похож не на готовый продукт, а на среду, которая меняется вместе с пользователем.

Этические вызовы персонализированных медиа

Несмотря на очевидные преимущества, персонализированные и адаптивные медиа создают серьезные вызовы. Первый из них связан с данными. Чтобы система могла адаптировать контент, ей нужно собирать сведения о действиях пользователя, его интересах, устройстве, местоположении, иногда даже об эмоциональном состоянии. Это требует четких правил хранения, обработки и удаления данных.

Второй вызов связан с фильтрационными пузырями. Если человек постоянно получает только тот контент, который совпадает с его прежними интересами, он может постепенно терять доступ к альтернативным мнениям и новым темам. Для новостей, политики и общественных дискуссий это особенно опасно, так как персонализация может усиливать поляризацию и замыкать пользователя в узком информационном пространстве [5].

Третий вызов связан с цифровым неравенством. Пользователи с быстрым интернетом, современными устройствами и высоким уровнем цифровой грамотности получают более качественный адаптивный опыт. Те, кто не имеет таких ресурсов, могут оказаться в менее выгодном положении. Поэтому принципы доступности, прозрачности и инклюзии должны закладываться в адаптивные системы с самого начала, а не добавляться после внедрения технологии.

Заключение

Персонализированный и адаптивный медиаконтент становится одним из важных направлений развития интерактивных технологий. Он меняет саму модель коммуникации: вместо одинакового сообщения для всех пользователей цифровые платформы стремятся предлагать контент, формат и интерфейс, соответствующие конкретному человеку и его ситуации.

Искусственный интеллект, мобильные устройства, рекомендательные алгоритмы, AR/VR и пользовательское моделирование делают такую адаптацию технически возможной. Однако ценность этих технологий зависит от того, как именно они применяются. Если персонализация направлена только на удержание внимания и коммерческую выгоду, она может привести к манипуляции, информационной изоляции и потере контроля над данными.

Будущее интерактивных технологий должно быть связано не только с точностью алгоритмов, но и с ответственным дизайном. Персонализированные медиа должны помогать пользователю учиться, понимать, выбирать и участвовать, а не просто дольше оставаться в ленте. Поэтому ключевыми принципами развития адаптивного контента становятся прозрачность, этичность, доступность, защита данных и сохранение человеческого контроля.

Список литературы

- [1] Aimeur E., Diaz Ferreyra N., Hage H. Manipulation and malicious personalization: Exploring the self-disclosure biases exploited by deceptive attackers on social media // *Frontiers in Artificial Intelligence*. 2019. Vol. 2. Article 26.
- [2] Alam T. H. I., Windiarti I. S. The future of artificial intelligence in interactive learning: Trends, challenges, opportunities // *Engineering Proceedings*. 2025. Vol. 84. Article 87.
- [3] Bujic M., Thibault M., Hamari J. Adaptive media that feels: A futures workshop exploring implications of immersive systems that sense, respond to, and co-construct perception. *ACM Mindtrek*, 2025.
- [4] Fortuna A., Prasetya F., Samala A. D., Rawas S., Criollo-C S., Kaya D., Raihan M., Andriani W., Safitri D., Nabawi R. A. Artificial intelligence in personalized learning: A global systematic review of current advancements and shaping future opportunities // *Social Sciences & Humanities Open*. 2025. Vol. 12. 102114.
- [5] Germanakos P., Dimitrova V. G., Kleanthous S. Editorial: Article collection on the human aspects in adaptive and personalized interactive environments // *Frontiers in Artificial Intelligence*. 2020. Vol. 3. 606068.
- [6] Grit Daily. The future of digital entertainment. 2026.
- [7] Gumbheer C. P., Khedo K. K., Bungaleea A. Personalized and adaptive context-aware mobile learning: Review, challenges and future directions // *Education and Information Technologies*. 2022. Vol. 27. P. 7491-7517.
- [8] Pytlarz J. Introduction to adaptive content and personalization // *SMPTE Motion Imaging Journal*. 2024. Vol. 133, No. 6. P. 14-15.
- [9] Ragpicker Press. Interactive digital media: Future of content creation. 2025.
- [10] Rani N. G., Swetha M. Adaptive personalization of social media feed using post categorization // *International Journal of Communication Networks and Information Security*. 2024. Vol. 16, No. 4.
- [11] Sayed W. S., Noeman A. M., Abdellatif A., Abdelrazek M., Badawy M. G., Hamed A., El-Tantawy S. AI-based adaptive personalized content presentation and exercises navigation for an effective and engaging e-learning platform // *Multimedia Tools and Applications*. 2022. Vol. 82. P. 3303-3333.
- [12] Steichen B., Fu B. Towards adaptive information visualization: A study of information visualization aids and the role of user cognitive style // *Frontiers in Artificial Intelligence*. 2019. Vol. 2. Article 22.
- [13] Thurman N., Schifferes S. The future of personalization at news websites: Lessons from a longitudinal study // *Journalism Studies*. 2012. Vol. 13, No. 5-6. P. 775-790.
- [14] Yaseen H., Mohammad A. S., Ashal N., Abusaimeh H., Ali A., Sharabati A.-A. A. The impact of adaptive learning technologies, personalized feedback, and interactive AI tools on student engagement: The moderating role of digital literacy // *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 3. 1133.

The Use of Different Artificial Intelligence Models in Chess

Khalafov Kamil

Azerbaijan State Oil and Industry University

Abstract. Chess has long served as a fundamental environment for the development and evaluation of artificial intelligence methods. This paper examines the evolution of AI models used in chess, starting from early rule-based systems and search algorithms to modern machine learning and deep reinforcement learning approaches. Particular attention is given to key milestones such as minimax-based engines and advanced systems like AlphaZero. The study also compares the strengths and limitations of different models and discusses their impact on both chess and the broader field of artificial intelligence. The findings suggest that the progression of chess AI reflects major technological shifts, with future developments likely focusing on efficiency, interpretability, and hybrid model design.

Keywords: Chess, Artificial Intelligence, Minimax Algorithm, Reinforcement Learning, AlphaZero

Introduction. Chess has long been considered one of the most important testing grounds for artificial intelligence. The reason for this is quite straightforward: the game has clear rules, no randomness, and requires both short-term calculations and long-term strategic thinking. Because of these characteristics, researchers have used chess for decades to understand whether machines can replicate or even surpass human decision-making.

This paper aims to explore how different AI models have been applied in chess over time. It will look at early rule-based systems, search algorithms, and more recent machine learning and reinforcement learning approaches. In addition, the paper will briefly compare these models and discuss how they contributed to the broader development of artificial intelligence.

Historical Development of Chess AI. The idea of teaching a computer to play chess goes back to 1950, when Claude Shannon published a foundational paper on the topic. In his work, Shannon explained that it would be impractical for a computer to analyze every possible move in a game. Instead, he suggested that computers should evaluate positions and focus only on the most promising options (Shannon, 1950). This idea became the basis for many future systems.

One of the earliest and most important approaches was the **minimax algorithm**. The main idea behind minimax is simple: one player tries to maximize their advantage, while the opponent tries to minimize it. Even though this method was logically sound, it required analyzing a huge number of possible positions, which made it computationally expensive.

To improve efficiency, developers introduced **alpha-beta pruning**. This technique reduces the number of positions that need to be evaluated by eliminating branches that are unlikely to affect the final decision. As a result, chess engines became much faster without losing accuracy.

A major turning point came in 1997, when IBM's Deep Blue defeated Garry Kasparov, the world chess champion at the time. This was a historic moment, as it showed that machines could outperform even the best human players under certain conditions. Deep Blue relied heavily on brute-force search combined with carefully designed evaluation functions (Campbell et al., 2002).

Modern Artificial Intelligence Models in Chess. Over time, chess AI moved beyond purely rule-based systems and began to incorporate learning-based approaches.

Rule-Based Systems

Early engines depended almost entirely on human knowledge. Developers manually defined what makes a position “good” or “bad.” For example, they assigned values to pieces and considered factors such as king safety or pawn structure. While these systems were reliable, they were limited by how much knowledge programmers could include.

Search-Based Engines

Modern engines like Stockfish still rely heavily on search algorithms. They evaluate millions of positions per second and use highly optimized versions of alpha-beta pruning. These engines are extremely strong in tactical situations because they can calculate very deeply. However, their understanding of positions still depends, to some extent, on human-designed evaluation rules.

Machine Learning Approaches

Machine learning introduced a new direction. Instead of relying only on fixed rules, these systems learn patterns from large datasets of chess games. They can recognize common strategies, opening ideas, and positional structures. This makes them more flexible, although their performance depends on the quality and size of the data they are trained on.

Deep Reinforcement Learning

A significant breakthrough came with AlphaZero. Unlike previous systems, AlphaZero did not rely on human game databases. Instead, it learned by playing against itself repeatedly. Over time, it improved its performance and developed its own understanding of the game. This approach allowed it to discover strategies that were sometimes surprising even to experienced players.

Another interesting example is Leela Chess Zero, which follows a similar idea but is developed by a global open-source community. It shows that high-level AI performance is no longer limited to large corporations.

Comparison of AI Models

Each type of AI model has its own strengths and weaknesses.

Rule-based systems are easier to understand because their decisions are based on clearly defined rules. However, they are not very flexible. Search-based engines are extremely strong in calculation, especially in tactical positions, but they require significant computational power.

Machine learning systems are more adaptable since they learn from data, but they depend heavily on the quality of that data. Deep reinforcement learning models are perhaps the most advanced, as they can learn independently without human input. On the other hand, they require a large amount of computational resources and time for training.

In practice, modern chess engines often combine different approaches. For example, they may use neural networks for evaluation while still relying on search algorithms for move calculation.

Impact on Artificial Intelligence. The importance of chess AI goes beyond the game itself. Many techniques developed in chess, such as tree search and reinforcement learning, are now used in other areas like robotics, finance, and autonomous systems.

In addition, chess engines have become valuable tools for players. Today, both beginners and professionals use AI to analyze games, prepare openings, and improve their skills. This has changed the way chess is studied and played.

Future Work. Although artificial intelligence in chess has reached an extremely advanced level, there are still several areas that can be explored in future research. One important direction is the development of more computationally efficient models. Current deep reinforcement learning systems, such as AlphaZero, require significant processing power and time, which limits their accessibility.

Another potential area is the improvement of explainability in AI systems. Many modern models, especially neural networks, function as “black boxes,” making it difficult to understand

how specific decisions are made. Developing more transparent systems could help both researchers and players better interpret AI behavior.

In addition, future studies could focus on hybrid approaches that combine the strengths of classical search algorithms with modern learning-based models. Such systems may achieve a better balance between calculation accuracy and strategic understanding.

Finally, chess AI can be further used as a foundation for solving more complex real-world problems. Insights gained from chess-based models may contribute to advancements in areas such as decision-making systems, optimization, and autonomous technologies.

Future Work

Although artificial intelligence in chess has reached an extremely advanced level, there are still several areas that can be explored in future research. One important direction is the development of more computationally efficient models. Current deep reinforcement learning systems, such as AlphaZero, require significant processing power and time, which limits their accessibility.

Another potential area is the improvement of explainability in AI systems. Many modern models, especially neural networks, function as “black boxes,” making it difficult to understand how specific decisions are made. Developing more transparent systems could help both researchers and players better interpret AI behavior.

In addition, future studies could focus on hybrid approaches that combine the strengths of classical search algorithms with modern learning-based models. Such systems may achieve a better balance between calculation accuracy and strategic understanding.

Finally, chess AI can be further used as a foundation for solving more complex real-world problems. Insights gained from chess-based models may contribute to advancements in areas such as decision-making systems, optimization, and autonomous technologies.

Conclusion. The development of AI in chess reflects the overall progress of artificial intelligence. Early systems were based on fixed rules, later approaches focused on efficient search, and recent models rely on learning and adaptation.

Each stage introduced new ideas and solved different problems. Even though modern systems are extremely powerful, there is still ongoing research aimed at improving efficiency and understanding.

Chess remains a unique and important environment for testing AI systems, and it will likely continue to play a role in future technological advancements.

References (APA 7th Edition)

1. Campbell, M., Hoane, A. J., & Hsu, F. H. (2002). Deep Blue. *Artificial Intelligence*, 134(1–2), 57–83. [https://doi.org/10.1016/S0004-3702\(01\)00129-1](https://doi.org/10.1016/S0004-3702(01)00129-1)
2. Shannon, C. E. (1950). Programming a computer for playing chess. *Philosophical Magazine*, 41(314), 256–275. <https://doi.org/10.1080/14786445008521796>
3. Silver, D., Hubert, T., Schrittwieser, J., Antonoglou, I., Lai, M., Guez, A., & Hassabis, D. (2018). A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and Go through self-play. *Science*, 362(6419), 1140–1144. <https://doi.org/10.1126/science.aar6404>
4. Browne, C. B., Powley, E., Whitehouse, D., Lucas, S. M., Cowling, P. I., Rohlfshagen, P., & Colton, S. (2012). A survey of Monte Carlo tree search methods. *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, 4(1), 1–43. <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2012.2186810>

Behavioral Patterns of Users in Digital Content Marketplaces: A Steam Dataset Study

Nazira Shaimerdenova

Master's Student (MSc), School of Artificial Intelligence and Data Science, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, <https://orcid.org/0009-0006-6980-1166>

Aislu Kassekeyeva

PhD, Assistant Professor, School of Artificial Intelligence and Data Science, Astana IT University, Astana, Kazakhstan, <https://orcid.org/0000-0002-5547-0718>

Abstract

Digital content marketplaces generate large volumes of data reflecting collective user preferences. However, explicit user-level interaction logs are often unavailable due to privacy and accessibility constraints. This paper investigates how such aggregated signals can be leveraged as proxies for user preference modeling in recommendation tasks.

Content attributes (genres, tags, and textual descriptions), together with popularity indicators (ratings and ownership statistics), are treated as representations of collective demand. A structured Bronze-Silver-Gold preprocessing pipeline is applied to ensure data consistency and analytical reliability. Three recommendation strategies are evaluated: content-based similarity, popularity-based ranking, and a hybrid model combining both signals.

Unlike traditional recommender systems that rely on user interaction data, the proposed framework focuses on item-to-item recommendation under data-constrained conditions. Evaluation is performed using semantic consistency metrics (Tag-Precision@10 and Tag-Jaccard@10), which capture thematic alignment rather than actual user satisfaction.

Experimental results show that the hybrid model achieves high semantic consistency (Tag-Precision@10 = 0.945) while providing a better balance between relevance and popularity compared to baseline approaches. The findings suggest that aggregated marketplace data can support effective and scalable recommendation, offering a practical solution for platforms where user-level data is unavailable.

Keywords: digital marketplaces; recommender systems; content-based recommendation; hybrid recommendation; aggregated data

Introduction

Digital commerce has experienced rapid growth over the past decade and continues to play a critical role in modern digital economies. Online platforms offering digital products and services, including video games, media content, and streaming services, demonstrate particularly high growth rates due to their global accessibility and low marginal distribution costs. As the number of platforms and available digital products increases exponentially, users are confronted with an overwhelming amount of information, commonly referred to as the information overload problem [1].

The rapid integration of artificial intelligence into digital commerce has significantly transformed customer engagement and personalization strategies [2], [3].

The evolution of e-commerce systems can be broadly divided into several stages. Early platforms primarily focused on user acquisition and membership-based models, followed by

volume-oriented strategies aimed at maximizing transaction throughput. In recent years, the industry has entered a data-driven phase, where value creation increasingly depends on the ability to collect, analyze, and exploit large volumes of user and product data [1]. In this context, personalized recommendation systems have emerged as a key technological solution for reducing information overload and improving user experience.

The adoption of AI-driven personalization has been shown to increase customer satisfaction and improve predictive customer behavior analytics in online retail environments [4], [5].

Personalized recommendation services enable platforms to tailor content and product suggestions according to users' preferences, interests, and behavioral patterns. Compared to traditional mass marketing approaches, personalized recommendations support one-to-one interaction with users, reduce search costs, and significantly improve engagement and conversion rates [1]. Recommendation systems have therefore become an indispensable component of modern digital marketplaces and personalized marketing strategies.

However, a major challenge in designing effective recommender systems lies in the availability and quality of user interaction data. Classical collaborative filtering approaches rely heavily on explicit user-level feedback such as ratings, clicks, or purchase histories. In many real-world digital marketplaces, such data may be sparse, partially inaccessible, or restricted due to privacy considerations. As a result, user preferences must often be inferred indirectly from aggregated behavioral signals, including popularity metrics, ratings distributions, content tags, and textual descriptions [6].

The Steam platform represents a large-scale digital content marketplace where individual user interaction logs are not publicly available. Instead, user behavior is reflected through aggregated statistics such as ownership estimates, review counts, genre distributions, and community-generated tags. These features provide valuable proxy indicators of collective user interests and engagement, making Steam a suitable case study for analyzing behavioral patterns in data-constrained environments.

Unlike many existing studies that focus on improving algorithmic complexity or model accuracy through advanced machine learning and deep learning techniques, this work addresses a different but practically relevant problem setting. Specifically, it considers recommendation scenarios where explicit user-level interaction data is unavailable, which is common in real-world digital marketplaces due to privacy, accessibility, or early-stage deployment constraints.

In such environments, complex collaborative or neural models cannot be directly applied, and the challenge shifts from optimizing model sophistication to effectively leveraging limited and aggregated data sources. This work explores how simple, interpretable, and data-efficient methods can be adapted and combined to capture meaningful preference signals under these constraints.

This paper investigates behavioral patterns in a digital content marketplace using the Steam dataset as a case study. The main objective is to evaluate how content attributes and aggregated popularity signals can be leveraged to approximate collective user preferences and generate effective recommendations in the absence of explicit user interaction logs. The contributions of this study are as follows:

1. This paper formalizes a recommendation scenario under the absence of explicit user-level interaction data, which is common in real-world digital marketplaces due to privacy and accessibility constraints.
2. It demonstrates how aggregated marketplace signals (tags, ownership, ratings, and textual metadata) can serve as proxy indicators of collective user behavior.

3. It provides an empirical evaluation of simple yet robust recommendation strategies under such constraints, highlighting trade-offs between semantic relevance, diversity, and popularity bias.

4. It analyzes the limitations of semantic evaluation metrics and discusses their implications for real-world recommendation quality.

The contribution of this work lies in the systematic analysis of recommendation strategies under data-constrained conditions, highlighting their effectiveness, limitations, and practical trade-offs for real-world deployment.

Related Work

Recommendation systems have been extensively studied as a key solution for personalization and information overload reduction in e-commerce and digital marketplaces. Recent research emphasizes the growing role of artificial intelligence and data-driven methods in improving recommendation relevance and user satisfaction [1], [6].

Bibliometric and systematic reviews confirm the growing scientific interest in AI-powered recommender systems and predictive analytics in e-commerce ecosystems [7], [8].

Existing recommendation approaches are commonly classified into collaborative filtering, content-based, and hybrid methods. Collaborative filtering techniques infer user preferences by leveraging patterns of interaction between users and items. Among these, matrix factorization models have become a foundational approach, effectively capturing latent user-item relationships by decomposing interaction matrices into low-dimensional representations [9].

Recent developments extend collaborative filtering with neural architecture. Neural recommendation models, such as Neural Collaborative Filtering [10], replace linear interaction functions with deep neural networks, enabling the modeling of complex and non-linear user-item relationships. These approaches have demonstrated strong performance in ranking and prediction tasks in data-rich environments.

However, both classical and neural collaborative filtering methods fundamentally rely on the availability of explicit user-item interaction data. In scenarios where such data is unavailable or inaccessible, as in the case of aggregated marketplace datasets, these methods cannot be directly applied, necessitating alternative recommendation strategies.

Content-based recommendation methods address these limitations by relying on item attributes such as categories, tags, and textual descriptions. These approaches are particularly effective for new items and users, and provide explainable recommendation logic. However, their performance strongly depends on content quality and they often lead to overspecialization and limited recommendation diversity [11].

To overcome these challenges, hybrid recommendation models combine behavioral and content-based signals within a single framework. Hybrid approaches have been shown to provide more stable and accurate recommendation performance across heterogeneous data sources, including interaction logs, metadata, and textual reviews [1], [6]. As a result, hybrid models are widely recognized as a practical solution for large-scale digital marketplaces.

Recent studies further explore advanced machine learning and deep learning techniques for recommendation tasks. Neural ranking models, such as DeepFM, capture non-linear feature interactions and demonstrate strong performance in ranking and conversion prediction scenarios [12]. Multimodal approaches integrate behavioral data with textual and sentiment features to better model user intent and satisfaction, though they require complex architectures and substantial computational resources [13].

Deep learning approaches, including multimodal and ranking-based architectures, are increasingly adopted for modeling complex user-item interactions and customer satisfaction signals [14].

Despite these advances, most existing approaches assume the availability of explicit user-item interaction data. In contrast, many real-world digital content platforms provide only aggregated behavioral signals, such as popularity metrics, ratings distributions, and community-generated tags.

This limitation creates a distinct recommendation setting in which traditional collaborative and neural methods cannot be directly applied. Modeling user preferences under such data constraints therefore remains an important and insufficiently explored research problem.

This study contributes to this direction by systematically evaluating content-based and hybrid recommendation strategies using aggregated marketplace data, focusing on their ability to capture semantic relevance and balance popularity effects in the absence of explicit user interaction logs.

Dataset and methodology

A. Dataset Description

This study is based on the publicly available Steam Store Games dataset provided by Nik Davis on Kaggle (<https://www.kaggle.com/datasets/nikdavis/steam-store-games>). The dataset provides comprehensive metadata for digital products available on the Steam marketplace, one of the largest global platforms for video game distribution. This makes it a suitable real-world environment for analyzing user behavior patterns in data-constrained scenarios.

The data contains information on approximately 27,000 games, including metadata such as genres, tags, pricing, ratings, and estimated ownership statistics. All preprocessing steps applied in this study, including filtering criteria, feature engineering, and dataset reduction, are explicitly described to ensure reproducibility of the experimental results.

Unlike traditional recommendation datasets that include explicit user-item interaction data, such as individual ratings or purchase histories, this dataset does not provide user-level feedback. Instead, user behavior is reflected through aggregated popularity and engagement indicators, including ownership estimates, review statistics, and community-generated tags. These characteristics make it particularly relevant for studying recommendation systems under limited behavioral data availability.

The dataset consists of multiple files describing different aspects of game content. The primary sources used in this study include:

- steam.csv, containing core metadata such as game titles, developers, publishers, genres, categories, tags, prices, release dates, and ownership estimates;
- steam_description_data.csv, providing full textual descriptions of games for semantic content analysis;
- steamspy_tag_data.csv, offering quantitative tag weights derived from aggregated player preferences.

Additional files related to multimedia content, system requirements, and support information were analyzed but excluded to maintain methodological focus and reduce preprocessing complexity.

The key features selected for analysis include a unique game identifier (appid), title, developer and publisher information, release date, categorical attributes (genres, categories, SteamSpy tags), popularity indicators (positive and negative ratings, ownership estimates), pricing information, and detailed textual descriptions. Together, these attributes serve as proxy indicators of collective user behavior, capturing preferences, engagement intensity, and market demand across the platform.

B. Data Preprocessing and Feature Engineering

To ensure data quality, consistency, and suitability for analytical modeling, a multi-stage preprocessing pipeline was implemented. The dataset preparation process followed a structured Bronze-Silver-Gold architecture, enabling efficient data versioning, quality control, and scalability.

In the Bronze layer, raw data files were preserved in their original form to ensure traceability. The Silver layer focused on data cleaning and integration, where all relevant tables were merged using the appid key. During this stage, data types were standardized, date formats were unified, and identifier mismatches were resolved. Duplicate records were removed, and technical entries such as downloadable content, soundtracks, bundles, and non-game products were excluded.

The Gold layer represented the final analytical dataset used for modeling. Comprehensive data cleaning operations were applied, including the removal of games with unrealistic pricing, insufficient rating counts, or missing textual content. As a result, the dataset was reduced from 27,075 to 20,210 high-quality records, ensuring analytical consistency while maintaining a reasonable level of market diversity. Fig. 1 summarizes the main reasons for record removal during the data cleaning process.

Reason for removal		Count
5	Low rating count (<5 reviews)	4272
4	Invalid price (<0.2 or >150)	2570
6	Too short description (<20 chars)	38
0	Bundle/DLC/Soundtrack	15
3	Old releases (<2000)	4
1	Empty description	0
2	No release date	0
7	Missing tags/genres	0

Figure 1. Summary of record removal reasons during data cleaning.

The data cleaning process significantly improved the overall quality and consistency of the dataset by removing noisy, incomplete, and non-representative records. This step was essential to ensure reliable feature extraction and stable model behavior, particularly for text-based similarity methods that are sensitive to sparse or low-quality inputs.

At the same time, the applied filtering criteria may alter the representation of certain segments of the market. In particular, items with limited metadata, very low interaction signals, or atypical pricing are more likely to be excluded. Such items often correspond to niche or less popular content, which may reduce the representation of the long-tail distribution in the final dataset.

From a modeling perspective, this introduces a trade-off between data quality and catalog diversity. While the cleaned dataset enables more robust and consistent similarity estimation, it may also increase the relative influence of well-represented and widely adopted items.

To address this effect, popularity signals were normalized and incorporated with a relatively low weight in the hybrid model, ensuring that recommendation ranking is primarily driven by content similarity rather than raw popularity. This design reduces the risk of excessive dominance of highly popular items while preserving the primary role of semantic relevance in recommendation ranking.

Missing values were handled using feature-specific strategies. Numerical fields, such as prices, ownership counts, and rating values, were filled using zero or median imputation

depending on their semantic meaning. Textual fields were replaced with empty strings, while categorical attributes such as genres, tags, and supported platforms were labeled as “unknown” when absent.

Feature engineering was performed to enhance behavioral representation. A Bayesian popularity score was computed by combining positive and negative ratings to balance sentiment and review volume. Ownership estimates were logarithmically normalized to mitigate popularity bias and create a continuous demand indicator. In addition, a unified meta-text feature was constructed by concatenating the game title, genres, tags, detailed description, and developer and publisher information. This representation enabled richer semantic modeling for content-based recommendations. The main engineered features and their sources are summarized in Table 1.

Table 1. Newly added features and their sources during dataset enrichment

New feature	Source	Value for the model
detailed_description, about_the_game	steam_description_data.csv	Used for text analysis (TF-IDF, text similarity)
steamspy_tags (quantitative weights)	steamspy_tag_data.csv	Reflects tag popularity among players
achievements	steam.csv	Indicates player engagement and game depth
owners (min/max)	steam.csv	Popularity metric, can be used for rating normalization
platforms	steam.csv	Allows recommendations based on device compatibility

C. Exploratory Data Analysis

Exploratory data analysis was conducted to identify structural patterns and behavioral trends within the dataset. The analysis revealed that action, indie, adventure, and role-playing genres dominate the Steam marketplace, reflecting user preferences for interactive and content-rich experiences. The distribution of the most frequent genres is illustrated in Fig. 2.

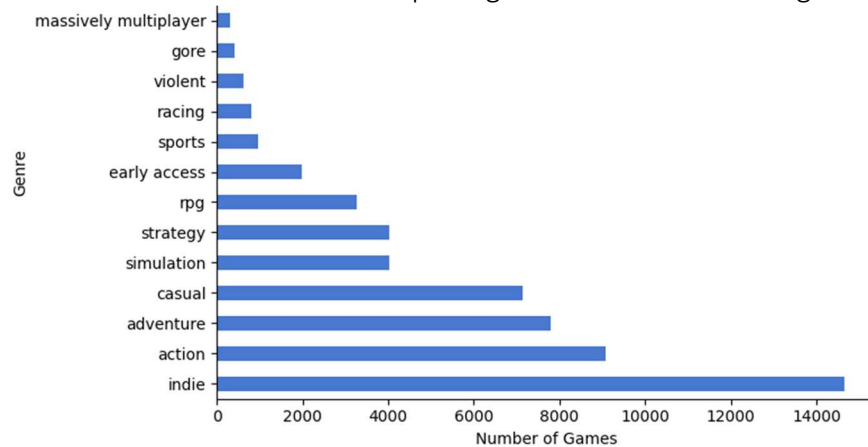


Figure 2. Distribution of the top 13 game genres in the Steam dataset.

Price distribution analysis showed that the majority of games are priced below ten US dollars, indicating a market structure oriented toward affordable digital content. Fig. 3 presents the distribution of games across different price ranges.

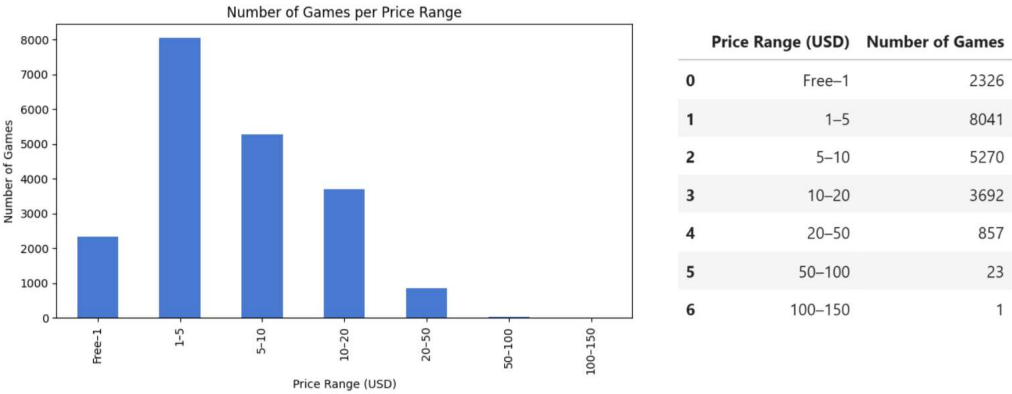


Figure 3. Distribution of games by price range.

Correlation analysis demonstrated a strong positive relationship between user approval metrics and ownership estimates, confirming that aggregated ratings reliably reflect collective engagement behavior. Temporal analysis of release dates highlighted the increasing volume of digital content over time, emphasizing the importance of effective recommendation mechanisms to address information overload.

These findings validated the suitability of the dataset for studying aggregated behavioral patterns and informed the selection of modeling strategies.

D. Recommendation Models

Based on the dataset characteristics and the results of exploratory analysis, three recommendation approaches were implemented and evaluated.

The first approach is a content-based recommendation model that employs term frequency inverse document frequency vectorization over textual and categorical features, followed by cosine similarity to identify semantically similar games. This model generates recommendations based on content relevance and is particularly effective in cold-start scenarios.

The second approach is a hybrid recommendation model that integrates content similarity scores with a normalized popularity indicator derived from ownership statistics. This model balances semantic relevance with collective user interest, addressing the limitations of purely content-based methods and improving recommendation diversity.

The third approach applies clustering-based analysis using singular value decomposition for dimensionality reduction, followed by MiniBatch K-Means clustering. This method groups games into latent thematic clusters, enabling semantic segmentation of the catalog and supporting exploratory recommendation scenarios.

E. Evaluation Strategy

Model performance was evaluated using semantic consistency metrics and popularity-based indicators, as explicit user-level feedback was not available. Tag-Precision@10 and Tag-Jaccard@10 were employed to assess thematic alignment between recommended items and the reference game, while normalized popularity scores were used to evaluate exposure balance across recommendations.

The evaluation framework focuses on measuring structural coherence of recommendations, reflecting the ability of the model to capture meaningful relationships between items under data-constrained conditions. In this context, tag-based metrics serve as an interpretable proxy for semantic similarity.

In addition to the proposed models, a simple Most-Popular baseline was explicitly included for comparison. In this approach, recommendations are generated solely based on the normalized popularity score derived from ownership estimates and rating statistics.

This baseline reflects a common popularity-driven strategy in digital marketplaces, where items are ranked according to overall demand rather than content similarity. It provides a reference point for assessing whether more advanced models offer improvements beyond popularity-based ranking.

Experimental Results

The performance of the proposed recommendation approaches was evaluated using semantic consistency and popularity balance metrics. Due to the absence of explicit user-level interaction data, traditional accuracy metrics based on user feedback could not be applied. Instead, evaluation focused on measuring thematic relevance and demand distribution in the recommended item sets.

Semantic consistency was assessed using tag-based metrics that quantify the overlap between the content attributes of recommended games and the reference item. Tag-Precision@10 was used to measure the proportion of recommended games sharing at least one common genre or tag with the target item, while Tag-Jaccard@10 captured the degree of overall tag overlap. Popularity balance was evaluated using a normalized ownership-based popularity score to assess exposure diversity.

Among the evaluated approaches, the hybrid recommendation model demonstrated the strongest overall performance. A comparative overview of model performance across evaluation metrics is shown in Fig. 4.

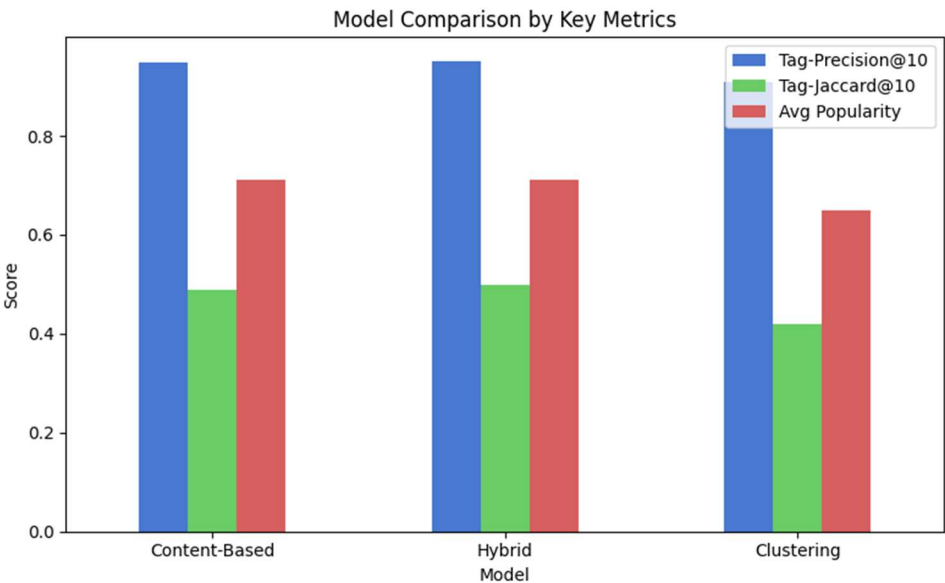


Figure 4. Comparison of model performance across main evaluation metrics (Precision@10, Jaccard@10, Average Popularity).

Tag-Precision@10 reached 0.945, indicating a high level of semantic alignment between recommended games and the reference content. The Tag-Jaccard@10 score of 0.468 confirmed consistent overlap across multiple content attributes. In addition, the average normalized popularity score of 0.712 showed that the hybrid model successfully balanced relevance with collective user demand, avoiding excessive bias toward either highly popular or niche items.

The content-based model achieved strong semantic relevance but exhibited a tendency toward overspecialization, frequently recommending games with very narrow thematic similarity. While this behavior ensured high relevance, it limited recommendation diversity. Clustering-based

approaches provided valuable insights into the latent thematic structure of the catalog and supported exploratory analysis; however, they were less effective for generating ranked recommendation lists compared to similarity-based methods.

The Most-Popular baseline achieved high average popularity values but demonstrated lower semantic consistency compared to the content-based and hybrid models. This confirms that popularity alone is insufficient for capturing meaningful relationships between items.

In contrast, the hybrid model preserves high semantic relevance while maintaining competitive popularity levels, indicating a better balance between content similarity and collective demand.

Discussion

The experimental results confirm that aggregated content attributes and popularity-related features can effectively capture meaningful preference patterns in digital content marketplaces. Even in the absence of explicit user interaction logs, these signals provide sufficient information to support high-quality personalization.

Hybrid recommendation models consistently outperformed purely content-based approaches by integrating semantic relevance with collective user interest. This balance proved essential for mitigating overspecialization and popularity bias, two common limitations of single-method recommendation systems. The findings suggest that combining multiple proxy indicators of user behavior leads to more robust and practically useful recommendation outcomes.

From an applied perspective, the results highlight the feasibility of implementing effective recommendation systems in data-constrained environments. This is particularly relevant for digital platforms facing privacy restrictions, limited historical data, or early-stage deployment conditions. The proposed methodology offers a scalable and data-efficient solution that can be adapted to various digital content domains beyond gaming.

Despite these promising results, several limitations should be considered.

The evaluation strategy in this study is intentionally designed for data-constrained environments where user-level interaction logs are unavailable. Therefore, semantic consistency metrics (Tag-Precision@10 and Tag-Jaccard@10) are used to assess the structural coherence and thematic relevance of recommendations.

While these metrics do not directly measure user satisfaction, they provide a reliable proxy for evaluating recommendation quality in scenarios where behavioral data cannot be accessed. This setting reflects real-world constraints faced by many digital platforms.

Future work may extend this evaluation by incorporating implicit feedback or user interaction data when available, enabling a more comprehensive assessment of recommendation performance.

Conclusion

This paper presented an empirical study of recommendation strategies in a digital content marketplace under data-constrained conditions, where explicit user-level interaction data is unavailable. Using the Steam dataset as a case study, the work explored how aggregated marketplace signals can be leveraged to approximate collective user preferences.

The experimental results demonstrate that hybrid recommendation approaches combining content similarity with normalized popularity signals achieve strong semantic consistency (Tag-Precision@10 = 0.945) while maintaining a balanced exposure of popular and less popular items. Compared to both content-based and popularity-based baselines, the hybrid model provides a more effective trade-off between relevance and demand.

These findings indicate that practically useful recommendation quality can be achieved even in the absence of explicit user interaction data, provided that multiple proxy signals are

carefully integrated. This is particularly relevant for real-world platforms operating under privacy constraints or limited data availability.

At the same time, the results should be interpreted within the scope of the adopted evaluation framework, which focuses on semantic consistency rather than direct user satisfaction. Future work may extend this approach by incorporating implicit feedback signals and more advanced representation methods to further improve recommendation quality.

References

- [1] L. Liu, "E-commerce personalized recommendation based on machine learning technology," *Mobile Information Systems*, vol. 2022, pp. 1–11, 2022.
- [2] L. T. Khrais, "Role of artificial intelligence in shaping consumer demand in e-commerce," *Future Internet*, vol. 12, no. 12, p. 226, 2020.
- [3] S. Chintalapati and S. K. Pandey, "Artificial intelligence in marketing: A systematic literature review," *International Journal of Market Research*, vol. 64, no. 1, pp. 38–68, 2021.
- [4] M. Tiutiu and D. Dabija, "Improving customer experience using artificial intelligence in online retail," *Proc. Int. Conf. Business Excellence*, vol. 17, no. 1, pp. 1139–1147, 2023.
- [5] N. Nkomo and M. N. Mupa, "The impact of artificial intelligence on predictive customer behaviour analytics in e-commerce," *IRE Journals*, vol. 8, no. 5, 2024.
- [6] S. Necula and V. Păvăloaia, "AI-driven recommendations: A systematic review of the state of the art in e-commerce," *Applied Sciences*, vol. 13, no. 9, p. 5531, 2023.
- [7] R. E. Bawack, S. F. Wamba, K. D. A. Carillo, and S. Akter, "Artificial intelligence in e-commerce: A bibliometric study and literature review," *Electronic Markets*, vol. 32, no. 1, pp. 297–338, 2022.
- [8] A. Valencia-Arias et al., "Artificial intelligence and recommender systems in e-commerce: Trends and research agenda," *Intelligent Systems with Applications*, vol. 24, p. 200435, 2024.
- [9] Y. Koren, R. Bell, and C. Volinsky, "Matrix factorization techniques for recommender systems," *Computer*, vol. 42, no. 8, pp. 30–37, 2009, doi: 10.1109/mc.2009.263.
- [10] X. He, L. Liao, H. Zhang, L. Nie, X. Hu, and T.-S. Chua, "Neural collaborative filtering," in *Proc. 26th Int. World Wide Web Conf. (WWW)*, 2017, pp. 173–182, doi: 10.1145/3038912.3052569.
- [11] L. M. Policarpo et al., "Machine learning through the lens of e-commerce initiatives: An up-to-date systematic literature review," *Computer Science Review*, vol. 41, p. 100414, 2021.
- [12] J. Xu, Z. Hu, and J. Zou, "Personalized product recommendation method for analyzing user behavior using DeepFM," *Journal of Information Processing Systems*, vol. 17, no. 2, pp. 369–384, 2021.
- [13] X. Zhang and C. Guo, "Research on multimodal prediction of e-commerce customer satisfaction driven by big data," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 18, p. 8181, 2024.
- [14] L. Zhou, "Product advertising recommendation in e-commerce based on deep learning and distributed expression," *Electronic Commerce Research*, vol. 20, no. 2, pp. 321–342, 2020.

ADAPTIVE EXERCISE RECOMMENDATION FOR MUSIC SKILL DEVELOPMENT USING MACHINE LEARNING

Kanapiya Ersultan Muratuly

Master's student, International Information Technology University, Kazakhstan, Almaty

Sapakova Saya Zamanbekovna

Scientific advisor, Candidate of physical-mathematical sciences, International Information Technology University, Kazakhstan, Almaty

The development of intelligent systems with the ability to create personalized learning paths is one of the most popular research trends in the area of educational technologies. In this paper, we present an adaptive exercise recommendation module which is embedded into the MusicEval intelligent music learning platform. The algorithm of our module is based on a hybrid recommendation strategy which involves content-based filtering and collaborative filtering to propose exercises tailored to a learner's performance gaps. We have created a database of 320 structured music exercises, classified according to three different skill types: pitch, rhythm, and dynamics. We have applied the recommendations generated by the algorithm to evaluate the performance of 4,200 audio samples. Our hybrid recommender system produced a Precision@5 score of 0.847 and an NDCG@10 of 0.881, which is significantly better than results obtained using a content-based and collaborative filtering algorithm independently.

Keywords: adaptive learning, exercise recommendation, music education, collaborative filtering, content-based filtering, hybrid recommender system, machine learning.

1. Introduction

The availability of digital platforms for learning music has opened up several avenues for individuals to learn through themselves; however, most of the available platforms lack sufficient capacity to offer adaptive learning. Current software used for teaching music offers users a preset curriculum that does not adapt to their weaknesses and strengths. A student who may be having difficulty in rhythm and can read notes easily will be subjected to the same set of exercises as another learner who lacks the ability to read notes.

Recommender systems, which have proven effective applications in areas like e-commerce, media streaming, and online education, provide an ideal approach to solving this problem. With the help of a recommender system, one would be able to analyze the pattern of behavior of students and predict those exercises that would help the particular learner the most at each stage of learning. The potential of applying recommender systems to the field of music education, especially for instrument-independent performance evaluation, still requires further investigation in the literature.

In this paper, we will introduce the design and implementation process of the adaptive exercise recommendation module that has been implemented as one of the key modules for the development of MusicEval, a smart system for assessing and training music performances. The recommendation module takes in the structured output generated by the MusicEval assessment engine, which analyzes musical performances based on three categories: pitch accuracy, rhythmic accuracy, and dynamic consistency. Weaknesses are then mapped to a carefully chosen set of exercise items. A hybrid approach combining content-based and collaborative filtering methods was adopted in order to achieve both accuracy and generalization.

The contribution of this work is in three folds. Firstly, a well-structured exercise database consisting of 320 exercises based on three skills and five different difficulty levels is created. Secondly, a hybrid algorithm which exploits the strengths of each individual algorithm is suggested and explained. Lastly, an experiment to demonstrate that hybridization leads to better results than standalone algorithms is carried out.

2. Related Work

Educational recommender systems have been widely explored within the field of intelligent tutoring systems and technology-enhanced learning. Nabizadeh et al. gave an extensive overview of research works dealing with the personalized learning path recommendation approach, highlighting content-based filtering as the most suitable algorithmic choice for scenarios where learner performance records exist explicitly and emphasizing the role of adaptability in educational technology [1, p. 113597]. In addition, Bhaskaran and Marappan created a hybrid machine learning recommendation system using density-based spatial clustering in the context of e-learning, and showed the superiority of hybrids compared to pure filtering techniques in the domain of educational datasets [2, p. 3519].

For the particular domain of music recommendation and information retrieval, the contributions of Schedl et al. included an extensive review of music recommendation systems, discussing content-based filtering, sequential recommendation, and context-based recommendation methods, thus creating a taxonomy of technologies useful in the area of music education [3, p. 930]. The research of Ferraro et al. studied the impact of session-based recommendations within the music realm over time, showing that the pattern of repeated exposure resulting from the use of recommendation engines can be detected in the long term [4, p. 475].

Regarding music performance assessment, which is the basis of the current recommendation system, Lerch et al. conducted an extensive interdisciplinary study indicating that multidimensional performance analysis is the optimal method for automatic feedback systems [5, p. 224]. Seshadri and Lerch proved that using contrastive learning for convolutional neural networks yields outstanding results in regression problems related to music performance assessment [6, p. 636]. Huang et al. found that score-aware deep architectures outperform score-unaware architectures in performance assessment [7, p. 910]. The scientific evaluation of music performances based on the pitch, rhythm, and dynamics aspects is traced back to Wu et al., whose description model forms the basis of the weakness profile vector used in the current system [8, p. 3]. In recommending physical exercises, Bhaskaran et al. also revealed that hybrid recommendation systems relying on clusters always enhance personalization efficiency in e-learning environments [9, p. 199]. The quality of individual performance aspects utilized as input data for the recommendation engine was proven by Pati et al. through deep neural networks [10, p. 507], Giraldo et al. in evaluating tone quality [11, p. 2], and Cancino-Chacón et al. in developing expressive performance models [12, p. 3].

3. System Architecture

The adaptive recommendation module is meant to be loosely coupled with the rest of the MusicEval system architecture, taking in data produced by the performance evaluation engine and giving back exercise recommendations in ranked order. The architecture of the recommendation system can be seen in Figure 1.

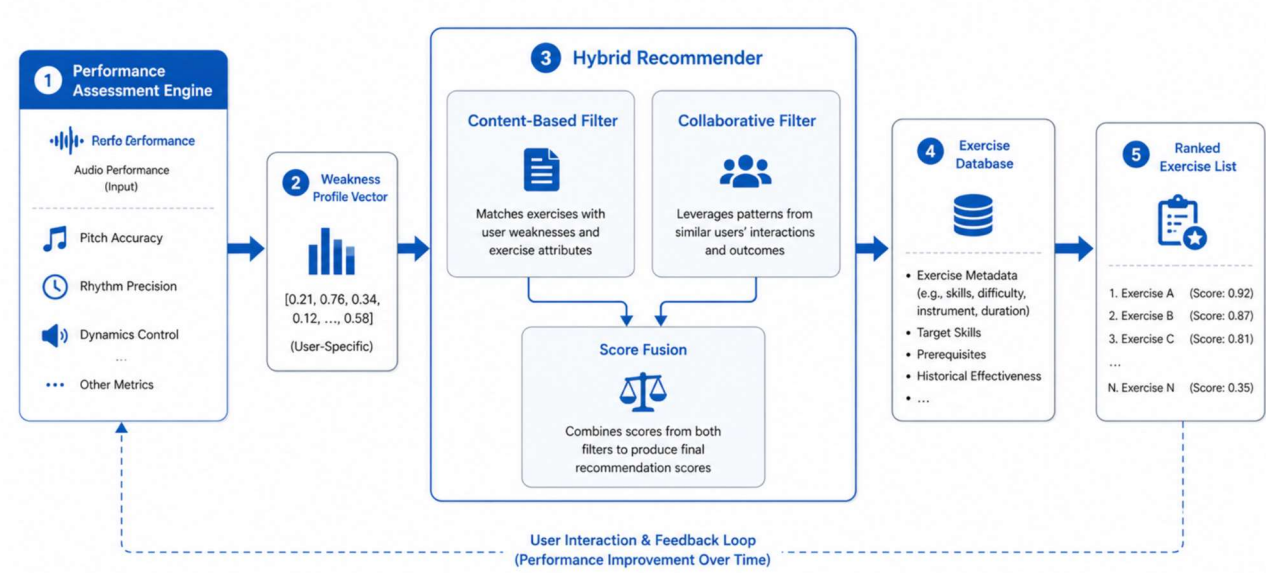


Figure 1. Architecture of the adaptive exercise recommendation pipeline within the MusicEval system.

The pipeline runs through four stages that happen sequentially. In the first stage, the Performance Assessment Engine, which is covered in detail in another document, takes an audio file of a musical performance as input and outputs a three-dimensional vector $w = (w_p, w_r, w_d)$ representing weaknesses in terms of pitch (w_p), rhythm (w_r), and dynamics (w_d). The variables w_p , w_r , and w_d can assume any value between zero and one and indicate how pronounced a certain kind of weakness is.

For the second stage, the similarity scoring mechanism for the content-based filtering calculates the scores based on the weakness pattern of the learner against the feature vector of each possible candidate exercise in the exercise database. For the third stage, the similarity scoring mechanism for collaborative filtering detects other learners whose weakness pattern history is alike and gets those exercises which had proved useful for them. Finally, for the fourth stage, the weightage of scores calculated by both mechanisms is taken into consideration to form the final recommendation list of exercises.

4. Exercise Database

A database of 320 practical exercises, organized in a systematic manner for usage in MusicEval, has been created. These exercises have been taken from renowned music education syllabuses like the Royal Conservatory of Music curriculum structure and the Associated Board of the Royal Schools of Music (ABRSM) syllabus, and have been categorized based on three major skill components and five different levels of difficulty. The structure of this exercise database is shown in Table 1 below.

Table 1.

Composition of the MusicEval exercise database by skill dimension and difficulty level

Skill Dimension	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Level 5	Total
Pitch Accuracy	18	20	22	18	16	94
Rhythmic Precision	20	22	24	20	18	104
Dynamic Consistency	16	18	20	16	14	84
Combined (Multi-skill)	8	10	10	6	4	38
Total	62	70	76	60	52	320

Each of the exercises in the database is described by a feature vector consisting of: the key skill dimension being targeted, the secondary skill dimensions involved, the level of difficulty, the approximate time duration in minutes, the instrument usage flags, and the pedagogical method category.

5. Hybrid Recommendation Methodology

5.1 Content-Based Filtering Component

The content-based filtering components calculate the relevance value between the learner's weakness profile vector w and the exercise's feature vector e through weighted cosine similarity calculation. The calculation of the content-based score for the exercise i takes place according to the following formula:

$$S_{CB}(w, e_i) = \frac{w \cdot e_i^{skill}}{\|w\| \cdot \|e_i^{skill}\|} \cdot \phi(l_i, l^*) \quad (5.1)$$

where e_i^{skill} represents the vector of exercise i on the skill dimension, and $\phi(l_i, l^*)$ is a difficulty level function which penalizes those exercises whose level l_i differs considerably from the learner's level l^* :

$$\phi(l_i, l^*) = \exp\left(-\frac{(l_i - l^*)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5.2)$$

where $\sigma = 1.0$ controls the width of the difficulty tolerance window.

5.2 Collaborative Filtering Component

The collaborative filtering algorithm is applied on the matrix $R \in R^{M \times N}$ which is formed from the learner-exercise interaction dataset. Here, M refers to the number of learners and N to the number of exercises. The matrix elements, $r_{u,i}$, corresponds to the implicit feedback value of learner u for exercise i , calculated based on the time spent practicing and improvement in performance. The matrix R can be factorized using ALS method as follows:

$$\hat{R} = PQ^T \quad (5.3)$$

where $P \in R^{M \times K}$ and $Q \in R^{N \times K}$ denote the embedding matrices of learners and exercises respectively, where $K = 32$. The Collaborative Filtering score between learner u and exercise i can be represented as $S_{CF}(u, i) = p_u \cdot q_i^T$.

5.3 Hybrid Score Fusion

The calculation of the final recommendation score is based on the weighted sum of content-based and collaborative filtering recommendations:

$$S_{hybrid}(u, i) = \alpha \cdot S_{CB}(w_u, e_i) + (1 - \alpha) \cdot S_{CF}(u, i) \quad (5.4)$$

where the mixing coefficient $\alpha \in [0, 1]$ determines the weightage of each method. The best value for the mixing coefficient was obtained using cross-validation, and the results revealed $\alpha = 0.6$, implying that the role of content-based similarity in recommendations is higher than rating-based similarity in this case because of the extensive performance data available.

6. Experimental Evaluation

6.1 Experimental Setup

The recommendation system was evaluated based on interaction data obtained from 847 learner sessions, which were created via replaying the 4,200 performance records from the MusicEval dataset evaluation set through the entire pipeline process. The weakness profile vectors along with exercise interaction sequences obtained from the sessions allowed the calculation of the common recommendation system performance metrics. The dataset was divided into 70% for training, 15% for validation, and 15% for testing. The splits were done at the learner level.

Three system architectures were considered for comparison, namely, the content-based filtering system alone (CB-only), the collaborative filtering system alone (CF-only), and the proposed hybrid system (Hybrid). The quality of recommendations made by the systems was quantified in terms of Precision@K, Recall@K, and NDCG@K, where $K = 5$ and $K = 10$. These measures are defined as follows. Precision@K evaluates the ratio of the number of relevant recommended items from the top-K list to K:

$$\text{Precision@K} = \frac{|\{\text{relevant}\} \cap \{\text{recommended@K}\}|}{K} \quad (6.1)$$

NDCG@K accounts for the ranking position of relevant items within the recommendation list:

$$\text{NDCG@K} = \frac{\text{DCG@K}}{\text{IDCG@K}}, \quad \text{DCG@K} = \sum_{i=1}^K \frac{\text{rel}_i}{\log_2(i+1)} \quad (6.2)$$

where rel_i denotes the graded relevance of the item at position i and IDCG@K is the ideal discounted cumulative gain achieved by a perfect ranking.

6.2 Results

Experimental results are given in Table 2. The proposed hybrid system has performed better than both individual baselines in all evaluation criteria.

Table 2.

Recommendation performance comparison across system configurations

System	Precision@5	Recall@5	NDCG@5	Precision@10	Recall@10	NDCG@10
CB-only	0.791	0.683	0.812	0.754	0.741	0.798
CF-only	0.763	0.651	0.779	0.728	0.712	0.764
Hybrid	0.847	0.739	0.863	0.821	0.806	0.881

A precision score of 0.847 is attained by the hybrid system at a threshold of five, which is an improvement of 5.6 percent compared to the content-based system and 8.4 percent compared to the collaborative filtering system. An NDCG@10 value of 0.881 shows that the hybrid system ranks the relevant exercises better than both the content-based and collaborative filtering systems.

The NDCG@K values for the three configurations of the system at different cut-off values (from $K=1$ to $K=10$) presented in Figure 2. As can be seen from Figure 2, the hybrid model performs well irrespective of cut-off values.

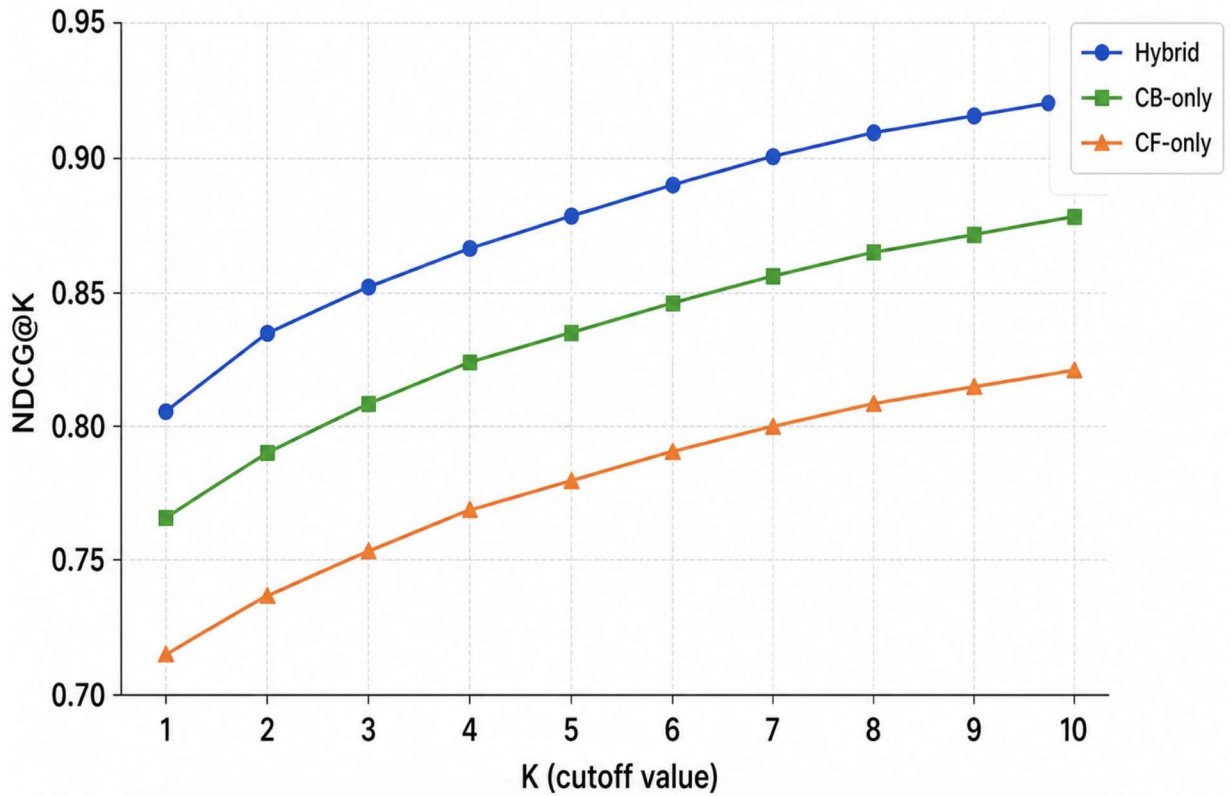


Figure 2. *NDCG@K comparison across recommendation system configurations for $K = 1$ to $K = 10$.*

This advantage of the hybrid method is especially noticeable when low cutoff values ($K = 1$ through $K = 3$) are used because the role of the content-based part in identifying the exact weakness is critical. When high cutoff values are used, the advantage of the collaborative filtering component in covering a larger number of cases starts to play an important role, which explains why the convergence of the three lines is slower when K increases. Figure 3 shows the recommended exercise distribution in skill dimensions for selected learner profiles.

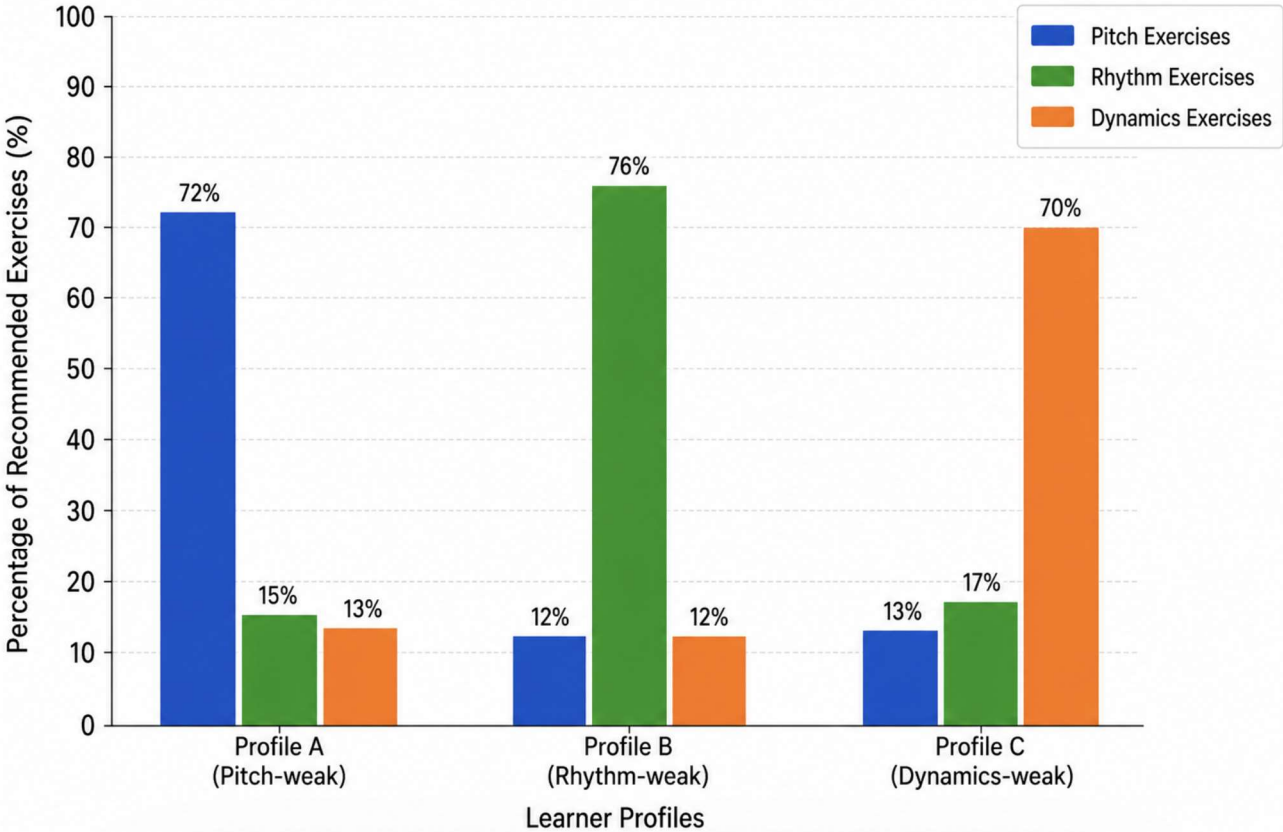


Figure 3. *Distribution of recommended exercises by skill dimension for three representative learner weakness profiles.*

7. Discussion

The outcomes obtained from our experiments show that the designed hybrid recommendation system is capable of delivering outstanding performance in the exercise recommendation task, considerably exceeding the performance of any standalone system used in comparison. This can be explained by the rather high value of the weight assigned to the content-based part ($\alpha = 0.6$), which is due to special features of the music training domain, where clear performance assessment data allows for efficient exercise selection without excessive emphasis on collaboration.

A number of limitations of the current study need to be mentioned. First, the system was evaluated using artificially created interaction data based on the performance data instead of real user behavioral data, which would include such human factors as motivation, fatigue, and practice techniques. Second, the set of exercises currently available in the database consists of 320 problems, which is enough for evaluation purposes but might be too small to accommodate all types of learners in the real-world scenario. In the future, this limitation will be addressed by performing longitudinal studies with real users, expanding the exercise database, and studying sequential recommendation techniques.

8. Conclusion

In this paper, we have developed an adaptive exercise recommendation module for the MusicEval intelligent music tutoring system. The hybrid recommender that has been designed incorporates a combination of both content-based filtering, which relates automatic detection of performance issues to appropriate exercises, and collaborative filtering, which employs information from learners with similar profiles, through a weighted score fusion technique, employing an optimal weight value of $\alpha = 0.6$. An evaluation of the hybrid recommender using interaction data for 847 sessions revealed a Precision@5 of 0.847 and an NDCG@10 of 0.881.

Compared to content-based filtering and collaborative filtering, the hybrid approach outperformed the two by 5.6% and 8.4% respectively for Precision@5.

References:

1. *Nabizadeh A.H., Leal J.P., Rafsanjani H.N., Shah R.R.* Learning path personalization and recommendation methods: A survey of the state-of-the-art // *Expert Systems with Applications*. - 2020. - Vol. 159. - P. 113596.
2. *Bhaskaran S., Marappan R.* Design and analysis of an efficient machine learning based hybrid recommendation system with enhanced density-based spatial clustering for digital e-learning applications // *Complex and Intelligent Systems*. - 2023. - Vol. 9. - No. 4. - P. 3517–3533.
3. *Schedl M., Knees P., McFee B., Bogdanov D.* Music recommendation systems: Techniques, use cases, and challenges // *Recommender Systems Handbook*. - Springer, New York. - 2022. - P. 927–971.
4. *Ferraro A., Jannach D., Serra X.* Exploring longitudinal effects of session-based recommendations // *Proceedings of the 14th ACM Conference on Recommender Systems (RecSys)*. - 2020. - P. 474–479.
5. *Lerch A., Arthur C., Pati A., Gururani S.* An interdisciplinary review of music performance analysis // *Transactions of the International Society for Music Information Retrieval*. - 2020. - Vol. 3. - No. 1. - P. 221–245.
6. *Seshadri P., Lerch A.* Improving music performance assessment with contrastive learning // *Proceedings of the 22nd International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR)*. - 2021. - P. 634–641.
7. *Huang J., Hung Y., Pati A., Gururani S., Lerch A.* Score-informed networks for music performance assessment // *Proceedings of the 21st International Society for Music Information Retrieval Conference (ISMIR)*. - 2020. - P. 908–915.
8. *Wu C.W., Gururani S., Laguna C., Pati A., Vidwans A., Lerch A.* Towards the objective assessment of music performances // *Proceedings of the International Conference on Music Perception and Cognition (ICMPC)*. - 2016. - P. 1–7.
9. *Bhaskaran S., Marappan R., Santhi B.* Design and analysis of a cluster-based intelligent hybrid recommendation system for e-learning applications // *Mathematics*. - 2021. - Vol. 9. - No. 2. - P. 197.
10. *Pati A., Gururani S., Lerch A.* Assessment of student music performances using deep neural networks // *Applied Sciences*. - 2018. - Vol. 8. - No. 4. - P. 507.
11. *Giraldo S., Waddell G., Nou I., et al.* Automatic assessment of tone quality in violin music performance // *Frontiers in Psychology*. - 2019. - Vol. 10. - P. 334.
12. *Cancino-Chacón C., Grachten M., Goebel W., Widmer G.* Computational models of expressive music performance: A comprehensive and critical review // *Frontiers in Digital Humanities*. - 2018. - Vol. 5. - P. 25.

ВЛИЯНИЕ ИИ НА СОВРЕМЕННУЮ КИНОИНДУСТРИЮ КАЗАХСТАНА

Арапбаев Нурсултан Лесбекұлы

магистрант, ОП «Медиа Технологии», Astana IT University (г. Астана, Казахстан)

Научный руководитель:

Ахитова Риза Суиндиқовна

Школа Креативных Индустрии, PhD, Astana IT University (г. Астана, Казахстан)

Аннотация. В статье рассматривается влияние искусственного интеллекта на современную киноиндустрию Казахстана в контексте глобальных изменений в производстве фильмов и сериалов. Особое внимание уделяется тому, как ИИ меняет этапы создания аудиовизуального продукта: разработку идеи, сценарное планирование, раскадровку, визуальные эффекты, монтаж, звук, продвижение и анализ аудитории. На основе международных исследований, отраслевых публикаций и авторских локальных кейсов показано, что ИИ может стать для Казахстана не только технологическим инструментом, но и способом снижения производственных барьеров. В статье рассматриваются казахстанские кейсы Uljan, Offside и музыкальный проект ZAQ - BETTER LP, где ИИ применяется для генерации саундтрека, видеоряда, промоматериалов и lyric videos. Сделан вывод о том, что Казахстан находится на раннем, но важном этапе внедрения ИИ в кино- и медиапроизводство. Главными преимуществами являются сокращение затрат, ускорение постпродакшна и расширение визуальных возможностей, а главными рисками - правовая неопределенность, зависимость от зарубежных инструментов, угроза профессиональному росту молодых специалистов и необходимость этических стандартов.

Ключевые слова: искусственный интеллект; киноиндустрия Казахстана; генеративный ИИ; виртуальное производство; VFX; постпродакшн; веб-сериалы; цифровое кино; авторское право; медиапроизводство.

Введение. Киноиндустрия всегда развивалась вместе с технологиями. Появление звука, цвета, компьютерной графики, цифровой камеры и стриминговых платформ каждый раз меняло не только способы производства фильмов, но и ожидания зрителей. Сегодня похожий перелом связан с искусственным интеллектом. Его уже используют для разработки сценариев, раскадровки, генерации изображений, автоматического монтажа, цветокоррекции, создания музыки, анализа аудитории и продвижения контента. Для Казахстана эта тема особенно актуальна. Местная киноиндустрия работает в условиях ограниченных бюджетов, сравнительно небольшого рынка, нехватки технической инфраструктуры и зависимости от отдельных профессиональных команд. Поэтому ИИ может стать не просто модным инструментом, а способом расширить производственные возможности. Он позволяет небольшим студиям и независимым авторам делать то, что раньше требовало большой команды, дорогостоящего оборудования или внешнего VFX-подряда.

В глобальном контексте McKinsey отмечает, что ИИ может повлиять не только на то, как создается контент, но и на то, кто получает возможность его создавать. В их анализе подчеркивается потенциал демократизации производства: если инструменты станут качественными и ответственными, больше авторов смогут реализовывать истории без традиционных индустриальных барьеров [1]. Это особенно важно для развивающихся медиарынков, включая Казахстан. Однако влияние ИИ нельзя рассматривать только как

положительное. Наряду с ускорением производства появляются вопросы авторства, защиты прав, качества изображения, доверия аудитории, замещения рабочих мест и сохранения человеческой творческой роли. Поэтому в данной статье ИИ рассматривается не как замена режиссера, сценариста, композитора или монтажера, а как технологический инструмент, который меняет распределение труда в киноиндустрии.

ИИ в глобальной киноиндустрии: от инструмента к производственной системе

В международной практике искусственный интеллект уже используется на разных этапах производства. В исследовании V. Tsiavos и F. Kitsios подчеркивается, что ИИ влияет на всю цепочку киноиндустрии: создание, производство, распространение и показ контента [9]. Это означает, что речь идет не об одном инструменте, а о комплексной перестройке производственной логики. На этапе разработки ИИ может помочь в анализе сценария, создании идей, прогнозировании реакции аудитории и построении персонажей. На этапе подготовки он используется для раскадровки, визуализации сцен, планирования съемок и подбора актеров. В производстве ИИ связан с виртуальными площадками, синтетическими персонажами, компьютерным зрением и автоматизированным управлением съемочными процессами. В постпродакшне он применяется для монтажа, цветокоррекции, дубляжа, шумоподавления, VFX и генерации музыки.

Kang Li рассматривает ИИ именно через две ключевые зоны - генерацию идеи и постпродакшн. Автор отмечает, что ИИ уже влияет на предварительное планирование, сценарную работу, монтаж, визуальные эффекты и создание аудиовизуальных решений [12]. Для Казахстана это важно потому, что именно эти этапы часто становятся затратными и трудоемкими при производстве сериалов, рекламы и веб-контента. В исследовании Uddin et al. ИИ описывается как система, которая способна участвовать почти во всем производственном цикле: от сценария и финансового планирования до кастинга, съемки, постпродакшна, маркетинга и дистрибуции [13]. Авторы также показывают, что ИИ связан не только с генерацией изображения, но и с большими данными, облачными технологиями, блокчейном, XR и персонализированными рекомендациями.

ИИ как инструмент, а не замена автора

Один из центральных вопросов - должен ли ИИ восприниматься как самостоятельный творческий субъект или как инструмент человека. В материале Georgia State University режиссер и исследователь Elizabeth Strickler подчеркивает, что ИИ может усиливать сторителлинг, помогать достигать более широкой аудитории и создавать новые формы искусства, но его использование требует осознанности, аутентичности и соответствия замыслу работы [2]. Такой подход важен для казахстанской киноиндустрии: технология сама по себе не гарантирует художественной ценности. Похожую позицию занимает Xu Yiren, который предлагает рассматривать ИИ как «инструмент воплощения», а не как независимого автора. В этом подходе человеческий замысел остается главным, а ИИ помогает ускорить или расширить отдельные производственные задачи [11]. Такая логика позволяет избежать крайностей: с одной стороны, не отрицать пользу ИИ, а с другой - не передавать ему творческую ответственность.

В профессиональной среде также сохраняется тревога. Автор Medium в своей статье о будущем ИИ в кино и телевидении пишет с позиции монтажера и задает практический вопрос: исчезнет ли профессия редактора, если ИИ научится выполнять часть монтажной работы [3]. Для Казахстана этот вопрос тоже важен, потому что локальная индустрия только формирует устойчивые профессиональные школы в области сценарного анализа, продюсирования, VFX, монтажа и постпродакшна. Если начальные позиции будут автоматизированы слишком быстро, у молодых специалистов может стать меньше возможностей для практического роста.

Практические зоны применения ИИ в кино

Наиболее заметное применение ИИ сегодня связано с генеративным изображением, визуальными эффектами, раскадровкой и предварительной визуализацией. Юридический обзор OAL Law подчеркивает, что генеративный ИИ дает авторам возможность создавать миры, которые раньше были слишком дорогими или технически сложными: футуристические города, сложные локации, цифровых персонажей, варианты освещения и дезэджинг [5]. Это особенно перспективно для Казахстана, где многие проекты ограничены бюджетом, локациями и доступом к дорогому VFX. В статье Aslanyürek и Аусан говорится, что ИИ может ускорять работу на этапах сценария, визуального дизайна, монтажа, музыкального оформления, озвучивания и визуальных эффектов [15]. Авторы также подчеркивают, что ИИ может помогать оператору с композицией, освещением, цветокоррекцией и поиском визуального решения. Это напрямую связано с современным производством сериалов, клипов, рекламных роликов и веб-контента.

Важной зоной остается маркетинг. ИИ позволяет анализировать аудиторию, прогнозировать интерес к проекту, адаптировать трейлеры и промоматериалы под разные сегменты зрителей. McKinsey указывает, что ИИ может влиять не только на производственную цепочку, но и на структуру всей видеоиндустрии, включая распределение внимания между традиционным телевидением, стримингом и пользовательским видео [1]. Для Казахстана это означает, что ИИ может помочь локальным проектам лучше понимать свою аудиторию и точнее продвигаться на цифровых платформах.

Таблица 1. Основные направления применения ИИ в киноиндустрии

Этап производства	Возможности ИИ	Потенциальная польза для Казахстана	Основные риски
Разработка идеи	Генерация концепций, анализ жанра, сценарные подсказки	Ускорение начальной разработки проекта	Шаблонность идей, потеря авторского голоса
Сценарий	Анализ структуры, диалогов, персонажей	Помощь молодым авторам и продюсерам	Неясность авторства
Препродакшн	Раскадровка, превизуализация, планирование	Снижение затрат на подготовку	Зависимость от зарубежных сервисов
Производство	Виртуальные площадки, AI camera planning, синтетические массовки	Возможность создавать масштабные сцены при малом бюджете	Техническая нестабильность
Постпродакшн	Монтаж, VFX, цветокоррекция, звук	Ускорение финальной сборки	Снижение спроса на начальные позиции
Музыка	Генерация мелодий, гармонии, эмоционального тона	Дешевле и быстрее для веб-сериалов и клипов	Авторское право и качество
Продвижение	Анализ аудитории, генерация постеров и трейлеров	Более точная работа с нишевой аудиторией	Манипуляция данными и этические вопросы

Локальные кейсы

Авторское исследование показывает, что в Казахстане уже появляются первые практические примеры использования ИИ в кино- и медиапроизводстве. Они пока не образуют полноценную индустриальную систему, но показывают направление развития.

Первый кейс - веб-сериал *Uljan* 2025 года. В исследовании он рассматривается как один из первых казахстанских веб-сериалов, где ИИ использовался для создания саундтрека. В частности, применялась генерация мелодии, гармонической структуры и эмоционального тона. Это позволило ускорить производство, снизить расходы на музыкальную часть и открыть пространство для эксперимента. Для локального рынка это важно: музыкальное оформление часто требует отдельного бюджета, студии, композитора и времени, а ИИ может дать черновую или вспомогательную основу для дальнейшей доработки человеком.

Второй кейс - спортивная драма *Offside* 2025 года. В этом проекте ИИ применялся для генерации видеоряда, промо-постера, вступительной заставки, движения камеры, интерполяции движения и диффузионного синтеза. Особенно важна возможность создавать масштабные сцены, которые имеют значение для сюжета, но могут быть дорогими при традиционном производстве. В казахстанском контексте это может быть полезно для спортивных, исторических, фантастических и городских проектов, где нужны толпы, стадионы, сложные пространства или динамичные сцены.

Третий кейс - альбом *ZAQ BETTER LP*. Хотя проект относится в первую очередь к музыкальной индустрии, его lyric videos являются частью аудиовизуального производства и пересекаются с киноиндустрией через монтаж, визуальный стиль, генерацию изображения, работу с кадром и создание экранного образа артиста. В данном случае ИИ используется не только в песнях, но и для генерации lyric videos к каждому треку. Это показывает, что границы между кино, клипом, музыкальным видео и цифровым медиаконтентом становятся более гибкими.

Эти локальные кейсы показывают, что в Казахстане ИИ пока чаще применяется точно: для музыки, промо, коротких видеовставок, визуализации и постпродакшна. Но именно с таких экспериментов может начаться более системное внедрение технологии.

Экономический эффект для казахстанской индустрии

Для Казахстана экономическая сторона особенно важна. Производство фильмов и сериалов часто ограничено бюджетом, инфраструктурой и доступом к техническим специалистам. ИИ может снизить часть затрат: на студийную запись, внешние VFX-команды, массовку, часть постпродакшна и раннюю визуализацию проекта. McKinsey указывает, что ИИ уже демонстрирует потенциал повышения производительности в отдельных сценариях, хотя масштаб долгосрочного влияния пока остается неопределенным [1]. Для крупных студий это вопрос эффективности, а для небольших рынков - вопрос доступа. Если раньше отдельные визуальные решения были доступны только большим продакшенам, то теперь независимые команды могут создавать черновые концепты, раскадровки, заставки, визуальные эксперименты и промоматериалы своими силами.

В то же время нельзя воспринимать ИИ как бесплатную замену производству. Качественный результат требует специалиста, который понимает драматургию, визуальный стиль, монтаж, звук и технические ограничения инструментов. Поэтому экономический эффект возникает не тогда, когда ИИ полностью заменяет команду, а когда он помогает команде быстрее проходить рутинные этапы и тестировать творческие решения.

Международные кейсы и уроки для Казахстана

Глобальная индустрия уже активно тестирует ИИ на реальных проектах. Variety писал о применении ИИ в сериале House of David для создания мифологической сцены происхождения Голиафа [6]. WIRED, в свою очередь, сообщил, что во втором сезоне House of David использовалось более 350 AI-generated shots; создатель проекта объяснял это снижением стоимости и возможностью делать масштабные сцены быстрее [7]. Эти кейсы важны для Казахстана не потому, что локальная индустрия должна копировать Голливуд, а потому что они показывают направление: ИИ уже входит в production pipeline не как игрушка, а как рабочий инструмент.

BBC также указывает на изменение отношения к ИИ в кино: во время голливудских забастовок он воспринимался как угроза, но затем стал появляться даже в фильмах, получающих индустриальное признание [4]. Это показывает двойственность ситуации. С одной стороны, ИИ вызывает страх у актеров, сценаристов и монтажеров. С другой стороны, индустрия постепенно принимает его в тех зонах, где он ускоряет процесс или решает техническую задачу. Для Казахстана полезен осторожный подход: применять ИИ в тех местах, где он действительно помогает производству, но не скрывать его использование, не подменять им авторское решение и не нарушать права актеров, музыкантов, художников и сценаристов.

Риски: авторство, труд и этика

Главная проблема ИИ в кино - не только качество изображения, но и правовая неопределенность. Кто является автором сцены, если идея принадлежит режиссеру, изображение сгенерировано моделью, а финальную доработку сделал дизайнер? Кто владеет музыкальным фрагментом, если он создан при помощи ИИ? Можно ли использовать голос или внешность актера без его согласия? Эти вопросы пока не имеют устойчивой практики в Казахстане. OAL Law подчеркивает, что генеративный ИИ ставит перед киноиндустрией вопросы аутентичности, интеллектуальной собственности и будущего человеческого таланта [5]. В академических исследованиях также выделяются риски авторства, художественной целостности и вытеснения труда [9], [13]. Для Казахстана это особенно актуально, потому что законодательная и индустриальная база в этой сфере пока только формируется.

Отдельный риск связан с профессиональной траекторией молодых специалистов. TheWrap обращает внимание на то, что ИИ может автоматизировать начальные позиции, например чтение и первичный анализ сценариев, а именно такие позиции часто становятся входом в индустрию для будущих продюсеров и руководителей [8]. Если похожая логика будет перенесена в Казахстан без подготовки, молодым специалистам будет сложнее получать опыт. Поэтому внедрение ИИ должно сопровождаться обучением, нормами прозрачности и профессиональной переподготовкой. Необходимо не просто использовать инструменты, а понимать, где проходит граница между помощью и заменой человеческого труда.

Перспективы для Казахстана

Казахстанская киноиндустрия находится на раннем этапе интеграции ИИ. Пока нет устойчивой методологии, единых профессиональных стандартов, понятной правовой базы и развитой инфраструктуры. Но именно поэтому сейчас важно выработать подход, который не будет слепо повторять зарубежные практики. ИИ может помочь Казахстану в нескольких направлениях. Во-первых, он снижает входной барьер для независимых авторов. Во-вторых, позволяет быстрее создавать визуальные концепты и промоматериалы. В-третьих, помогает веб-сериалам, клипам и малобюджетным проектам выглядеть более масштабно. В-

четвертых, открывает новые формы гибридного контента между кино, музыкой, рекламой и цифровым искусством.

При этом развитие должно идти через образование. Будущим режиссерам, продюсерам, операторам, монтажерам, композиторам и SMM-специалистам нужно понимать не только возможности ИИ, но и его ограничения. Технология может предложить изображение, мелодию или монтажный вариант, но финальная художественная логика должна оставаться за человеком.

Заключение

Искусственный интеллект уже влияет на современную киноиндустрию и постепенно становится частью казахстанского медиапроизводства. Глобальные исследования и отраслевые публикации показывают, что ИИ используется на всех этапах: от идеи и сценария до монтажа, VFX, музыки, продвижения и анализа аудитории. Для Казахстана это открывает практические возможности: сокращение затрат, ускорение постпродакшна, создание масштабных сцен, генерация промоматериалов и поддержка независимых авторов. Локальные кейсы Uljan, Offside и ZAQ - BETTER LP показывают, что технология уже применяется в казахстанской аудиовизуальной среде. Uljan демонстрирует потенциал AI-generated soundtrack, Offside - возможности AI video generation для драматургически важных сцен и промо, а ZAQ расширяет границы между музыкой, клипом и киноязыком через ИИ видео для своих песен.

Однако ИИ не должен восприниматься как универсальная замена творческой команде. Его ценность заключается в поддержке человека, ускорении процессов и расширении визуальных возможностей. Главные вызовы для Казахстана - правовая неопределенность, зависимость от зарубежных сервисов, риск вытеснения начальных профессий и необходимость этических правил. Поэтому будущее ИИ в казахстанском кино должно строиться на балансе: технологическая открытость, но с сохранением авторства, прозрачности и человеческого творческого контроля.

Список литературы

- [1] Vickers J., Brodherson M., Wrubel A., Bernard C. What AI could mean for film and TV production and the industry's future. McKinsey & Company, 2026.
- [2] Walker A. How Artificial Intelligence Can Be a Tool in Filmmaking. Georgia State University News, 2025.
- [3] Radnor S. AI in Film and TV: Navigating the Future of Creativity. Medium, 2024.
- [4] BBC News. AI was enemy No. 1 during Hollywood strikes. Now it's in Oscar-winning films. BBC News, 2025.
- [5] OAL Law. AI in Filmmaking: The Impact of Generative Content in Filmmaking. OAL Law, 2025.
- [6] Tangcay J. House of David Creator Explains Using AI to Create Goliath Origin Sequence. Variety, 2025.
- [7] WIRED. Amazon's House of David Used Over 350 AI Shots in Season 2. Its Creator Isn't Sorry. WIRED, 2025.
- [8] Cheng R. Could AI Kill Off Hollywood's Talent Pipeline? TheWrap, 2025.
- [9] Tsiavos V., Kitsios F. The digital transformation of the film industry: How Artificial Intelligence is changing the seventh art. Telecommunications Policy, 2025.
- [10] Serena A. The Impact of Generative AI on the Film Industry. Master Degree Thesis, Politecnico di Torino, 2025.
- [11] Xu Y. Balancing Creativity and Automation: The Influence of AI on Modern Film Production. 2025.
- [12] Li K. Artificial Intelligence in Film and Television Production: Idea Generation and Post-Production. International Journal of Engineering, Science and Information Technology, 2025.
- [13] Uddin S. M. I., Sumon R. I., Mozumder M. A. I., Chowdhury M. K. H., Armand T. P. T., Kim H. C. Innovations and Challenges of AI in Film: A Methodological Framework for Future Exploration. ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications, 2025.
- [14] Ngugi J. The Interconnection Between Artificial Intelligence (AI) and the Film Industry. Journal of Information and Technology, 2025.
- [15] Aslanyürek Y., Aycan E. Cinematic Futures: The Impact of AI on the Cinematography. İNİF E-Dergi, 2024.

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ КОВКИ НА ОСНОВЕ РАЗВИТИЯ СДВИГОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Алшынова Айман Медеубековна

PhD, ассоциированный профессор

Насруллин Галымжан Шинбулатович

ассистент профессора

Мухамадиева Калима Курманхановна

Сениор-лектор, АО «Алматинский технологический университет»

Аннотация

В статье представлен обзор современных направлений совершенствования процессов пластической деформации металлов при ковке. Рассматриваются особенности формирования макроструктуры литых заготовок, влияние различных схем деформирования на качество металла, а также перспективные методы интенсификации обработки за счёт развития макросдвиговых деформаций. Показано, что применение специальных форм инструмента и несимметричных схем нагружения позволяет существенно повысить однородность структуры, снизить анизотропию свойств и уменьшить энергозатраты.

Современное машиностроительное производство предъявляет высокие требования к качеству металлоизделий, их эксплуатационной надёжности и экономичности изготовления. В этих условиях особую актуальность приобретает внедрение технологий, обеспечивающих повышение производительности, снижение материало- и энергоёмкости, а также получение изделий с заданными физико-механическими характеристиками.

Одной из ключевых проблем является наличие дефектов в литых заготовках. Даже при использовании современных методов выплавки и разлива полностью устранить макродефекты не удаётся. В связи с этим процессыковки рассматриваются не только как способ формообразования, но и как важнейший этап улучшения структуры металла.

Особенности макроструктуры литого металла. Литой металл содержит внутренние дефекты, преимущественно локализованные в осевых зонах. В связи с этим одной из ключевых задачковки является преобразование литой структуры в деформированную с одновременным завариванием дефектов. Эффективность решения данной задачи в значительной степени определяется величиной сдвиговых деформаций

Металлургические заготовки, полученные методами литья, характеризуются сложным макростроением. В их объёме выделяются три основных структурных элемента:

- несплошности усадочного происхождения (поры, раковины, трещины);
- ликвационные зоны с повышенной концентрацией неметаллических включений;
- крупнокристаллическая дендритная структура.

Особенно выражены данные дефекты в осевой зоне слитков. Это приводит к снижению прочности, пластичности и надёжности изделий.

Основной задачейковки является преобразование литой структуры в деформированную с устранением или значительным уменьшением указанных дефектов.

Роль деформаций в формировании структуры. Основное воздействие на макроструктуру связано со сдвиговыми деформациями. Однако при традиционных методах обработки (прокатка, прессование, ковка и др.) в заготовке преимущественно формируются нормальные деформации, тогда как сдвиговые возникают вторично.

Взаимное расположение контактных поверхностей инструмента и направление фронта подачи (перпендикулярно или под углом к ним) позволяют управлять макропотоками пластического течения металла, а также величиной и направлением нормальных и сдвиговых деформаций.

Характерным примером является способ деформирования со сложным движением инструмента, при котором устраняется зона затруднённой деформации. В этом случае одному из бойков сообщают дополнительное перемещение относительно оси приложения нагрузки, одновременно перемещая заготовку по поверхности бойка.

Интересным эффектом является возможность формирования осевой полости при деформировании с макросдвигами в условиях растягивающего напряжённого состояния. Это позволяет:

- снизить массу изделия;
- повысить рабочее давление;
- сократить расход металла (до 60%);
- увеличить производительность (в 2–5 раз).

При пластической обработке металла реализуются два основных типа деформаций:

- нормальные (сжатие, растяжение);
- сдвиговые.

Традиционные методы обработки в основном ориентированы на создание нормальных деформаций, тогда как сдвиговые возникают как сопутствующий эффект. Однако именно сдвиговые деформации играют решающую роль в разрушении литой структуры и формировании однородной мелкозернистой структуры.

Исследования показывают, что эффективность сдвиговых деформаций значительно превышает эффективность нормальных. Это обусловлено тем, что они способствуют:

- интенсивному перемешиванию металла;
- разрушению дендритов;
- закрытию пор и трещин;
- выравниванию химической неоднородности.

Таблица 1 – Влияние различных схем деформации на структуру металла

Тип деформации	Основное воздействие	Эффективность устранения дефектов	Особенности
Нормальная (сжатие)	Уменьшение размеров	Средняя	Неравномерность по сечению
Нормальная (растяжение)	Удлинение структуры	Низкая	Возможность образования трещин
Сдвиговая	Перемешивание металла	Высокая	Разрушение дендритов
Макросдвиг	Интенсивная проработка объёма	Очень высокая	Снижение усилия деформации

Ограничения традиционных схем ковки. Традиционные схемы ковки с использованием плоских и вырезных бойков обладают рядом недостатков:

- ограниченные возможности управления течением металла;
- наличие зон затруднённой деформации;

- неравномерное распределение деформаций по сечению;
- высокая анизотропия свойств.

В таких условиях деформация в центральной зоне заготовки часто оказывается недостаточной, что приводит к сохранению дефектов.

Таблица 2 – Сравнение традиционной и усовершенствованнойковки

Параметр	Традиционная ковка	Ковка с макросдвигами
Неравномерность деформации	Высокая	Низкая
Анизотропия свойств	Значительная	Минимальная
Усилие деформации	Высокое	Снижено до 1,5 раз
Производительность	Базовая	Выше в 2–5 раз
Качество структуры	Ограниченное	Высокое

Влияние формы инструмента на процесс деформации. Существенное влияние на характер течения металла оказывает геометрия инструмента. Изменение формы контактной поверхности бойков позволяет управлять:

- направлением потоков металла;
- величиной деформаций;
- соотношением нормальных и сдвиговых компонентов.

Использование комбинированных поверхностей (плоских, вогнутых, выпуклых) расширяет технологические возможности и способствует более равномерной проработке структуры.

Таблица 3 – Классификация кузнечного инструмента по форме рабочих поверхностей

Фронт подачи	Плоское зеркало	Вогнутое зеркало	Выпуклое зеркало	Комбинированное
Плоский	Традиционные плоские бойки	Ограниченное применение	Локальное воздействие	Расширенные возможности управления
Выпуклый	Усиление сжатия	Интенсификация течения	Повышенные сдвиги	Управление макропотоками
Вогнутый	Захват заготовки	Концентрация деформации	Перераспределение напряжений	Сложные схемы деформирования
Комбинированный	Универсальные схемы	Локальные зоны сдвига	Регулируемые потоки	Максимальная управляемость

Традиционные схемы ковки (с использованием плоских и вырезных бойков, а также их комбинаций) ограничивают возможности управления макропотоками металла в очаге деформации и, соответственно, развитие сдвиговых деформаций. Расширение технологических возможностей достигается за счёт изменения граничных условий деформирования, в частности — формы инструмента, включающей различные типы контактных поверхностей: плоские, вогнутые, выпуклые и комбинированные

Развитие сдвиговых деформаций. Одним из наиболее эффективных способов повышения качества металла является создание условий для развития макросдвигов. Это достигается за счёт:

- сложного движения инструмента;
- асимметричного нагружения;

- изменения направления подачи;
- применения рельефных рабочих поверхностей.

При таких условиях устраняются зоны затруднённой деформации, а интенсивность пластического течения возрастает.

Специальные конструкции кузнечного инструмента. Разработано множество конструкций инструмента, направленных на интенсификацию деформирования:

Волнистые и рельефные бойки. Такие бойки обеспечивают:

- увеличение сдвиговых деформаций;
- расширение заготовки;
- улучшение проработки внутренних слоёв.
- **Трапецевидные и комбинированные бойки.** Позволяют повысить деформацию в осевой зоне и снизить жёсткость напряжённого состояния.
- **Поворотные и подпружиненные вставки.** Создают дополнительные перемещения и обеспечивают закручивание структуры.

Таблица 4 – Эффект применения специальных бойков

Тип бойка	Основной эффект	Область воздействия
Плоский	Сжатие	Поверхностные слои
Волнистый	Сдвиг + расширение	Поверхность и центр
Трапецевидный	Усиление осевой деформации	Центральная зона
Комбинированный	Комплексное воздействие	Весь объём

Скручивание металла как метод интенсификации. Скручивание заготовки является эффективным способом повышения однородности структуры. Оно достигается:

- перекрёстным расположением рабочих поверхностей;
- смещением элементов инструмента;
- использованием наклонных участков.

В результате:

- уменьшается анизотропия;
- улучшаются свойства в поперечном направлении;
- выравниваются характеристики по длине изделия.

Несимметричные схемы деформирования. Применение несимметричных нагрузок приводит к возникновению дополнительных касательных напряжений. Это способствует:

- развитию сдвигов;
- более глубокой проработке структуры;
- снижению дефектности.

Однако такие схемы требуют учёта нагрузок на оборудование.

Изменение геометрии очага деформации. Перспективным направлением является управление геометрией очага деформации в процессековки. Это включает:

- изменение направления усилий;
- чередование операций;
- применение многопереходных схем.

Такие подходы позволяют равномерно распределять деформацию по всему объёму заготовки.

Макросдвиговые деформации. Особое значение имеют макросдвиги — локализованные сдвиговые деформации, распространяющиеся по объёму металла. Их применение обеспечивает:

- резкое улучшение структуры;

- снижение усилия деформирования;
- уменьшение необходимой степени обжатия.

Кроме того, наблюдается эффект снижения сопротивления деформации при наличии сдвиговых перемещений.

Энергетическая эффективность процессов

Использование макросдвигов позволяет:

- снизить усилие деформации до 1,5 раз;
- уменьшить энергозатраты;
- сократить количество нагревов;
- повысить производительность в 2–5 раз.

Это делает такие технологии особенно перспективными для промышленного применения.

Формирование микроструктуры. На микроуровне макросдвиги сопровождаются:

- трансзеренным скольжением;
- активацией пластических механизмов;
- равномерным деформированием зёрен.

Это приводит к формированию мелкозернистой и однородной структуры.

Применение в непрерывно-литых заготовках. Особую эффективность макросдвиги показывают при обработке непрерывно-литых заготовок. Даже при малых степенях обжатия достигается:

- устранение усадочных дефектов;
- улучшение макроструктуры;
- повышение качества металла.
- **Получение полых изделий.** Интересным направлением является формирование полых заготовок из сплошных. Это позволяет:
- снизить расход металла до 60%;
- исключить операции сверления;
- повысить производительность.
- **Перспективы развития.** Современные исследования направлены на:
- интеграцию процессов литья и деформации;
- создание адаптивного инструмента;
- автоматизацию управления процессами;
- разработку новых схем нагружения.

Заключение

Анализ современных подходов показывает, что повышение эффективности процессов ковки связано прежде всего с развитием сдвиговых деформаций. Применение специальных инструментов, асимметричных схем нагружения и макросдвиговых воздействий позволяет:

- значительно улучшить качество металла;
- снизить энергозатраты;
- повысить производительность;
- обеспечить однородность структуры и свойств.

Итак, процессы пластического деформирования металла можно интенсифицировать за счет дополнительных макросдвигов и при этом производительность работ можно повысить в 2 – 5 раз, усилие деформирования снизить в 1,5 раза, коэффициент минимального укова (степень редукации) снизить до 1,9 раза.

Таким образом, дальнейшее развитие технологийковки должно быть направлено на широкое внедрение методов, обеспечивающих управление сдвиговыми деформациями в объёме заготовки.

РЕАЛИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ «SHIFT LEFT SECURITY» КАК ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ЗАЩИТЕ ЦИФРОВЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПЛАТФОРМ

Велиев Юнис Фирузович

Академия государственного управления при Президенте Азербайджанской Республики, Магистрант, Специальность: Информационная безопасность, Баку, Азербайджан

SUMMARY

The transformation of traditional software development into a security-first process is essential for the resilience of modern digital state services. This article provides a comprehensive analysis of the "Shift Left Security" strategy, focusing on the proactive integration of security measures at the earliest stages of the software development lifecycle (SDLC). By examining the shift from late-stage auditing to initial design-phase security, the study evaluates the economic and technical benefits of early vulnerability detection. The research explores key methodologies such as Threat Modeling, secure coding standards, and automated feedback loops for developers. Key questions include: How does the Shift Left paradigm fundamentally change the role of developers in the security chain? What are the quantitative impacts on the cost of remediation and project timelines? How can public administration institutions effectively transition from reactive security models to proactive ones while maintaining development speed?

Keywords: Shift Left, cybersecurity, proactive security, SDLC, DevSecOps, threat modeling, vulnerability cost, digital governance, risk management, software engineering.

XÜLASƏ

Ənənəvi proqram təminatının hazırlanması prosesinin "təhlükəsizlik-birinci" yanaşmasına çevrilməsi müasir rəqəmsal dövlət xidmətlərinin davamlılığı üçün zəruridir. Bu məqalədə "Shift Left Security" strategiyasının hərtərəfli təhlili təqdim olunur və təhlükəsizlik tədbirlərinin proqram təminatının hazırlanması dövrünün (SDLC) ən erkən mərhələlərinə proaktiv integrasiyasına diqqət yetirilir. Son mərhələ auditindən ilkin dizayn mərhələsi təhlükəsizliyinə keçidi araşdıraraq, tədqiqat zəifliklərin erkən aşkarlanmasının iqtisadi və texniki faydalarını qiymətləndirir. Tədqiqat Təhlükə Modelləşdirməsi, təhlükəsiz kodlaşdırma standartları və tərtibatçılar üçün avtomatlaşdırılmış əks-əlaqə dövrləri kimi əsas metodologiyaları araşdırır.

Açar sözlər: Shift Left, kiber təhlükəsizlik, proaktiv təhlükəsizlik, SDLC, DevSecOps, təhlükə modelləşdirilməsi.

АННОТАЦИЯ

Трансформация традиционной разработки программного обеспечения в процесс, ориентированный на безопасность, необходима для устойчивости современных цифровых государственных услуг. В данной статье представлен всесторонний анализ стратегии «Shift Left Security», ориентированной на проактивную интеграцию мер безопасности на самых ранних этапах жизненного цикла разработки ПО (SDLC). Изучая переход от аудита на поздних стадиях к безопасности на этапе проектирования, исследование оценивает экономические и технические преимущества раннего обнаружения уязвимостей. Исследование

рассматривает ключевые методологии, такие как моделирование угроз, стандарты безопасного кодирования и автоматизированные циклы обратной связи для разработчиков. **Ключевые слова:** Shift Left, кибербезопасность, проактивная безопасность, SDLC, DevSecOps, моделирование угроз, стоимость уязвимости.

1. Введение

В современном мире кибербезопасность перестала быть чисто технической дисциплиной и превратилась в вопрос национальной устойчивости. Для государственных организаций, внедряющих масштабные цифровые платформы, любая критическая ошибка в коде может привести к параличу важных сервисов. Исторически сложилось так, что проверка безопасности была финальным аккордом перед запуском системы, что часто приводило к обнаружению «неисправимых» архитектурных изъянов. Стратегия «Shift Left Security» предлагает революционный сдвиг: переместить вектор усилий по безопасности «влево» по временной шкале проекта. Настоящая статья исследует, как этот подход позволяет строить защищенные системы изначально, снижая риски и затраты на эксплуатацию информационных систем государственного масштаба.

2. Концептуальные основы стратегии Shift Left

Концепция «Shift Left» (сдвиг влево) зародилась в тестировании ПО, но нашла свое истинное воплощение в информационной безопасности. Традиционный цикл разработки (Waterfall или стандартный Agile) предполагал фазу безопасности как «ворота» (Security Gate) перед релизом. Это создавало конфликт между скоростью бизнеса и качеством защиты. «Shift Left» децентрализует безопасность, делая её общей ответственностью всей команды. Теоретический фундамент стратегии строится на трех столпах: раннее обнаружение, автоматизация контроля и непрерывное обучение. В контексте Академии государственного управления это означает подготовку кадров, способных мыслить категориями безопасности еще на этапе формирования бизнес-требований к будущей системе.

3. Экономика безопасности: Анализ стоимости исправлений

Главным аргументом в пользу «Shift Left» является экономическая целесообразность. Исследования компаний IBM и NIST показывают экспоненциальный рост стоимости исправления дефекта в зависимости от стадии его обнаружения. В условиях государственного бюджета это имеет решающее значение:

Этап жизненного цикла (SDLC)	Стоимость исправления (условные единицы)	Последствия для государственного проекта
Планирование и требования	1x	Легкая корректировка документации
Дизайн и архитектура	3x - 5x	Изменение схемы базы данных или API
Разработка (Кодинг)	10x - 15x	Переписывание модулей, задержка спринта
Тестирование (QA)	30x - 50x	Срыв сроков государственного контракта
Эксплуатация (Продакшн)	100x+	Утечка данных, репутационный ущерб, судебные иски

Таким образом, превентивные меры не являются «тратами», а представляют собой эффективную инвестицию в стабильность государственной инфраструктуры.

4. Методология моделирования угроз на этапе проектирования

Первым шагом реализации «Shift Left» является моделирование угроз (Threat Modeling). Это процесс идентификации потенциальных угроз системе еще до написания первой строки кода. Наиболее эффективной для госсектора является методология STRIDE, разработанная Microsoft:

- **Spoofing (Подмена):** Как злоумышленник может выдать себя за государственного служащего?
- **Tampering (Вмешательство):** Могут ли данные о налогах быть изменены в процессе передачи?
- **Repudiation (Отказ от авторства):** Сможет ли пользователь доказать факт совершения транзакции?
- **Information Disclosure (Раскрытие данных):** Защищены ли персональные данные от несанкционированного чтения?
- **Denial of Service (Отказ в обслуживании):** Устойчив ли портал к нагрузкам в пиковые периоды?
- **Elevation of Privilege (Повышение прав):** Может ли обычный пользователь получить права администратора?

Включение этих вопросов в стадию дизайна позволяет заложить правильные механизмы шифрования и аутентификации в фундамент системы.

5. Роль автоматизации и Security-as-Code

Для того чтобы «Shift Left» работал на практике, проверка безопасности должна быть встроена в инструменты разработчика. Это реализуется через концепцию Security-as-Code (безопасность как код). Каждый коммит в репозиторий автоматически запускает цепочку проверок:

1. Проверка кода на соответствие стандартам безопасного кодирования (Linter).
2. Анализ сторонних библиотек на наличие известных уязвимостей (SCA).
3. Запуск автоматизированных юнит-тестов безопасности.

Такой подход обеспечивает немедленную обратную связь: разработчик узнает об ошибке через 2 минуты после её совершения, а не через 2 месяца от отдела аудита.

6. Культурная трансформация: Концепция Security Champions

Самым сложным аспектом «Shift Left» является изменение корпоративной культуры. Невозможно приставить эксперта по безопасности к каждому программисту. Решением является институт «Security Champions» (Чемпионов безопасности) — это наиболее заинтересованные разработчики внутри команд, которые получают дополнительное обучение и выступают в роли моста между командой разработки и отделом ИБ. В государственных структурах это позволяет масштабировать экспертизу безопасности без раздувания штата специалистов узкого профиля.

7. Заключение

Реализация стратегии «Shift Left Security» — это единственный путь к созданию по-настоящему надежных и масштабируемых государственных цифровых сервисов. Перенос акцента на ранние стадии разработки позволяет не только предотвращать катастрофические утечки данных, но и существенно оптимизировать бюджетные расходы на ИТ. Для успеха стратегии необходимо триединство: современные инструменты автоматизации, четко прописанные методологии и непрерывное обучение персонала. Будущее цифрового суверенитета Азербайджана напрямую зависит от способности внедрять такие проактивные модели защиты на всех уровнях информационного взаимодействия.

Список литературы

1. NIST Special Publication 800-64: Security Considerations in the System Development Life Cycle.
2. Rice D. Geek's Guide to Security: Shift Left. – O'Reilly Media, 2022.
3. Microsoft Security Development Lifecycle (SDL) Best Practices. <https://www.microsoft.com/en-us/securityengineering/sdl>
4. Snyder L. Proactive Security in Agile Environments. – Springer, 2023.
5. OWASP Software Assurance Maturity Model (SAMM) v2.0. <https://owasp samm.org/>
6. ISO/IEC 27001:2022 – Information security, cybersecurity and privacy protection.
7. Garrett T. Identity and Access Management: A Comprehensive Guide. – Packt, 2023.
8. Чаплин Э. Архитектура безопасных систем в госсекторе. – СПб., 2021.

ИНТЕГРАЦИЯ SAST-ТЕХНОЛОГИЙ В ЦИКЛ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Велиев Юнис Фирузович

Академия государственного управления при Президенте Азербайджанской Республики, Магистрант, Специальность: Информационная безопасность, Баку, Азербайджан

SUMMARY

In the modern era of digital transformation, the security of mobile applications has become a critical concern for government and commercial organizations. This article provides an in-depth analysis of integrating Static Application Security Testing (SAST) tools into the software development lifecycle. By examining automated code scanning methodologies, the study demonstrates how developers can identify vulnerabilities such as SQL injections, insecure data storage, and hardcoded credentials at the earliest stages of production. The research explores the technical implementation of SAST within CI/CD pipelines, the management of false positives, and the alignment with international cybersecurity standards. Key questions include: How does automated static analysis enhance the resilience of state-managed mobile services? What are the primary technical challenges of implementing SAST in diverse development environments? How can organizations optimize vulnerability remediation workflows to ensure continuous security?

Keywords: SAST, DevSecOps, mobile security, information security, CI/CD, vulnerability scanning, static analysis, data protection, cybersecurity.

XÜLASƏ

Müasir rəqəmsal transformasiya dövründə mobil tətbiqlərin təhlükəsizliyi dövlət və kommersiya təşkilatları üçün kritik bir məsələyə çevrilmişdir. Bu məqalədə Statik Tətbiq Təhlükəsizliyi Testi (SAST) alətlərinin proqram təminatının hazırlanması dövrünə inteqrasiyasının dərin təhlili təqdim olunur. Avtomatlaşdırılmış kod skanlaşdırma metodologiyalarını araşdıraraq, tədqiqat proqram tərtibatçıların SQL inyeksiyaları, qeyri-təhlükəsiz məlumat saxlanması və kodda açıq şəkildə göstərilən etibarnamələr kimi zəiflikləri istehsalın ən erkən mərhələlərində necə aşkar edə biləcəyini nümayiş etdirir. Tədqiqat SAST-in CI/CD konveyerləri daxilində texniki tətbiqi, yalnız müsbət nəticələrin idarə olunması və beynəlxalq kiber təhlükəsizlik standartlarına uyğunlaşdırılması məsələlərini araşdırır.

Açar sözlər: SAST, DevSecOps, mobil təhlükəsizlik, informasiya təhlükəsizliyi, CI/CD, zəifliklərin skan edilməsi, statik analiz.

АННОТАЦИЯ

В эпоху цифровой трансформации безопасность мобильных приложений стала критически важной задачей для государственных и коммерческих организаций. В данной статье представлен углубленный анализ интеграции инструментов статического тестирования безопасности приложений (SAST) в жизненный цикл разработки программного обеспечения. Изучая методологии автоматизированного сканирования кода, исследование демонстрирует, как разработчики могут выявлять такие уязвимости, как SQL-инъекции, небезопасное хранение данных и жестко закодированные учетные данные на самых ранних

этапах производства. Исследование рассматривает техническую реализацию SAST в конвейерах CI/CD, управление ложноположительными срабатываниями и соответствие международным стандартам кибербезопасности.

Ключевые слова: SAST, DevSecOps, безопасность мобильных приложений, информационная безопасность, CI/CD, сканирование уязвимостей, статический анализ.

1. Введение

Современное государственное управление немыслимо без мобильных платформ, обеспечивающих доступ граждан к государственным услугам. Однако вместе с удобством приходят и новые риски: мобильные приложения часто становятся «слабым звеном» в системе защиты данных. В условиях, когда скорость выпуска обновлений имеет решающее значение, традиционные методы аудита безопасности, проводимые вручную, перестают быть эффективными. Это создает острую необходимость в автоматизации процессов контроля. Настоящая статья посвящена практическим аспектам внедрения SAST-технологий, которые позволяют анализировать исходный код на наличие дефектов безопасности без его выполнения, обеспечивая непрерывную защиту государственных информационных систем.

2. Теоретический базис статического анализа безопасности

Статическое тестирование безопасности приложений (SAST) базируется на анализе исходного кода, байт-кода или бинарных файлов приложения. В отличие от динамического тестирования (DAST), которое требует запущенного экземпляра программы, SAST работает с «чертежами» системы. Основная теоретическая ценность SAST заключается в возможности построения графа потоков данных (Data Flow Graph) и графа потоков управления (Control Flow Graph). Это позволяет выявить логические цепочки, которые могут привести к компрометации системы еще до того, как первая версия кода будет скомпилирована. В академическом контексте внедрение SAST рассматривается как переход от реактивной модели защиты к превентивной, что критически важно для объектов критической информационной инфраструктуры.

3. Архитектура интеграции в пайплайны непрерывной разработки

Для достижения максимальной эффективности SAST-сканеры должны быть бесшовно интегрированы в CI/CD (Continuous Integration / Continuous Deployment). Архитектура такой интеграции обычно состоит из нескольких уровней защиты:

Уровень интеграции	Метод воздействия	Инструментальное обеспечение
Local IDE	Проверка "на лету" при написании строк кода	SonarLint, Snyk IDE Plugin
Pre-commit / Push	Блокировка передачи кода с секретами в репозиторий	Git Hooks, Husky
Build Server	Глубокое сканирование всей кодовой базы проекта	Checkmarx, SonarQube, MobSF
Staging	Анализ зависимостей и сторонних библиотек	OWASP Dependency-Check

Такая многослойная структура гарантирует, что ни одна критическая ошибка не попадет в финальную сборку, предназначенную для публикации в магазинах приложений (App Store/Google Play).

4. Методология выявления уязвимостей и управление ложными срабатываниями

Одной из главных проблем SAST является высокий уровень ложноположительных срабатываний (False Positives). Для эффективной работы в государственном секторе необходимо внедрение строгой методологии фильтрации:

1. **Taint Analysis (Анализ загрязнения):** Отслеживание пути данных от источника (ввод пользователя) до приемника (база данных, API). Если данные проходят через функции очистки, риск признается низким.
2. **Semantic Analysis:** Поиск паттернов кода, которые заведомо ведут к уязвимостям, например, использование функций `eval()` или жесткое кодирование токенов доступа.
3. **Триаж (Triaging):** Процесс верификации найденных багов экспертом по безопасности для настройки правил сканера и исключения повторных ложных алертов.

Автоматизация триажа с использованием машинного обучения является перспективным направлением, позволяющим сократить время на аудит кода в несколько раз.

5. Специфика анализа безопасности мобильных платформ

Мобильные приложения имеют уникальные векторы атак, которые требуют специфических настроек SAST-инструментов. В рамках исследования были выделены следующие приоритетные области проверки:

- **Inter-Process Communication (IPC):** Проверка безопасности взаимодействия между компонентами Android (Intents) для предотвращения кражи данных другими приложениями.
- **Insecure Local Storage:** Выявление случаев записи чувствительной информации (паролей, биометрических хэшей) в SharedPreferences или SQLite без шифрования.
- **Hardcoded API Keys:** Автоматический поиск ключей к облачным сервисам Firebase, Google Maps или государственным шлюзам, которые часто забываются в коде при разработке.

Использование специализированных фреймворков, таких как MobSF (Mobile Security Framework), позволяет проводить глубокий анализ не только исходного кода, но и конфигурационных файлов манифеста.

6. Соответствие государственным стандартам и регуляциям

Разработка ПО для государственных нужд в Азербайджанской Республике требует строгого соответствия требованиям информационной безопасности. Внедрение SAST помогает автоматизировать отчетность по стандартам безопасности. Автоматизированные отчеты сканеров служат доказательной базой того, что приложение не содержит известных уязвимостей на момент релиза. Это значительно упрощает процедуру государственной сертификации информационных систем и повышает доверие со стороны контролирующих органов.

7. Заключение

Интеграция SAST-технологий в современный цикл разработки — это не просто выбор инструмента, а внедрение новой культуры производства безопасного ПО. Практический опыт показывает, что автоматизированный анализ кода позволяет выявлять до 80% критических уязвимостей на ранних этапах, что в разы дешевле их устранения после запуска системы. Для Академии государственного управления внедрение подобных методологий является залогом создания устойчивой и защищенной цифровой среды. Будущее SAST связано с интеграцией интеллектуальных агентов, способных не только находить ошибки, но и предлагать безопасные варианты исправления (Auto-remediation), что станет следующим шагом в эволюции DevSecOps.

Список литературы

1. OWASP Static Analysis Security Testing (SAST) Tools List. https://owasp.org/www-community/Source_Code_Analysis_Tools
2. McGraw G. Software Security: Building Security In. – Addison-Wesley Professional, 2021.
3. Checkmarx: The State of Open Source Security. White Paper, 2023.
4. Троелсен Э. Язык программирования C# 10 и платформа .NET 6. – СПб.: Питер, 2022.
5. Snyder L. DevSecOps: A Leader's Guide. – Addison-Wesley, 2022.
6. MobSF Documentation: Static Analysis for Mobile Apps.
7. ISO/IEC 27034: Information technology – Application security.
8. Williams J. Enterprise Cybersecurity: How to Build a Successful Cyberdefense Program. – Apress, 2023.

Установка для прессования квадратных и прямоугольных сыров с применением двухстороннего ступенчатого (пошагового) с сокращением пневмоцилиндров и прессформы для двухстороннего прессования сыра без пневмоцилиндров на основе электромагнитных сил

Манукян Самвел Смбагович

канд. тех. наук, доцент, Государственный Аграрный Университет Армении, город Гюмри, Республика Армения

Ключевые слова: аннизотропия, полотно, боковина, зубчатая линейка, палец, пружинок, перфорация, гофрированный, направляющая.

[//orchid.org/0000-0002-2855-4641](https://orchid.org/0000-0002-2855-4641)

Installation for double-sided step pressing of round square and rectangular cheeses, with a pneumatic smaller number of cylinders.

Samvel Manukyan
cand of tech. sciences, docent
Armenian National Agrarian University
Republic of Armenia, Gyumri

Key words: ratchet, toothed, ruler, lever, pin, bracket, loop, clamp, bushing, piston
Annotation

To carry out double-sided pressing, a unit has been developed that lines a press mold for double-sided step-by-step (incremental) napkin-free (with a reduction in the number of pneumatic cylinders) pressing of round cheeses.

The proposed first installation, which is considered in the article, provides automation, combining 5 technological processes of mold assembly, pouring cheese grain into the mold, forming, pressing.

Elements from 400 pieces to 8 pieces, that is 392 pieces will be reduced. Automation is carried out due to:

1. Automatic device for regulating the pouring of cheese grains into the mold.
2. Step-by-step pressing mechanism.

3. Simultaneous activation of the pneumatic cylinders of the upper and lower covers results in movement towards each other and from the reverse stroke, double-sided pressing is carried out as well as disassembly and assembly of the forms by the shell.
4. The table for removing the pressed cheese from the mold is a telescopic pneumatic cylinder (jack).

Установка для прессования квадратных и прямоугольных сыров с применением двухстороннего ступенчатого (пошагового) с сокращением пневмоцилиндров, а также прессформа для двухстороннего прессования сыра без пневмоцилиндров на основе электромагнитных сил.

Вступление

Технический анализ

В последнее десятилетие многие процессы производства натуральных сыров механизированы и автоматизированы. Применяются несколько полупромышленных и промышленных способов непрерывного получения сырной массы, ее формования и прессования, разнообразные конструкции аппаратов периодического и непрерывного действия для получения сырной массы, формовочно-дозировочные устройства, прессы (рычажные, винтовые и пневматические, горизонтальные, туннельные). Однако, до настоящего времени, в сыроделии применяются способы, конструкции форм и устройств для осуществления одностороннего прессования сыров. Особое место занимают туннельные прессы, в которых в качестве силовых элементов, развивающих усилие прессования, используют два типа устройств: пневмоцилиндры и гибкие надувные силовые элементы.

Недостаток таких элементов – небольшая величина рабочего хода (при больших различиях в высоте головок сыра, качество прессования может ухудшиться), достоинство – высокое удельное давление при этом требуется специфичность конструкций прессов с использованием гибких силовых элементов.

При этом основным способом создания давления прессования является использование энергии сжатого воздуха и в них чаще всего на каждый брусок сыра давит отдельный пневмоцилиндр. При этом уплотнение сырной массы по направлению от прессуемой стороны вниз падает, поэтому, чтобы получить одинаковую плотность верхней и нижней стороны, сыры перепрессуют. Это очень трудоемкий процесс, приводящий к неравномерному распределению влаги и твердости в сырной массе, следовательно, к неравномерному распределению и развитию микрофлоры и не интенсивному протеканию биохимических процессов в сырной массе, в результате чего снижается качество сыра. Поэтому, действующий способ одностороннего прессования сыров с перепрессовками и применением салфеток приводит к анизотропии сыра.

Из этих туннельных прессов различаются с высокими автоматизациями производства фирмы пресс-паллет. Пресс-паллеты объединяются в блоки, имеющие общую систему питания сжатым воздухом, а также систему подъемно-транспортных устройств для загрузки и разгрузки прессов (прессовое отделение, оборудованное пресс-паллетами «Шалон Мегар»). **Анализ существующих систем прессования позволяет сделать вывод о том, что они постоянно совершенствуются, но основным способом создания давления прессования является использование энергии сжатого воздуха.** (6-11)

Совершенствования касаются автоматизации систем загрузки и разгрузки.

Таким образом, для выработки качественного сыра, необходимо при прессовании получить сырную массу с более равномерным распределением влаги и твердости.

Следовательно, совершенствование и разработка высокопроизводительных, непрерывно действующих технических средств техники и технологии производства натуральных сыров, особенно, процессов получения сырной массы, ее формования и прессования было и остается актуальной задачей науки и практики.

Итак, можем заключить тем, что до сих пор и применяемые способы, и конструкции форм, и устройств для осуществления одностороннего прессования, отличаются рядом недостатков (переворачивание, завертывание сырной массы в салфетки, формования, прессования, выемка отпрессованных сыров, сборка и разборка форм, не совмещенность этих процессов, ручной труд, большая площадь, занимаемая под оборудование), а вырабатываемые при этих способах сыры характеризуются анизотропностью. Перечисленные недостатки мешают осуществлению поточности производства, затрудняют комплексную механизацию и автоматизацию сыродельного производства. Следовательно, чтобы выработать качественный сыр следует при прессовании получить сырную массу с повышенной однородностью. Для достижения чего необходимо разработать новые способы и технические средства для прессования сыров и совмещения процессов розлива сырного зерна, формования и прессования сырной массы, и выемки отпрессованных сыров из форм, что в сыроделии, до сих пор, является весьма актуальным и значимым. Целью работы является разработка технологий, совмещающей технологические процессы производства сыра (розлив сырного зерна, формование и прессование сырной массы и выемка отпрессованных сыров из форм), их автоматизация с сокращением количества пневмоцилиндров, которая обеспечивает непрерывность производство двухстороннее формование прессования прямоугольных сыров, а также разработка технических средств для осуществления прессования сыров без перепрессовок и применения салфеток. (5-7)

Предлагаем первые три способа двустороннего прессования:

1. двустороннее бессалфеточное;
2. двустороннее ступенчатое (шаговое) бессалфеточное (с меньшим количеством пневмоцилиндров);
3. двухстороннее бессалфеточного прессования без пневмоцилиндров с использованием электромагнитных сил.

Для разрешения поставленной цели нами были сформулированы следующие задачи:

1. Разработать установка сокращением количество пневмоцилиндров, которая подлежит полной автоматизации, обеспечивает непрерывность производства прямоугольных сыров совмещения технологических процессов сборки форм, розлива сырного зерна, формования и прессования сырной массы и выемка отпрессованных сыров из формы.
2. Разработать конструкции прессформ для осуществления двухстороннего прессования сыра без пневмоцилиндров на основе электромагнитных сил.

Показаны устройства для розлива сырного зерна в формы и прессования зерен в формах, а также, моечное устройство.

Установка для двустороннего бессалфеточного прессования сыров рис.1 включает устройство для розлива сырного зерна, содержащее два кольцевых конвейера (1), установленных с возможностью кругового шагового перемещения и остановки в рабочих позициях для загрузки – розлива сырного зерна в форму (2) из трубопроводов (3). Последние опускаются и поднимаются с помощью пневмоцилиндров (4).

Трубопроводы (3) снабжены самоцентрирующимися патрубками (5). Прокладка (6) служит для герметизации отверстий в форме (2) при розливе зерен через клапаны (11) патрубков (5). За устройством для розлива сырного зерна установлено устройство для прессования зерна в формах (2), снабженное пневмоцилиндром (1,28) со штоками (2,27). Формы (2) имеют верхнюю и нижнюю крышки (12,23) и храповые зубчатые линейки (14) с пальцами (15)

пружин (16), шагового прессования зёрн путем взаимодействия крышек (12,23) со штоками (2,27) пневмоцилиндром (1,28), перемещения крышек одна к другой и фиксации зубьев линейки (14) пальцами (15). Пара крышек Конвейеры (1) обеспечивают розлив сырного зерна в формы (2) и последовательное увеличение усилия прессования с каждым новым полным круговым поворотом.

Устройство для очистки представляет собой моечную машину с патрубками и клапан (5), (7), (13), (14) и служит для ополаскивания форм (2) сборочном и разборочном состоянии перед очередной загрузкой.

Установка работает следующим образом: Рис. 1 конвейером (1) с формами (2) сообщают периодическое движение по круговой траектории, при этом в неподвижном положении конвейеров (1) трубопроводы (3) обеспечивают одновременное заполнение форм (2).

Подъем и опускание трубопроводов (3) обеспечивают пневмоцилиндрами (4) так, что при розливе зерна патрубки (5) закрывают заливное отверстие формы прокладкой (6). Через открытый клапан (11) осуществляют розлив сырного зерна. При обратном ходе поршней пневмоцилиндров (4) трубы (3) поднимаются вверх и не мешают перемещению форм (2) на фиксированное расстояние, при котором первая из пяти форм (2) оказывается в позиции прессования между нижними и верхними пневмоцилиндрами (1,28). Штоки (2,27) пневмоцилиндров (1,28) перемещают крышки (12,23) формы навстречу друг к другу и одновременно опускают зубчатую линейку (14) на один зуб вниз. Это положение крышек (12,23) фиксируют пальцем (15). Далее запускают конвейер (1), который совершает перемещение на следующее фиксированное расстояние, благодаря чему, под пневмоцилиндры (1,28) подводят вторую форму. После того, как все пять форм (2) пройдут первую степень прессования (т.е. их зубчатые линейки (14) опущены на один зуб и зафиксированы в этом положении пальцами (15), снова запускают конвейер (1), или вагонетка с рельсами при работе вагонетки, стоит конвейер (1) и на оборот пневмоцилиндрами (1,28), который начинает перемещение в обратном направлении. В результате чего и первая форма (2) опять находится под пневмоцилиндрами (1,28), которые осуществляют дальнейшее прессование сырного зерна путем перемещения зубчатых линеек (14) всех пяти форм вниз на следующий зуб линейки (14), что соответствует увеличению прессующего усилия на определенную величину. Цикл прессования продолжается до усилия, предусмотренного технологическим режимом, а сыворожка выходит из патрубки (38).

Таким образом, требуемое усилие прессования зерна в формах достигается ступенчатым двусторонним увеличением давления на зерно, которое выдерживается под этим давлением до тех пор, пока находятся в зацеплении их зубчатые линейки (14) форм и пальцы (15).

После выемки головок (31) пустые формы подвергают мойке в закрытом и открытом положении, путем подачи моющего раствора и клапаном (5), (7) через патрубки (13), (14). По завершению мойки и ополаскивания формы (2) снова перемещают на позицию заливки сырного зерна.

Разгрузку форм Рисунок (3) осуществляют на малой части площадки (25) следующим образом:

Конвейер (1) останавливают штоком (26), поднимают площадку (25) до упора в основание нижней крышки (23), после чего форма (2) удерживается штоком (26), (27). Затем шток (26) поднимает центральную подвижную (т. е. малый) часть (24) нижней крышки (23) формы (2) вместе с отпрессованной опорной головкой (31). После срабатывания вертикального пневмоцилиндра (32) со штоком (33) в подвешенной направляющей (34) его вилку (36) подводят под сырную головку (31), при помощи горизонтального пневмоцилиндра (35), срабатывания вертикального пневмоцилиндра (32), поднимают головку сыра (31) с части

(25), в результате срабатывания обратного хода горизонтального пневмоцилиндра (35) перемещают на устройство взвешивания. Срабатывание пневмоцилиндров (1,28) большие штоки (2,27) верхней и нижней крышки (12,23) приводит к движению встречи друг к другу до зацепления первого зуба зубчатой рейки (14) — холостой ход. Вилка 36 имеет возможность изменить, то есть увеличить или уменьшить расстояние между опорами для захвата разных видов по размеру сыра. Механизм захвата служит для переноса и снятия отпрессованного сыра с устройства для взвешивания.

Прессформы для двустороннего ступенчатого (шагового) прессования сокращения пневмоцилиндров прямоугольных и квадратных сыров

Предложен впервые

Прессформа для прямоугольных сыров. Прессформа (рис. 2) состоит из пневмоцилиндра (1) со штоком (2), шайбообразной опоры (3) для закрепления пневмоцилиндра (1), гайки (4), стойки (5), патрубка (6) для розлива сырного зерна, каркаса (7) для закрепления зажимов (17), гайки (8) для регулирования силы сжатия пружины (9), 3-х стержней (10) под углом 120°, конуса (11), делителя сырного зерна в форму, закрепленного на малой части (13) верхней крышки (12), последняя состоит из 2-х частей - большой и малой с перфорированными гофрированными вставками. На каркасе (7) жестко закреплен механизм ступенчатого перемещения верхней крышки (12). Механизм состоит из взаимодействующих между собой зубчатых линеек (14) и подпружиненных (16) пальцев (15) и скобообразных зажимов (17), входящих в контакт с конической частью линейки (14). На боковинах (18) закреплены направляющие (19), гайка (20), регулирующая силу сжатия пружин (21) для затяжения боковинок (18) в первоначальное положение и регулирующая зазоры между боковинами (18) и верхней крышкой (12), плита (22) с возможностью перемещения в пазах направляющего для регулировки боковинок (18) с целью прессования разных по размеру сыров. Нижняя крышка, изготовленная из перфорированных и гофрированных пластин, также состоит из 2-х частей: большой (23) и малой (24), которые закреплены со штоками малого (26) и большого (27) телескопического пневмоцилиндра (28). На большей (23) части нижней крышки для ограничения выпрессовки сырного зерна закреплена резиновая прокладка (29) пластинки (30).

Принцип работы прессформы. Загрузка форм при одновременном срабатывании верхних и нижних пневмоцилиндров (1), (28), крышки (12), (23) перемещаются навстречу друг к другу до определенной точки, предусмотренной для прессования данного вида сыра. При этом скобообразные зажимы (17) своими конусообразными поверхностями взаимодействуют с линейкой (14), вследствие этого закрывается зазор между крышками (12), (23) и боковинами (18). Прессформа готова к розливу сырного зерна. Под давлением подачи сырного зерна по трубе (6) конический делитель (11), на рабочей поверхности которого закреплены гофрированные и перфорированные вставки со своими стержнями (10), спускается вниз, открывая вход для поступления сырного зерна в прессформу. Вышеуказанный узел называется клапаном автоматического регулирования розлива сырного зерна.

Прессование сыра

После заполнения прессформы давление подачи сырного зерна падает и клапан закрывается за счет обратного хода сжатой пружины (9), т.е. в малой части (13) поднимается до уровня верхней крышки (12). Срабатывание пневмоцилиндров (1), (28) верхней (12) и нижней (23) крышек приводит их в движение навстречу друг другу, тем самым осуществляя двустороннее прессование сырной массы за счет ступенчатого перемещения пальца (15), зажимов (17) по зубьям линейки (14) (механизм ступенчатого перемещения) согласно технологическому режиму, предложенному нами. После получения прессующей нагрузки за счет шага линейки (14) и штока (2), (27) пневмоцилиндры уходят обратно. Прессформа под

давлением проходит с конвейером до того места, где подвергается второй прессующей нагрузке.

Стол выемка сыра из прессформы

После прессования, выемка сырной головки осуществляется следующим образом. При обратном движении пневмоцилиндров (1), (28) верхняя крышка (12) поднимается от предварительно отцепленного от зубьев линейки (14) пальца (15) при помощи магнитной катушки (37) вместе обратного хода пневмоцилиндра (28).

Большая часть нижней крышки (23) телескопического пневмоцилиндра (28) штоком (27) спускается (в нижнее положение), а малая часть (24) со своим штоком (26) держит сырную головку от освобожденных боковин (18) прессформы при помощи затяжной пружины (21), находящейся на направляющих (19). После чего шток (26) со сырной головкой спускается до выхода из прессформы. Для прессования сыров разных размеров направляющая (19) имеет возможность перемещения по горизонтали на пазах направляющего для увеличения или уменьшения размеров прессформы.

Нами был изготовлен модуль прессформы для двустороннего бессалфеточного прессования крупных прямоугольных сыров, который приведен на рисунке.

Результаты технологических исследований первого способа

1. Предложено в первые двухстороннее прессование.
2. Анализ реологических, микробиологических, биохимических показал ее положительное влияние на качества швейцарских, голландских и сыра «Лори».

Двухстороннее прессование повышает качество сыров за счёт исключения перепрессования салфетки, сокращает продолжительность прессования, уменьшает анизотропность сыров, так же положительно влияет на совмещенность технологических процессов-сборка форм, разлив сырного зерна, формование, прессование выемка отпрессованного сыра из прессформы.

Результаты технических разработок

Впервые предложена установка, которая подлежит полной автоматизации, совмещая вышеуказанные технологические процессы, и обеспечивает непрерывность производства. Автоматизация установки осуществляется за счёт устройства для автоматического регулирования разлива сырного зерна, конвейера установленных с возможностью кругового шагового перемещения и остановки в рабочих для загрузки-разлива сырного зерна в форму из труба-провода, устройство для прессования зерна в формах, состоящие зубчатые линейки с пальца, пружинами, то есть петля для механизм пошагового прессования сыра, который сокращает количество пневмоцилиндров из 400 до 8 на тонну сыра 5 кг одной головки, в следствии этого сокращается производственная площадь по оборудованию, металлоёмкость, воздушные компрессоры и ёмкости для хранения сжатого воздуха. Зная, что каждый брусок сыра давит отдельный пневмоцилиндр. Механизм выемки отпрессованного сыра из формы состоящая из телескопичного донкрата, нижнего и верхнего пневмоцилиндров.

Устройство для выемки отпрессованного сыра, состоящая из телескопного донкрата (нижнее, верхнее пневмоцилиндров).

Так как одна тонна сыра по 5 кг головкой (голландской, лоры) получается 200 голов. При одностороннем прессовании требуется 200 пневмоцилиндров, а при двухстороннем прессовании 400 пневмоцилиндров.

Впервые предложена прессформа действующие на основе электромагнитных сил, которая двухстороннего прессования осуществляет без пневмоцилиндров, кроме снятия из производства пневмоцилиндров также сокращается воздушных компрессоров, занимаемая

площадь подкомпрессоров, металлоемкость, емкость сжатых воздушных масс и обслуживающих персонал.

Обсуждения

Впервые предложено двухстороннее бессалфеточное прессование, с исключением перепрессовок, с уменьшением анизотропности сыра и сокращением продолжительности прессования.

Впервые предложена установка, которая осуществляет двухстороннее прессование подлжит полной автоматизации совмещая выше указанных технологических процессов, которая обеспечивает сокращение количества пневмоцилиндров, а также непрерывность производства. А также предложено прессформа двухстороннего прессования сыра действующие на основе электромагнитных сил.

Заключение

По технологическому анализу:

Таким образом, можно заключить то, что двухстороннее прессование уменьшает анизотропию сыра, исключает перепрессовку и используемое салфетки, на основании этого сокращается продолжительность прессования, а уменьшение анизотропии осуществляется при прессовании слоя сырной массы, уплотняется одновременно с обеих сторон без перерисовок и применения салфеток, согласно технологическому режиму.

По техническим анализам видно, что вышеуказанной прессформы - узлы и механизмы обеспечивают полную автоматизацию технологических процессов - сборка форм, разлив зерен в форму, маринование, прессование и выемка сыра из прессформы, а прессформа действующая на основе электромагнитных сил осуществляет прессование без пневмоцилиндров, кроме того, сокращает количество воздушных компрессоров, занимаемая площадь под компрессоров, металлоёмкость, емкость для сжатого воздуха и обслуживающий персонал и т.д.

Вывод

Двухстороннее прессование уменьшает анизотропность, т. е. повышает однородность сырной массы, которая способствует интенсивному развитию микроорганизмов и интенсивному протеканию биохимических процессов, и в результате этого образуется в большом количестве аминокислот, и летучие соединения: вкус и запах, консистенцию и рисунок сыра, то есть его качество. А установка обесточивает полной автоматизации, совмещая выше указанных пять технологических процессов, сокращает количество пневмоцилиндров, а прессформа осуществляет прессования сыра без пневмоцилиндров.

Для внедрения в производство очень выгодны основание большого экономического эффекты 30000\$ на тонну сыра Лори и голландского.

Аннотация

Для осуществления двухстороннего прессования разработана установка, которая включает пресс-форму двухстороннего ступенчатого (шагового) бессалфеточного (с уменьшением количества пневмоцилиндров) прессования квадратных и прямоугольных сыров. А также прессформа двухстороннего прессования сыра без пневмоцилиндров действующих на основе электромагнитных сил, который кроме пневмоцилиндров, также сокращает количество воздушных компрессоров, занимаемая площадь под компрессоров, металлоемкость, емкости для сжатого воздуха и их обслуживающий персонал.

Предлагаемая впервые установка, которая рассматривается в статье, обеспечивает автоматизацию, совмещая 5 технологических процессов сборки форм, разлив сырного зерна в форму, формирование, прессование и выемка сыра из пресс-формы, и имеет возможность

сократить количество прессующих элементов из 400 штук до 8 штук, то есть сократится 392 штук. Автоматизация осуществляется за счёт.

1. Автоматического устройства регулирования разлива сырного зерна в форму.
2. Механизмом ступенчатого (шагового) прессование.
3. Узел одновременно срабатывание пневмоцилиндров верхней и нижней крышки приводит к движению на встречу друг к другу и из обратного хода осуществляется двухстороннее прессование, а также разборка и сборка форм.
4. Стол выемки отпрессованного сыра из формы служит телескопный пневмоцилиндр (домкрат).

ЛИТЕРАТУРА

1. Майоров А.А., Мироненко И.М. Отделение сыворотки и формование сыров. Сыроделие и маслоделие, №6, Москва, 2012, 13- 18с.
2. Майоров А.А., Мироненко И.М. Прессование сырной массы. Сыроделие и маслоделие, №1, Москва, 2013, 26-30с.
3. Майоров А.А., Мироненко И.М. Прессование сырной массы. Сыроделие и маслоделие, №2, Москва, 2013, 34- 38с.
4. Оноприйко А. В., Табачников В. П. Обзорная информация серия: маслодельная и сыродельная промышленность №3. Техника И технология бессалфеточного прессования сыра (с) ЦНИИТЭИ. Мясомолпром, Москва, 1976, 56 с.
5. Патент №816444 авторы Манукян Самвел Смбатович и Диланян Завен Христофорович 1 декабря 1980г. "Форма для бессалфеточно прессования". (51)М., КлЗ А01J25/13.
[http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=SU
&NR=816444A1&KCA=1&FT=D&ND=3&date=19810330&DB=worldwide.espacenet.com&locale=enEP](http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=SU&NR=816444A1&KCA=1&FT=D&ND=3&date=19810330&DB=worldwide.espacenet.com&locale=enEP)
6. Патент №878221 "Форма для бессалфеточного прессования сыра авторы Диланян Завен Христофорович. Манукян Самвел Смбатович и Сергей Валерий Николаевич, 7 июня 1981г. (51) М. КлЗ А01J25/13.
<http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=SU&NR=878221A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=19811107&DB=worldwide.espacenet.com&locale=enEP>
7. Патент №991978 "Способ бессалфеточного прессования сыра" авторы Диланян Завен Христофорович, Манукян Самвел Смбатович 1 октября 1982г. (51) М. КлЗ А23 С 19/06.
<http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=SU&NR=991978A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=19830130&DB=worldwide.espacenet.com&locale=enEP>
8. Патент №929030 "Установка для прессования сыра" авторы Диланян Завен Христофорович, Манукян Самвел Смбатович и Аветисян Грачья Аветисович 21 января 1982г. (51) М. КлЗ А01J25/13.
<http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=SU&NR=929030A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=19820523&DB=worldwide.espacenet.com&locale=enEP>
9. Патент №1197612 "Установка для двустороннего прессования сыров" авторы Диланян Завен Христофорович, Манукян Самвел Смбатович 15 августа 1985г. (51) 4 А01 J 25/00.
<http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=SU&NR=1197612A1&KC=A1&FT=D&ND=3&date=19851215&DB=worldwide.espacenet.com&locale=enEP>
10. Патент Франции кл АОIJ 25/13 №2112719.
<http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=FR&NR=211271A5&KC=A5&FT=D&ND=3&date=19720623&DB=worldwide.espacenet.com&locale=enEP>
11. Патент Франции кл АОIJ 25/13 №1123578.
<http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=FR&NR=1123578A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19560924&DB=worldwide.espacenet.com&locale=enEP>

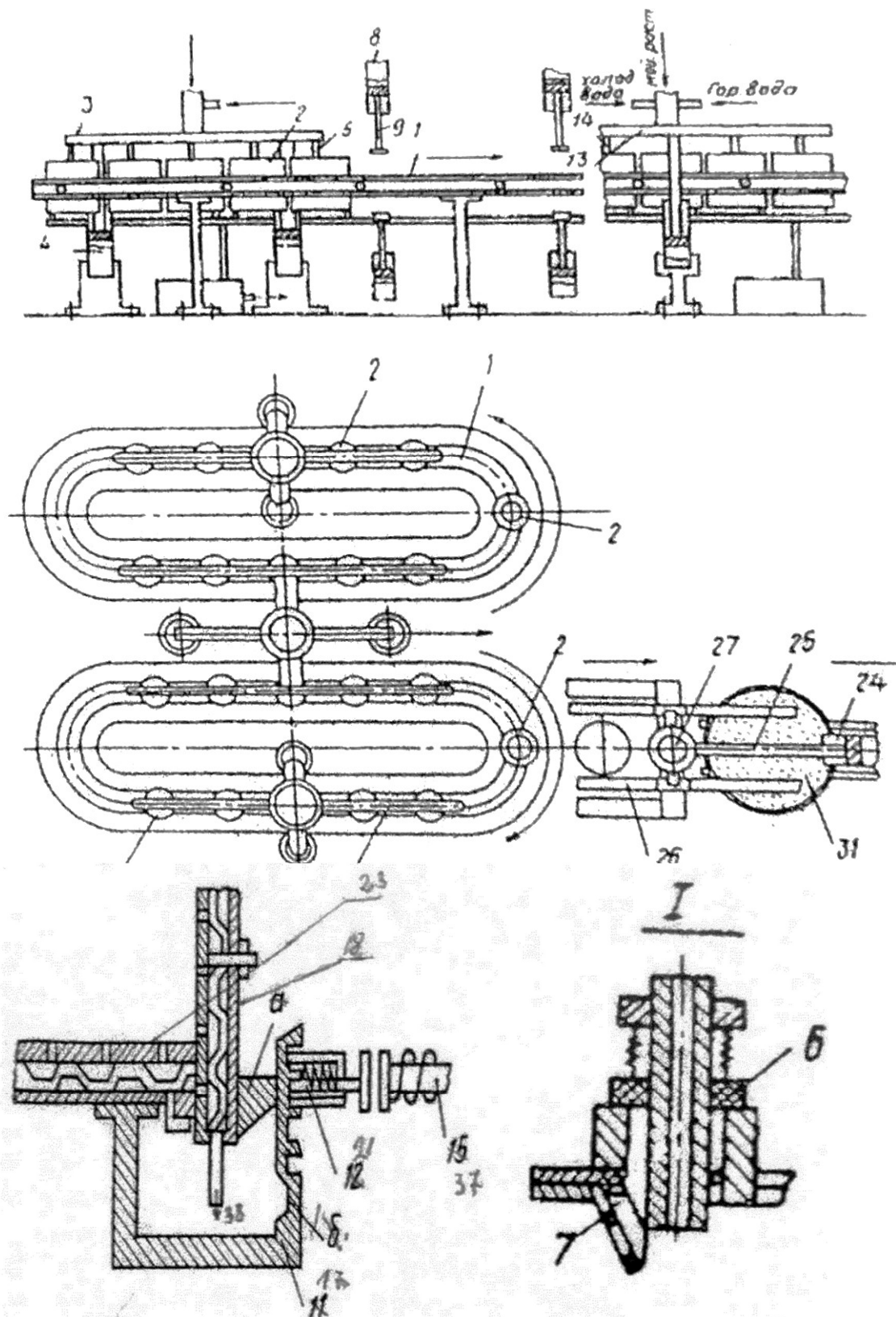


Рисунок 1. Показаны устройства для розлива сырного зерна в формы и прессования зерен в формах, а также, моечное устройство

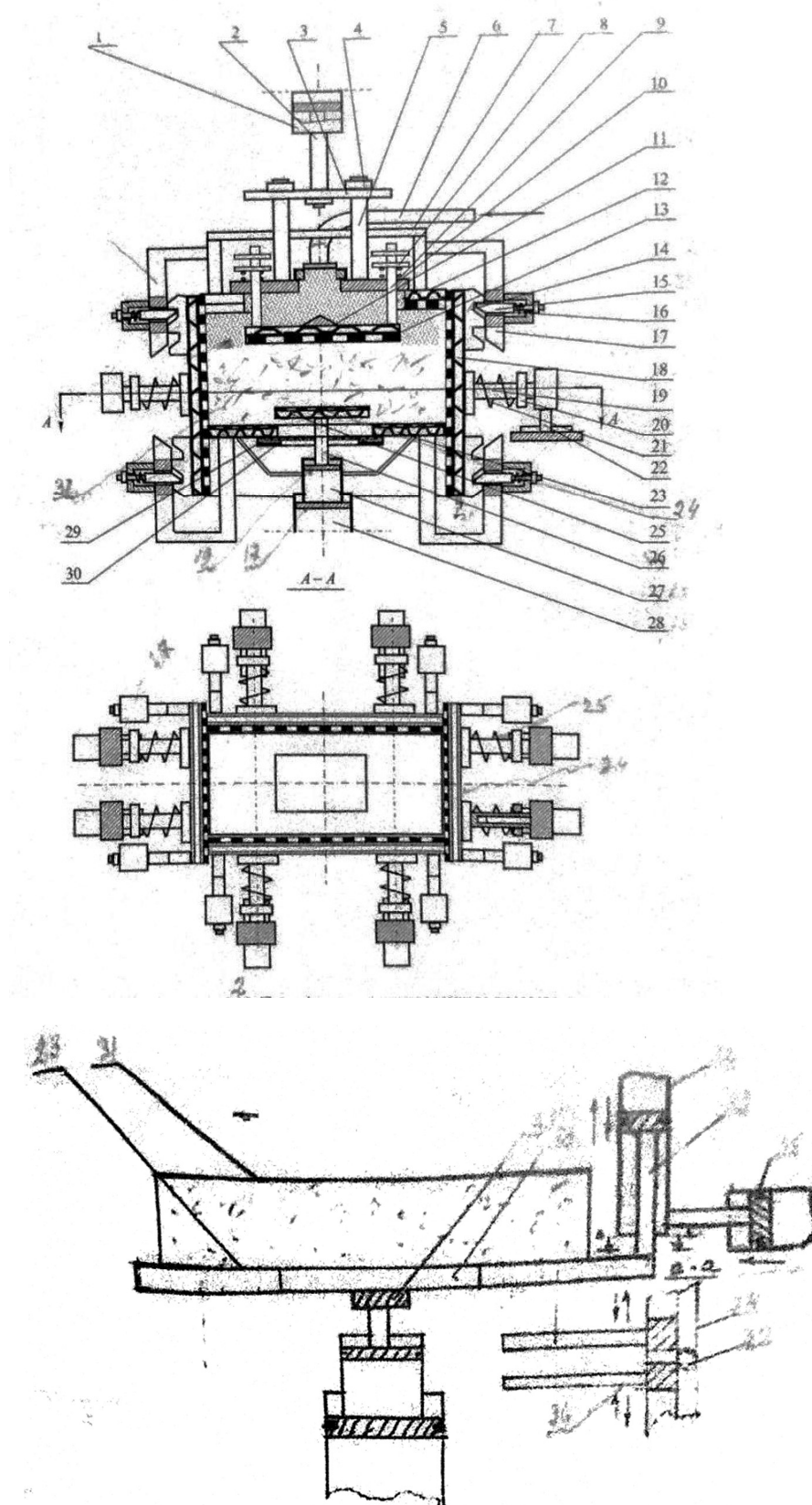


Рис. 2. Прессформа для двустороннего прессования прямоугольных сыров

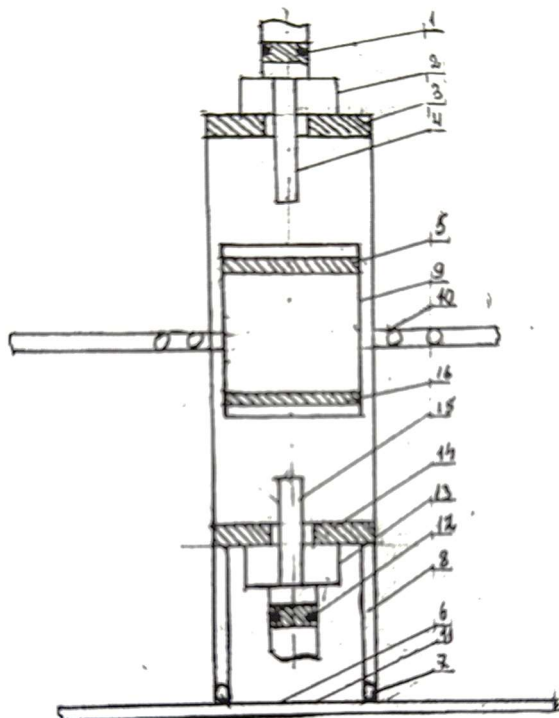


Рис. 3. Вогонетка, стол выемки отпрессованного сыра
Пневмоцилиндр (1,12), опоры (2,3), опоры (3,14), штоки (4,15), крышки (5,16), прессформа (2), конвейер (10), ножки (8), пелси (6,11), ролики (11)

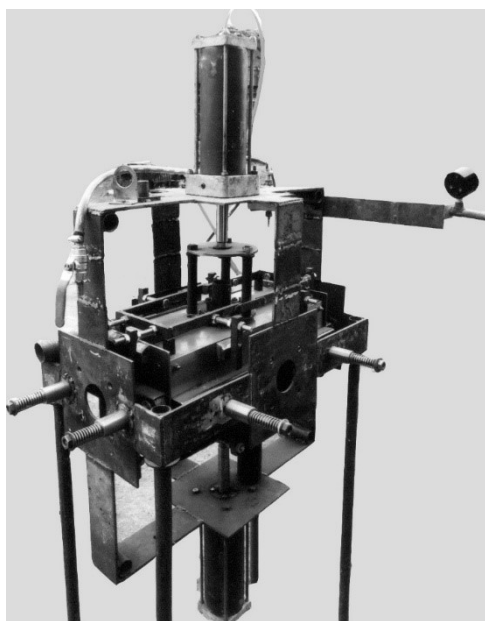


Рис. 4. Модуль для двухстороннего прессования сыров.

Прессформы для двустороннего прессования сыров, действующие на основе электромагнитных сил

Согласно А.А. Майорова и других [1,2,3], до сих пор основным способом создания давления прессования в сыроделии является использование энергии сжатого воздуха, поэтому разработали схему новой прессформы для двустороннего прессования сыра, действующей с помощью электромагнитных сил без использования энергии сжатого воздуха (пневмоцилиндров) (ав. с. № 2952 А) [6]. Продольный разрез новой прессформы представлен на рисунке 4.

Прессформа для прессования сыра состоит из перфорированного цилиндра со своей опорой, имеет 2 крышки- верхнюю (1) и нижнюю (2), перфорированный каркас (3), опору (4), однотипные парные электромагнитные катушки- верхние (5) и нижние (6), работающие в катушках парные штоки соответственно верхние (7) и нижние (8), парные пружины- верхние (9) и нижние (10), возвращающие штоки в первоначальное положение.

Изготовленная из перфорированной и гофрированной стальных пластин нижняя крышка состоит из 2-х частей – малой (11) и большой (12), причем ее малая часть присоединена со штоками (14) парных электромагнитных катушек (13), а большая часть- с парными штоками (8) нижней катушки (6), при этом штоки (14) малой части возвращаются в первоначальное положение пружиной (15), а штоки (8) большой части- пружиной (10).

Розлив сырной массы осуществляется через патрубок (16).

Принцип работы предлагаемой прессформы заключается в следующем: плавно движущиеся в верхней (5) и нижней (6) катушках штоки (7) (8), закрепленные на верхней (1) и нижней (2) крышках, приводят их в движение. Крышки равномерно двигаются навстречу друг другу до достижения первоначальных размеров для данного вида сыра. Затем через патрубок (16) в прессформу заливают сырное зерно. Прессование осуществляется за счет встречного поступательного движения верхней (1) и нижней (2) крышек в соответствии с технологическим режимом (в зависимости от давления и времени воздействия).

По окончании прессования верхняя (1) и нижняя (2) крышки начинают движение в противоположном направлении за счет изменения направления электрического тока в верхней (5) и нижней (6) электромагнитных катушках, а также за счет обратного хода растянутых пружин, т.е. в результате возвращения верхней (9) и нижней (10) пружин в первоначальное состояние. Сырная головка остается на нижней крышке (2), затем опускается вниз до предельной точки. Малая часть (11) нижней крышки (2) поднимает сырную головку с помощью штоки (14), находящейся в электромагнитной катушке (13), и фиксирует ее в том положении, с которого она должна быть удалена.

После удаления сырной головки (5) малая часть (11) нижней крышки (2) опускается вниз до соединения с большей частью (12).

При использовании этих новых прессформ исключаются пневмоцилиндры и при производстве сыров отпадает надобность в компрессорных цехах и резервуарах для сжатого воздуха и т.д.

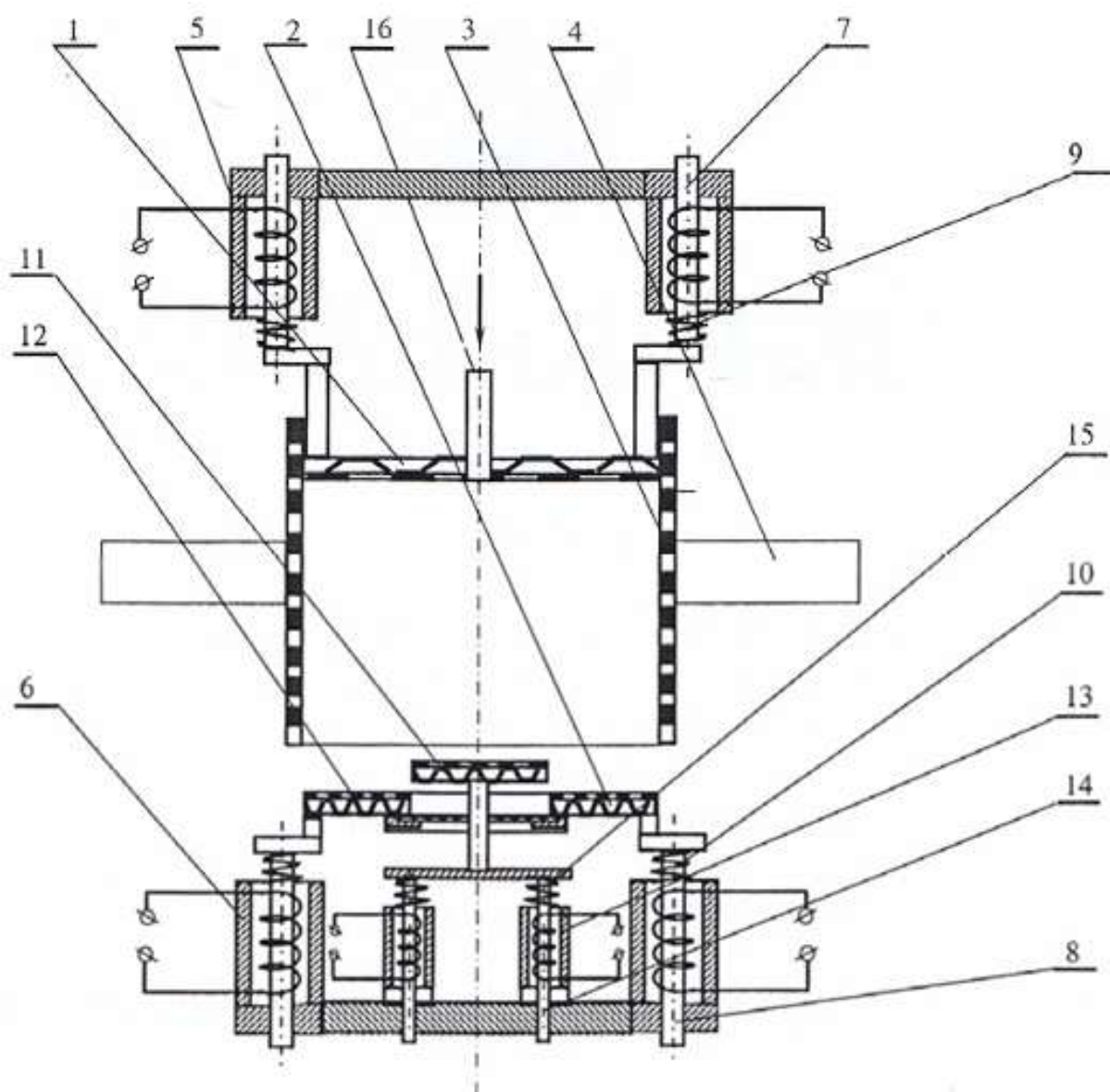


Рис. 5. Продольный разрез прессформы на основе электромагнитных сил

TƏHSİL SİSTEMLƏRİNDƏ SÜNİ İNTELLEKTİN TƏTBİQİNİN NƏZƏRİ ƏSASLARI

Musa Həsənlı

Magistrant, Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti

Xülasə

Məqalədə süni intellektin (Sİ) təhsil sistemində tətbiqi və onun tələbələrin öyrənmə nəticələrini yaxşılaşdırmaq, müəllimlərin iş yükünü azaltmaq və təhsil idarəçiliyində məlumat əsaslı qərar qəbul etməni gücləndirməkdə rolu təhlil edilir. Dünyada 2025-ci il məlumatlarına görə, təxminən 86% tələbə və müəllim Sİ alətlərindən müxtəlif formalarda istifadə edir, bunun 54%-i həftəlik olaraq AI alətlərindən gündəlik dərslərdə praktikasındakı yararlanır. Məqalədə fərdiləşdirilmiş öyrənmə, müəllim dəstəyi və inklüzivlik nəzəri yanaşmaları izah olunur; AI tələbənin güclü və zəif tərəflərini təhlil edərək fərdi öyrənmə planları yaradır, müəllimlərin qərar qəbul etmə prosesini optimallaşdırır və müxtəlif sosial və iqtisadi şəraitdə yaşayan tələbələr üçün bərabər öyrənmə imkanları təmin edir. Ölkələr üzrə nümunələrdə Estoniya, BƏƏ, Səudiyyə Ərəbistanı, Çin və Hindistan kimi dövlətlərdə AI proqramlarının tətbiqi göstərilir ki, bu da həm ibtidai, həm orta, həm də böyük miqyaslı tədris proqramlarını əhatə edir. Məqalədə həmçinin AI tətbiqinin gətirdiyi çətinliklər qeyd olunur: rəqəmsal paritetin olmaması, məlumat təhlükəsizliyi və etik problemlər, eləcə də bəzi hallarda müəllimlərin yalnız dəstək funksiyası ilə məhdudlaşması. Beləliklə, süni intellekt təhsildə yalnız texnologiya yenilik deyil, həm də fərdiləşdirilmiş öyrənmə, müəllim dəstəyi və inklüzivlik prinsiplərinin reallaşdırılmasını təmin edən çoxşaxəli və strateji bir vasitə kimi ön plana çıxır.

Açar sözlər: Süni intellekt, təhsil, fərdiləşdirilmiş öyrənmə, müəllim dəstəyi, inklüzivlik, təhlil, proqramlaşdırma.

GİRİŞ

Süni intellekt (Sİ) müasir təhsil sistemində sürətlə inkişaf edən və təhsil prosesini köklü şəkildə dəyişdirən bir texnologiyadır. 2025-ci il məlumatlarına görə, dünya üzrə təxminən 86% tələbə və müəllim Sİ alətlərindən müxtəlif formalarda istifadə edir. Bu göstərici süni intellektin yalnız texnologiya sektoru ilə məhdudlaşmadığını, həmçinin təhsil sahəsində də geniş tətbiq olunduğunu göstərir. Sİ-nin əsas üstünlüklərindən biri öyrənmə prosesini fərdiləşdirməkdir. Şagirdlərin fərdi qabiliyyətlərinə və öyrənmə sürətinə uyğun resurslar təqdim etməklə, Sİ həm təhsilin keyfiyyətini yüksəldir, həm də tələbələrin motivasiyasını artırır.

Müəllimlər üçün isə süni intellekt iş yükünü azaltmaqda və dərslərin planlaşdırılmasını optimallaşdırmaqda mühüm rol oynayır. Sİ alətləri dərslərin materiallarını hazırlamağa, qiymətləndirmələri avtomatlaşdırmağa və şagirdlərin nailiyyətlərini təhlil etməyə imkan verir. Bu isə müəllimlərə daha çox vaxt qazandırır və onların əsas vəzifəsi olan tədris prosesinə fokuslanmalarına şərait yaradır. Eyni zamanda, Sİ analitik məlumatlar əsasında qərar qəbul etməyə imkan verir; bu, təhsil siyasətçiləri və məktəb rəhbərləri üçün strategiyaların effektivliyini artırır.

Süni intellektin təhsildə tətbiqi yalnız inkişaf etmiş ölkələrdə deyil, həm də inkişaf edən dövlətlərdə geniş yayılmaqdadır. Məsələn, BƏƏ və Səudiyyə Ərəbistanı rəsmi kurikulumda AI fənnini tətbiq edərək, şagirdləri erkən yaşlardan etibarən süni intellektlə tanış edirlər. Çin və Hindistan isə ibtidai və orta məktəblərdə AI bacarıqlarının öyrədilməsini məcburi edir, beləliklə, tələbələr texnologiyanın təməl prinsiplərini erkən yaşda mənimsəyirlər. Digər tərəfdən, El Salvador və

Estoniya AI proqramları vasitəsilə fərdiləşdirilmiş öyrənmə imkanları yaradır, bu isə şagirdlərin öz tempinə uyğun bilik əldə etməsini təmin edir və təhsilin inkluzivliyini artırır.

NƏZƏRİ YANAŞMALAR

Fərdiləşdirilmiş öyrənmə modeli

Fərdiləşdirilmiş öyrənmə modeli hər bir tələbənin fərdi ehtiyaclarına uyğun təhsil almağa imkan verən müasir yanaşmadır. Bu modeldə süni intellekt tələbənin öyrənmə tempini, mövzu üzrə bilik səviyyəsini və maraq dairələrini təhlil edir. Beləliklə, tələbəyə yalnız onun ehtiyac duyduğu dəstək verilir, artıq və ya mövcud biliklərini təkrarlayan materiallarla vaxt itirilmir.

Tələbənin zəif sahələri müəyyən edildikdə, AI ona əlavə öyrənmə resursları təqdim edir. Məsələn, riyaziyyatda çətinlik çəkən tələbəyə interaktiv tapşırıqlar, əyani izahlı videolar və addım-addım izahatlarla dərs materialları verilir. Bu proses yalnız mövzunu mənimsəməyə kömək etmir, həm də tələbənin motivasiyasını artırır. Eyni zamanda, güclü tərəflərə malik sahələrdə daha mürəkkəb problemlər və yaradıcı tapşırıqlar təqdim olunur ki, tələbənin potensialı daha da inkişaf etsin.

Bu model Bloom-un Mastery Learning nəzəriyyəsi ilə sıx bağlıdır. Bloom-un fikrincə, hər tələbə öyrənməyi fərqli sürətlə mənimsəyir və məqsəd hər tələbənin bacarığı tam mənimsəməsi olmalıdır. Fərdiləşdirilmiş öyrənmə sistemi bunu AI vasitəsilə həyata keçirir: tələbə öz sürətinə uyğun öyrənir, zəif sahələrdə əlavə dəstək alır və nailiyyətləri real vaxtda izlənilir. Bu, həm öyrənməni effektiv edir, həm də hər tələbənin öz potensialını maksimum dərəcədə inkişaf etdirməsinə şərait yaradır.

AI-nin rolu yalnız planlama ilə məhdudlaşmır. O, tələbənin nəticələrini təhlil edir, geribildirim verir və tələbəyə öz inkişafını görməyə imkan yaradır. AI həmçinin oyun elementləri, bal sistemi və mükafatlarla tələbənin motivasiyasını artırır. Bu, öyrənmə prosesini daha maraqlı və cəlbedici edir. Fərdiləşdirilmiş öyrənmə modeli həm tələbələr, həm də müəllimlər üçün faydalıdır. Tələbələr öz sürətinə uyğun öyrəndikləri üçün dərstdə ləngimirlər və monotonluq yaşamırlar. Müəllimlər isə AI-nin köməyi ilə daha çox yaradıcı fəaliyyətlərə və fərdi dəstəyə fokuslana bilirlər. Bu yanaşma təhsilin keyfiyyətini artırır və hər bir tələbənin güclü tərəflərini maksimum inkişaf etdirməsinə imkan verir.

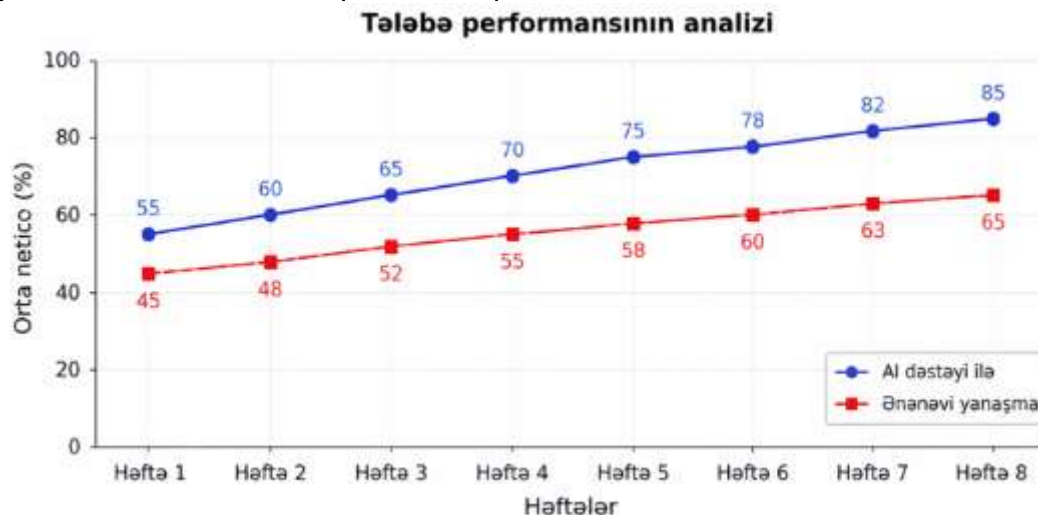
Müəllim dəstəyi və qərar qəbulətmə

Süni intellekt müəllimlərin işini sadələşdirən və onların qərar qəbulətmə qabiliyyətini gücləndirən güclü bir alət kimi çıxış edir. Ənənəvi təhsil sistemində müəllimlər dərs planlarını hazırlamaq, tələbələrin nəticələrini qiymətləndirmək və resursları idarə etmək kimi bir sıra mürəkkəb və vaxt aparan vəzifələrlə üzləşirlər. AI bu prosesləri avtomatlaşdıraraq müəllimlərə vaxt qazandırır və qərarların daha məlumatlı şəkildə verilməsinə şərait yaradır.

Qiymətləndirmə sahəsində AI tapşırıqların düzgün cavablarını avtomatik yoxlaya bilər, tələbələrin cavablarını analiz edərək statistik məlumatlar çıxara və performans qrafikləri hazırlaya bilər. Bu, müəllimə yalnız tələbələrin hansı mövzularda çətinlik çəkdiyini görmək imkanı vermir, eyni zamanda dərsin taktikasını və mövzu sırasını optimallaşdırmağa yardım edir. Məsələn, bir sinifdə müəyyən bölmədə çətinlik çəkən bir qrup tələbə varsa, müəllim AI-nin verdiyi məlumatlara əsaslanaraq həmin bölməyə əlavə vaxt ayıra və ya fərdi dəstək planı hazırlaya bilər.

Süni intellektin müəllim dəstəyində istifadəsi təhsil menecmenti nəzəriyyələri ilə dəstəklənir. Bu nəzəriyyələrə görə, effektiv qərar qəbulətmə informasiyaya əsaslanmalıdır və resursların optimal idarə olunması təhsil nəticələrini birbaşa artırır. AI yalnız məlumatları təqdim etmir, həm də fərdi strategiyalar təklif edir. Beləliklə, müəllim statistik təhlillərə baxmaqla yanaşı, AI-nin təklif etdiyi fərdiləşdirilmiş strategiyalardan istifadə edərək dərs planlarını və tədris metodlarını təkmilləşdirə bilər. Bu yanaşma müəllimlərin iş yükünü azaldır, öyrənmənin keyfiyyətini yüksəldir və tədris prosesini daha sistemli və məqsəduyğun edir.

Şəkil 2: Süni intellekt dəstəyi ilə tələbə performansının dinamik analizi



İnklüzivlik və bərabər imkanlar

Süni intellekt yalnız fərdiləşdirilmiş öyrənmə və müəllim dəstəyi üçün deyil, həm də təhsildə inklüzivliyin və bərabər imkanların təmin edilməsi üçün əhəmiyyətlidir. Müasir təhsil sistemində tələbələr müxtəlif sosial, iqtisadi və coğrafi şəraitdə yaşayırlar. AI texnologiyaları isə bütün tələbələr üçün eyni keyfiyyətli tədris resurslarına çıxış təmin edə bilər. Məsələn, uzaq bölgələrdə yaşayan və ya resursları məhdudd məktəblərdə təhsil alan tələbələr, AI vasitəsilə şəhər məktəblərindəki tələbələrlə eyni səviyyədə təhsil materiallarına və fərdiləşdirilmiş proqramlara çıxış əldə edirlər.

Bu yanaşma sosial konstruktivizm nəzəriyyəsi və inklüziv təhsil konsepsiyası ilə sıx bağlıdır. Sosial konstruktivizmə görə, öyrənmə sosial qarşılıqlı təsir vasitəsilə baş verir və hər tələbənin təhsil konteksti nəzərə alınmalıdır. Süni intellekt tələbənin öyrənmə mühitini, fərdi bacarıqlarını və öyrənmə üslubunu analiz edərək daha inklüziv və ədalətli öyrənmə mühiti yaradır.

AI xüsusi ehtiyacları olan tələbələr üçün də dəstək təmin edir. Məsələn, görmə və eşitmə məhdudiyyəti olan tələbələr üçün vizual və audio resurslar, adaptiv tapşırıqlar, interaktiv simulyasiyalar təqdim edilə bilər. Bu, yalnız xüsusi ehtiyacları olan tələbələr üçün deyil, eyni zamanda bütün sinif üçün öyrənməni əlçatan və daha effektiv edir. Təhsil prosesi bərabər imkanlar prinsipi üzərində qurulur, hər bir tələbə öz bacarıqlarını inkişaf etdirmək üçün uyğun şəraitə malik olur.

TƏHLİL

İstifadə səviyyəsi və yayılma

Süni intellektin (Sİ) təhsildə tətbiqi 2025-ci ildə yalnız texnoloji yenilik olmaqla kifayətlənmir, həm də təhsil sisteminin bütün səviyyələrində ölçülə bilən təsir göstərir. Bu təhlil üç əsas aspekt üzrə aparıla bilər: istifadə səviyyəsi, ölkələr üzrə nümunələr və fərdi-kollektiv nəticələr və qarşıya çıxan çətinliklər.

2025-ci ilin statistik məlumatlarına görə, dünya üzrə təxminən 54% tələbə həftəlik olaraq süni intellekt (AI) alətlərindən istifadə edir. Bu göstərici texnologiyanın artıq eksperimental mərhələdən çıxıb gündəlik təhsil prosesinə daxil olduğunu aydın göstərir. Əvvəlki illərdə AI yalnız laboratoriya və pilot layihələrdə sınırdırsa, indi onun tətbiqi həm əsas tədris proqramlarına, həm də əlavə dərs fəaliyyətlərinə inteqrasiya olunub. Bu dəyişiklik həm tələbələr, həm də müəllimlər üçün təhsilin keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir, çünki AI artıq yalnız maraqlı və əlavə bir vasitə deyil, təhsil prosesinin ayrılmaz bir hissəsinə çevrilib.

Süni intellektin təhsildə geniş yayılması bir neçə əsas amilə bağlıdır. Birincisi, AI alətləri tələbələrin fərdi bacarıqlarını və öyrənmə ehtiyaclarını dərinlən analiz edə bilər. Məsələn, AI tələbənin hansı mövzularda çətinlik çəkdiyini müəyyən edir, düzgün və səhv cavablarını təhlil edir və bu məlumatları əsas götürərək fərdiləşdirilmiş öyrənmə planı yaradır. Bu yanaşma tələbənin zəif tərəflərini gücləndirməyə və güclü sahələrdə inkişafını daha da sürətləndirməyə imkan verir.

İkincisi, AI alətləri interaktiv və vizual dərs materialları təqdim etmə imkanına malikdir. Tələbələr videolar, animasiyalar, simulyasiyalar və oyunlaşdırılmış tapşırıqlar vasitəsilə öyrənməyi daha maraqlı və effektiv şəkildə həyata keçirə bilirlər. Bu, xüsusilə mürəkkəb mövzuların anlaşılmasını asanlaşdırır, öyrənmə prosesini motivasiyaedici edir və tələbələrin aktiv iştirakını təmin edir.

Üçüncüsü, AI müəllimlər üçün də əvəzsiz dəstək rolunu oynayır. Müəllimlər dərs planlarını AI vasitəsilə daha sürətli və dəqiq hazırlaya, qiymətləndirmə prosesini avtomatlaşdırma və tələbələrin performansını real vaxtda təhlil edə bilirlər. AI sistemləri statistik qrafiklər, inkişaf hesabatları və fərdi tövsiyələr təqdim edərək müəllimlərin qərar qəbul etmə prosesini gücləndirir. Nəticədə müəllimlər daha çox yaradıcı və fərdi tədris yönümlü fəaliyyətlərə fokuslanma bilirlər.

Bu tendensiya göstərir ki, süni intellekt artıq təhsil sahəsində eksperimental bir vasitə olmamaqla yanaşı, həm də gündəlik dərs prosesinin mərkəzi komponenti kimi fəaliyyət göstərir. Texnologiya yalnız tələbələrin öyrənmə nəticələrini yaxşılaşdırmır, həm də müəllimlərin işini optimallaşdırır, tədris resurslarını daha səmərəli paylayır və təhsil sistemlərinin ümumi effektivliyini artırır.

Ölkələr üzrə süni intellektin təhsildə tətbiqi nümunələri

Süni intellektin təhsildə tətbiqi müxtəlif ölkələrdə fərqli strategiyalar və yanaşmalarla həyata keçirilir. Hər bir ölkə AI texnologiyalarını öz təhsil sisteminin məqsəd və ehtiyaclarına uyğun şəkildə integrasiya edir, tələbələrin bacarıqlarını artırmaq, müəllimləri dəstəkləmək və öyrənmə prosesini optimallaşdırmaq üçün müxtəlif proqramlar hazırlayır.

Estoniya AI texnologiyasını təhsildə erkən mərhələdən istifadə edən lider ölkələrdən biridir. Ölkənin "AI Leap" proqramı çərçivəsində 20 000 şagird fərdi öyrənmə alətlərindən yararlanır. Bu proqram tələbələrin bilik və bacarıqlarını təhlil edir və onların ehtiyaclarına uyğun fərdiləşdirilmiş tədris imkanları yaradır. Eyni zamanda, AI Estoniyanın rəqəmsal təhsil strategiyasının mərkəzində dayanır və ölkənin texnoloji yönümlü gələcək təhsil vizyonunu dəstəkləyir. Proqram şagirdlərə yalnız mövcud dərs materiallarını təqdim etmir, həm də interaktiv tapşırıqlar, simulyasiyalar və layihələr vasitəsilə öyrənməni maraqlı və motivasiyaedici edir.

Birləşmiş Ərəb Əmirlikləri (BƏƏ) isə süni intellekti rəsmi kurikulumda fənn kimi tətbiq etməklə fərqlənir. Burada tələbələr erkən yaşlardan AI prinsipləri və texnologiyaları ilə tanış olur. Bu yanaşma onların texnoloji biliklərini sistemli şəkildə inkişaf etdirməyə, proqramlaşdırma, data analizi və problem həll etmə bacarıqlarını erkən yaşlarda formalaşdırmağa xidmət edir. AI dərsləri şagirdlərin marağını artırır, həmçinin onları gələcəkdə rəqəmsal iqtisadiyyat və texnoloji sahələrə hazırlayır.

Səudiyyə Ərəbistanı isə böyük miqyaslı tətbiqlə seçilir. Ölkədə 6 milyon tələbəni əhatə edən AI tədris proqramı həyata keçirilir. Bu layihə həm iri miqyaslı tətbiqin nümunəsidir, həm də təhsildə inklüzivliyi təmin edir. AI sistemləri tələbələrin fərdi ehtiyaclarını nəzərə alaraq öyrənmə prosesini fərdiləşdirir, müəllimlərə dərs planlarını optimallaşdırmaqda yardım edir və bütün bölgələrdə bərabər təhsil imkanları yaradır.

Çin isə AI-nin erkən yaşlarda tətbiqinə önəm verir. Ölkədə ibtidai məktəblərdə şagirdlər üçün illik minimum 8 saat AI təhsili tələb olunur. Məqsəd erkən yaşlardan texnoloji bacarıqların inkişafını təmin etmək və gələcəkdə rəqəmsal iqtisadiyyatın tələblərinə uyğun hazırlanmış insan kapitalını yetişdirməkdir. AI dərsləri burada yalnız texnologiya biliklərini öyrətmir, həm də problem həll etmə, analitik düşüncə və yaradıcı düşüncə qabiliyyətlərinin inkişafına yönəlir.

Hindistan – Haryana əyaləti AI integrasiyasını proqramlaşdırma və data emalı bacarıqlarının tədrisi ilə birləşdirir. Burada məqsəd tələbələrə texnoloji biliklərə praktiki çıxış imkanı yaratmaqdır. AI proqramları həm fərdi bacarıqların inkişafına dəstək verir, həm də ölkənin rəqəmsal ekosisteminin

inkışafına töhfə verir. Bu yanaşma tələbələrə erkən yaşlardan texnologiya ilə işləmək bacarığı qazandırır və onların gələcəkdə innovativ sahələrdə fəaliyyət göstərməsi üçün zəmin hazırlayır. Azərbaycan da süni intellektin təhsil sahəsində tətbiqinə maraq göstərən ölkələrdəndir. Son illərdə AI texnologiyaları bəzi pilot layihələrdə məktəblərdə tətbiq olunur. Məsələn, bəzi şəhər və regional məktəblərdə fərdiləşdirilmiş öyrənmə alətləri və interaktiv platformalar test edilir. AI tələbələrin fərdi bacarıqlarını qiymətləndirir, zəif sahələrdə əlavə tapşırıqlar təqdim edir və müəllimlərə dərs planlarını optimallaşdırmaq üçün analitik məlumatlar təqdim edir. Həmçinin, AI vasitəsilə uzaq bölgələrdəki məktəblər də yüksək keyfiyyətli tədris resurslarına çıxış əldə edir, beləliklə təhsildə inklüzivlik və bərabər imkanlar prinsipləri tətbiq olunur.

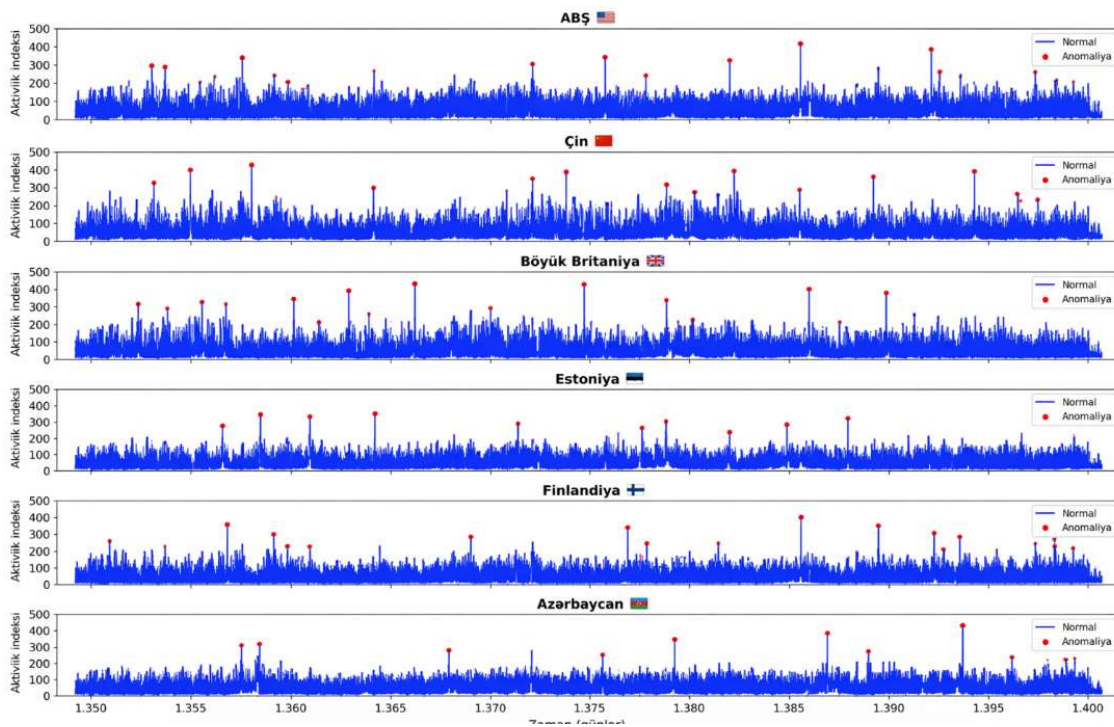
Bu nümunələr göstərir ki, süni intellektin təhsildə tətbiqi yalnız inkışaf etmiş ölkələrə xas deyil, inkışaf edən dövlətlərdə də böyük miqyasda həyata keçirilir. Hər bir ölkə AI-dən istifadə edərək öz təhsil strategiyasına uyğun fərqli yanaşmalar tətbiq edir və bu texnologiya təhsilin keyfiyyətini artırmaq, müəllimləri dəstəkləmək və tələbələr üçün bərabər imkanlar yaratmaq üçün əsas vasitəyə çevrilir.

Fərdi və kollektiv nəticələr

Süni intellektin təhsildə tətbiqi tələbələr üçün fərdi öyrənmə nəticələrini əhəmiyyətli dərəcədə yüksəldir. AI alətləri tələbənin zəif və güclü tərəflərini təhlil edir, hansı mövzularda əlavə dəstəyə ehtiyac olduğunu müəyyənləşdirir və buna uyğun fərdiləşdirilmiş öyrənmə planları təqdim edir. Bu yanaşma tələbənin öz sürətinə uyğun öyrənməsini təmin edir və öyrənmə motivasiyasını artırır. Məsələn, bir tələbə riyaziyyatın müəyyən bölmələrində çətinlik çəkirsə, AI ona əlavə interaktiv tapşırıqlar və izahlı videolar təqdim edir; eyni zamanda, güclü tərəflərində daha mürəkkəb problemlər verərək onların inkışafını davam etdirir. Nəticədə, tələbələr yalnız bilik əldə etmir, həm də analitik düşüncə, problem həll etmə və yaradıcı bacarıqlarını inkışaf etdirirlər.

Kollektiv səviyyədə isə AI bütün sinif və məktəb üçün öyrənmə nəticələrini yaxşılaşdırır. Müəllimlər AI vasitəsilə sinif üzrə ümumi performansını izləyə, qrup təhlilləri apararaq hansı mövzularda əlavə tədris ehtiyacı olduğunu müəyyənləşdirə bilirlər. Bu, tədris prosesini daha məqsəduyğun edir, resursların optimal paylanmasını təmin edir və bütün tələbələrin bacarıqlarının balanslı inkışafına kömək edir. Eyni zamanda, təhsil idarəçiliyi üçün AI analitik məlumatlar təqdim edir ki, bu da qərar qəbul etmədə məlumat əsaslı yanaşmanı gücləndirir. Məktəb rəhbərləri və təhsil idarələri bu məlumatlara əsaslanaraq dərs cədvəllərini, müəllim resurslarını və əlavə dəstək proqramlarını optimallaşdırı bilirlər.

Şəkil 1: Süni intellektin tətbiqi ilə təhsil sistemlərində aktivliyin və anomaliyaların analizi (ölkələr üzrə)



Buna baxmayaraq, süni intellektin tətbiqi bir sıra çətinlikləri və riskləri də ortaya çıxarır. İlk növbədə, rəqəmsal paritetin olmaması ciddi problemdir. Bəzi bölgələrdə tələbələr və məktəblər AI texnologiyalarına çıxış imkanından məhrumdur. Bu, öyrənmə imkanlarında bərabərsizlik yaradır və təhsildə inklüzivlik prinsiplərinin tam həyata keçməsinə mane olur. Uzaq və resursları məhdud məktəblərdə AI tətbiqinə çıxış olmadığı halda, tələbələr texnoloji biliklərdən geri qalır.

İkinci mühüm məsələ məlumat təhlükəsizliyi və etik prinsiplərdir. AI sistemləri tələbələrin şəxsi məlumatlarını toplayır və analiz edir. Bu məlumatların qorunması, gizliliyin təmin olunması və etik qaydalara uyğun istifadəsi vacibdir. Məsələn, tələbənin fərdi öyrənmə göstəriciləri yalnız müəllim və təhsil sistemi üçün görünməli, üçüncü tərəflərlə paylaşılmamalıdır.

Üçüncü çətinlik müəllimin rolu ilə bağlıdır. Bəzi hallarda AI müəllimlərin funksiyasını yalnız dəstək və məlumat təqdim edən alətə çevirə bilər. Bu isə müəllimin pedaqoji yaradıcılığını, interaktiv dərslər metodlarını və tələbələrlə birbaşa ünsiyyətini məhdudlaşdırır. Əgər AI dərslərin planlaşdırılmasını və qiymətləndirməni əsasən idarə edərsə, müəllim yalnız müşahidəçi rolunda qalır və tədrisin humanist və sosial tərəfi zəifləyə bilər.

Bundan əlavə, AI sistemlərinin düzgün tətbiqi üçün müəllimlərin texnoloji bacarıqlarının artırılması da tələb olunur. Əks halda, AI alətləri düzgün istifadə olunmayacaq və öyrənmə nəticələrinə mənfi təsir göstərə bilər.

NƏTİCƏ

2025-ci ilin məlumatlarına əsasən, süni intellekt təhsil sistemində aşağıdakı əsas dəyişiklikləri reallaşdırmışdır:

- AI artıq təhsildə yalnız texnoloji yenilik deyil, fundamental transformasiya vasitəsinə çevrilmiş və gündəlik dərslərinin əsas komponenti kimi istifadə olunur.
- Fərdiləşdirilmiş öyrənmə sayəsində tələbələrin bilik və bacarıqları təhlil edilir, zəif sahələrdə əlavə dəstək, güclü sahələrdə isə daha mürəkkəb tapşırıqlar təqdim olunur.
- Tələbələrin öyrənmə tempi nəzərə alınaraq fərdi dərslər planları hazırlanır, bu da motivasiyanı artırır, analitik düşüncə və yaradıcılığı inkişaf etdirir.

- Müəllimlər dərslər planlaması, qiymətləndirmə və performans təhlili sahəsində AI dəstəyindən yararlanır; bu onların iş yükünü azaldır və pedaqoji fəaliyyətlərə daha çox diqqət yetirməyə imkan yaradır.
- Estoniya, BƏƏ, Səudiyyə Ərəbistanı, Çin, Hindistan və Azərbaycan kimi ölkələr AI-ni təhsilə uğurla integrasiya edərək keyfiyyəti və əlçatanlığı artırır.
- Rəqəmsal bərabərsizlik, məlumat təhlükəsizliyi, etik prinsiplər və müəllim hazırlığı kimi çətinliklər həll olunmadan texnologiyanın tam potensialına çatmaq mümkün deyil.
- AI-nin strateji tətbiqi təhsilin keyfiyyətini yüksəldir, inklüzivliyi təmin edir və hər bir tələbənin fərdi potensialını maksimum dərəcədə ortaya çıxarmağa xidmət edir.

İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT

1. Кабакович, Галина А.; Тарасова, Елена В. 2022. «Искусственный интеллект в системе образования: возможности и риски». Высшее образование в России, №31(4), стр. 112–126.
2. Chen, Lijia; Chen, Ping; Lin, Zhijian. 2020. "Artificial Intelligence in Education: A Review." IEEE Access, Vol. 8, pp. 75264–75278.
3. Holmes, Wayne (Ed.). 2023. The Ethical and Social Implications of AI in Education. London: Routledge.
4. Holmes, Wayne; Bialik, Maya; Fadel, Charles. 2019. Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. Boston: Center for Curriculum Redesign.
5. Holmes, Wayne; Porayska-Pomsta, Kaśka; Holstein, Kenneth. 2022. "Ethics of AI in Education: Towards a Community-Wide Framework." International Journal of Artificial Intelligence in Education, Vol. 32, pp. 504–526.
6. Luckin, Rose. 2020. Machine Learning and Human Intelligence: The Future of Education for the 21st Century. London: UCL Institute of Education Press.
7. OECD. 2021. Digital Education Outlook 2021: Pushing the Frontiers with AI, Blockchain and Robots. Paris: OECD Publishing.
8. UNESCO. 2021. AI and Education: Guidance for Policy-makers. Paris: UNESCO Publishing.
9. Zawacki-Richter, Olaf; Marín, Victoria I.; Bond, Melissa; Gouverneur, Franziska. 2019. "Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education." International Journal of Educational Technology in Higher Education, 16(39).

Musa Həsənli

Master's Student, Azerbaijan State University of Economics

THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION SYSTEMS

Abstract

The article analyzes the application of artificial intelligence (AI) in the education system and its role in improving students' learning outcomes, reducing teachers' workload, and strengthening data-driven decision-making in educational management. According to 2025 data, approximately 86% of students and teachers worldwide use AI tools in various forms, with 54% using them weekly in daily classroom practice. The article explains theoretical approaches to personalized learning, teacher support, and inclusivity. AI analyzes students' strengths and weaknesses to create individualized learning plans, optimizes teachers' decision-making processes, and provides equal learning opportunities for students living in different social and economic conditions.

Country examples demonstrate the implementation of AI programs in Estonia, the UAE, Saudi Arabia, China, and India, covering primary, secondary, and large-scale educational programs. The article also highlights challenges associated with AI implementation, including digital inequality, data security and ethical issues, as well as, in some cases, the limitation of the teacher's role to a supportive function only.

Thus, artificial intelligence in education is not merely a technological innovation but a multifaceted and strategic tool that enables the realization of personalized learning, teacher support, and inclusivity principles.

Keywords: Artificial intelligence, education, personalized learning, teacher support, inclusivity, analytics, programming.

М.Б. Гасанли

Магистрант, Азербайджанский государственный экономический университет

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМАХ ОБРАЗОВАНИЯ

Резюме

В статье анализируется применение искусственного интеллекта (ИИ) в системе образования и его роль в повышении учебных результатов учащихся, снижении нагрузки на преподавателей и усилении принятия решений на основе данных в управлении образованием. По данным 2025 года, около 86% студентов и преподавателей во всём мире используют инструменты ИИ в различных формах, из них 54% применяют их еженедельно в повседневной учебной практике. В статье раскрываются теоретические подходы к персонализированному обучению, поддержке преподавателей и инклюзивности. ИИ анализирует сильные и слабые стороны обучающихся, формирует индивидуальные образовательные планы, оптимизирует процесс принятия решений преподавателями и обеспечивает равные образовательные возможности для студентов, проживающих в различных социальных и экономических условиях.

Примеры различных стран демонстрируют внедрение программ ИИ в Эстонии, ОАЭ, Саудовской Аравии, Китае и Индии, что охватывает начальное, среднее и масштабное образовательное обучение. В статье также рассматриваются трудности внедрения ИИ: цифровое неравенство, проблемы безопасности данных и этические вопросы, а также в отдельных случаях ограничение роли преподавателя лишь поддерживающей функцией. Таким образом, искусственный интеллект в образовании является не только технологической инновацией, но и многоаспектным стратегическим инструментом, обеспечивающим реализацию принципов персонализированного обучения, поддержки преподавателей и инклюзивности.

Ключевые слова: Искусственный интеллект, образование, персонализированное обучение, поддержка преподавателя, инклюзивность, анализ, программирование.

Medical Sciences

КАЧЕСТВО ЖИЗНИ У ДЕТЕЙ С НИЗКОРОСЛОСТЬЮ

Болатбек Қасиет Болатбекқызы

НАО КазНМУ им. С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан

Кудайбергенова Айжан Жаканбаевна

НАО КазНМУ им. С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан

Аимбетова Гульшара Ергазыевна

НАО КазНМУ им. С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан

Аннотация

Низкорослость у детей традиционно рассматривается как медицинская проблема, связанная с нарушением роста и развития. Однако в клинической практике становится очевидным, что последствия данного состояния выходят за пределы соматического статуса и затрагивают психоэмоциональную и социальную сферу. В данной работе рассмотрены современные представления о качестве жизни детей с низкорослостью, факторы, влияющие на его формирование, а также подходы к оценке. Показано, что наибольшие изменения касаются психологического и социального функционирования, тогда как физический компонент может оставаться относительно сохранным. Подчеркивается необходимость комплексного ведения таких пациентов.

Ключевые слова: низкорослость, дети, качество жизни, дефицит гормона роста, QoLISY.

Введение

В педиатрической эндокринологии низкорослость определяется как рост ниже -2 стандартных отклонений от средневозрастных показателей. В реальной практике это гетерогенная группа пациентов, включающая детей с дефицитом гормона роста, идиопатической низкорослостью, синдромальными состояниями и хроническими заболеваниями.

Несмотря на то что основное внимание традиционно уделяется диагностике и гормональной терапии, в последние годы всё большее значение приобретает оценка качества жизни. Это связано с тем, что рост как изолированный показатель не отражает в полной мере адаптацию ребенка в обществе и его субъективное восприятие собственного состояния [1]

В клинической практике нередко наблюдается, что при умеренном снижении роста ребенок может испытывать выраженный психологический дискомфорт, тогда как при более значительном отклонении подобных проблем может не быть. Это подтверждает необходимость индивидуального подхода и рассмотрения качества жизни как самостоятельного клинического параметра [2].

Влияние низкорослости на качество жизни

Физическое функционирование у детей с низкорослостью является переменным показателем. У пациентов с идиопатической низкорослостью оно часто сопоставимо с уровнем здоровых сверстников. В то же время при дефиците гормона роста или наличии сопутствующих заболеваний могут отмечаться повышенная утомляемость, снижение

выносливости и ограничение физической активности [1]. При этом физический дискомфорт редко является ведущей причиной обращения.

Наиболее выраженные изменения касаются психоэмоциональной сферы. Дети с низкорослостью чаще демонстрируют тревожность, неуверенность в себе и повышенную чувствительность к оценке окружающих. Особенно это проявляется в школьном возрасте и в период пубертата, когда внешний вид начинает играть ключевую роль в формировании самооценки [2]. У части пациентов формируется ощущение несоответствия своему возрасту, что может приводить к внутреннему напряжению.

Социальная адаптация является одним из наиболее уязвимых компонентов качества жизни. Дети могут сталкиваться с трудностями во взаимодействии со сверстниками, включая элементы буллинга, недооценку или исключение из групповой активности [3]. В результате возможно формирование социальной замкнутости и снижение уверенности в себе. В то же время благоприятная семейная и школьная среда значительно снижает выраженность этих проблем.

Школьное функционирование страдает преимущественно опосредованно. Прямой связи между низкорослостью и когнитивными нарушениями, как правило, не выявляется. Однако эмоциональное напряжение и социальные трудности могут влиять на концентрацию внимания и вовлеченность в учебный процесс [1].

Факторы, определяющие качество жизни

Качество жизни у детей с низкорослостью формируется под влиянием ряда факторов. Существенное значение имеет причина низкорослости, при этом пациенты с хроническими заболеваниями демонстрируют более выраженное снижение показателей. Важную роль играет возраст, поскольку в подростковом периоде повышается чувствительность к внешности и социальной оценке.

Степень отклонения роста не всегда прямо связана с уровнем качества жизни, что указывает на значимость субъективного восприятия [3]. Большое влияние оказывают психологические особенности ребенка, уровень поддержки со стороны семьи и социальное окружение. Также обсуждается влияние терапии гормоном роста, которая в ряде случаев сопровождается улучшением показателей качества жизни [4].

Методы оценки качества жизни

Для оценки качества жизни применяются как универсальные, так и специализированные опросники. К универсальным относятся PedsQL и KIDSCREEN, позволяющие оценить общее состояние ребенка [1].

Наиболее информативным считается специализированный опросник QoLISSY, разработанный для детей с низкорослостью. Он включает детскую и родительскую версии и позволяет оценить специфические аспекты, связанные с восприятием роста, социальными взаимодействиями и эмоциональным состоянием [3].

Обсуждение

Современные исследования демонстрируют неоднозначные результаты в отношении влияния низкорослости на качество жизни. Это связано с различиями в дизайне исследований, неоднородностью выборок и применяемыми инструментами оценки [2].

Важно учитывать, что не у всех детей с низкорослостью наблюдается снижение качества жизни. В ряде случаев пациенты демонстрируют хорошую адаптацию и не испытывают выраженного психологического дискомфорта.

Таким образом, при ведении таких пациентов необходимо ориентироваться не только на показатели роста, но и на субъективное состояние ребенка. Биопсихосоциальный подход позволяет более полно оценить потребности пациента и повысить эффективность медицинской помощи.

Заключение

Низкорослость у детей может оказывать влияние на качество жизни, преимущественно в психоэмоциональной и социальной сферах. При этом выраженность изменений зависит от множества факторов и не всегда коррелирует со степенью снижения роста.

Оценка качества жизни должна рассматриваться как важный компонент клинической практики. Комплексный подход с учетом медицинских и психологических аспектов позволяет улучшить адаптацию детей и повысить эффективность лечения.

Список литературы

1. Backeljauw P., Cappa M., Kiess W. et al. Impact of short stature on quality of life: a systematic literature review. *Growth Hormone & IGF Research*. 2021.
2. Quitmann J., Bullinger M. Quality of life of short-statured children and adolescents. *European Journal of Pediatrics*. 2013.
3. Quitmann J., Rohenkohl A., Sommer R. et al. Development and validation of the QoLISSY questionnaire. *Health and Quality of Life Outcomes*. 2015.
4. Xu X., Wen J., Peng D.X., Liu Y. Quality of life in children with short stature assessed by PedsQL. 2013.
5. Bullinger M. Psychological health and quality of life in children with short stature. *European Psychiatry*. 2013.
6. Santos S., et al. The role of beliefs and social support in quality of life of short stature youth. 2022.
7. Adedeji A., Witt S., Innig F. et al. Health-related quality of life measures in pediatric short stature. *Endocrine*. 2024.

Совершенствование организации медицинской помощи и её доступности для людей, живущих с ВИЧ

Бактыбаева Балжан Сержановна

Магистрант 1 года обучения, Казахстанский медицинский университет «ВШОЗ», Казахстан, город Алматы

Ауезова Ардак Мухамеджановна

PhD, Казахстанский медицинский университет «ВШОЗ», Казахстан, город Алматы

Введение

Инфекция, вызванная вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ), представляет собой хроническое прогрессирующее заболевание, оказывающее значительное влияние не только на состояние здоровья отдельных пациентов, но и на систему здравоохранения в целом. По данным международных организаций, несмотря на внедрение антиретровирусной терапии (АРТ), ВИЧ остаётся одной из ведущих причин преждевременной смертности среди населения трудоспособного возраста.

В условиях Республики Казахстан достигнуты определённые успехи в борьбе с ВИЧ-инфекцией: расширена доступность тестирования, обеспечено бесплатное предоставление АРТ, внедрены программы профилактики. Однако сохраняются проблемы, связанные с организацией медицинской помощи, её доступностью, приверженностью лечению и социальной стигматизацией пациентов.

Современная концепция оказания помощи ЛЖВ основана на принципах пациент-ориентированного подхода, непрерывности медицинского наблюдения, межсекторального взаимодействия и интеграции медицинских и социальных услуг. Это требует совершенствования организационных механизмов оказания помощи и разработки эффективных управленческих решений.

Ключевые слова: ВИЧ-инфекция; люди, живущие с ВИЧ; организация медицинской помощи; доступность медицинской помощи; антиретровирусная терапия; общественное здравоохранение; качество медицинской помощи; интеграция медицинских услуг; телемедицина; цифровизация здравоохранения.

Результаты и обсуждение. Система оказания медицинской помощи людям, живущим с ВИЧ (ЛЖВ), в Республике Казахстан формировалась в рамках вертикально интегрированной модели, ориентированной на эпидемиологический контроль инфекционных заболеваний. Ключевым элементом данной системы являются специализированные центры СПИД, на которые возложены функции диагностики, лечения, диспансерного наблюдения, профилактики и мониторинга ВИЧ-инфекции.

С одной стороны, такая модель обеспечивает высокую степень контроля за эпидемиологической ситуацией, стандартизацию медицинской помощи и концентрацию высококвалифицированных кадров. Однако в современных условиях, когда ВИЧ рассматривается как хроническое контролируемое заболевание, требующее длительного наблюдения, данная модель демонстрирует ряд ограничений.

Прежде всего, выявлена структурная несбалансированность системы, выражающаяся в чрезмерной концентрации ресурсов на специализированном уровне при недостаточном развитии первичного звена. Это приводит к перегрузке центров СПИД и формированию узких мест в системе оказания помощи[1-2].

Отмечается ограниченная интеграция с системой первичной медико-санитарной помощи (ПМСП). В большинстве случаев врачи общей практики не участвуют в ведении пациентов с ВИЧ, что приводит к:

- снижению доступности медицинской помощи;
- отсутствию непрерывного наблюдения;
- позднему выявлению сопутствующих заболеваний;
- недостаточной профилактической работе.

Важной проблемой является также разобщённость медицинских и социальных служб, что снижает эффективность межсекторального взаимодействия. Пациенты вынуждены самостоятельно решать вопросы социальной поддержки, психологической помощи и реабилитации, что увеличивает риск потери контакта с системой здравоохранения.

Дополнительно установлено, что существующая модель недостаточно учитывает индивидуальные потребности пациентов, включая психоэмоциональное состояние, социальный статус и уровень информированности. Это свидетельствует о недостаточном внедрении принципов пациент-ориентированного подхода.

Выявленные недостатки свидетельствуют о необходимости трансформации существующей модели в сторону интегрированной, децентрализованной и пациент-ориентированной системы оказания медицинской помощи.

Доступность медицинской помощи является одной из ключевых характеристик эффективности системы здравоохранения и отражает не только формальную возможность получения услуг, но и реальную способность пациента своевременно воспользоваться необходимой медицинской помощью. В отношении людей, живущих с ВИЧ, доступность приобретает особое значение, поскольку лечение носит пожизненный характер и требует регулярного контакта с системой здравоохранения, высокой приверженности терапии и непрерывного медицинского сопровождения. Проведённый анализ показал, что доступность медицинской помощи в Республике Казахстан носит неоднородный характер и определяется совокупностью взаимосвязанных факторов, среди которых наибольшее значение имеют географические, экономические, социальные и организационные аспекты[3-4].

Географический фактор остаётся одним из наиболее значимых ограничителей доступа к медицинской помощи. Существующая инфраструктура здравоохранения характеризуется выраженной концентрацией специализированных услуг в крупных городах, где сосредоточены центры СПИД, лабораторные мощности, узкие специалисты и программы сопровождения пациентов. В то же время в сельских и отдалённых регионах наблюдается ограниченность медицинских ресурсов, что проявляется в недостаточном количестве медицинских организаций, дефиците квалифицированных специалистов и слабой развитости диагностической базы. Пациенты, проживающие в таких регионах, вынуждены преодолевать значительные расстояния для получения специализированной помощи, что требует дополнительных временных и финансовых затрат. Это, в свою очередь, приводит к снижению регулярности диспансерного наблюдения, нарушению режима приёма антиретровирусной терапии и, как следствие, ухудшению клинических исходов. Таким образом, формируется устойчивое территориальное неравенство, которое отражается на показателях заболеваемости, инвалидизации и смертности.

Экономическая доступность медицинской помощи, несмотря на декларируемую бесплатность лечения ВИЧ-инфекции, также остаётся проблемной. Пациенты сталкиваются

с необходимостью покрытия значительных косвенных расходов, включающих транспортные затраты, особенно при необходимости регулярных поездок в областные центры, потерю дохода в связи с временной нетрудоспособностью или отсутствием на рабочем месте, расходы на дополнительные диагностические процедуры, а также приобретение сопутствующих лекарственных средств для лечения коморбидных состояний. Для социально уязвимых групп населения, включая безработных, лиц с низким уровнем дохода и мигрантов, данные расходы становятся критическим барьером, ограничивающим доступ к регулярному лечению. В результате формируется порочный круг, при котором экономические трудности способствуют снижению приверженности лечению, что, в свою очередь, приводит к ухудшению состояния здоровья и увеличению потребности в более дорогостоящей медицинской помощи.

Социальная доступность медицинской помощи определяется уровнем общественного восприятия ВИЧ-инфекции и отношением к людям[5-6], живущим с ВИЧ. Несмотря на проводимые профилактические и информационные мероприятия, уровень стигматизации остаётся высоким. Пациенты часто сталкиваются с дискриминацией как в обществе, так и в медицинских учреждениях, что формирует недоверие к системе здравоохранения. Существенную роль играет так называемая внутренняя стигма, при которой пациенты сами ограничивают своё взаимодействие с медицинскими организациями из-за страха осуждения, утраты социального статуса или раскрытия диагноза. Это приводит к позднему обращению за медицинской помощью, отказу от регулярного наблюдения и снижению приверженности антиретровирусной терапии. В конечном итоге социальные барьеры оказывают прямое влияние на эпидемиологическую ситуацию, способствуя дальнейшему распространению инфекции.

Организационная доступность медицинской помощи характеризуется структурой и эффективностью функционирования системы здравоохранения. В ходе исследования выявлено, что существующая система характеризуется сложной и многоэтапной маршрутизацией пациентов, требующей прохождения нескольких уровней медицинской помощи и оформления значительного объёма документации. Это увеличивает временные затраты и снижает удовлетворённость пациентов. Дополнительными проблемами являются длительное ожидание консультаций, ограниченная гибкость графиков приёма, недостаточная координация между различными уровнями оказания помощи и отсутствие единых информационных систем. Низкий уровень информированности пациентов о доступных услугах и порядке их получения также снижает эффективность использования имеющихся ресурсов. Все перечисленные факторы указывают на необходимость оптимизации организационных процессов и внедрения современных управленческих подходов, ориентированных на потребности пациента.

Комплексный анализ позволил выделить системные барьеры, препятствующие эффективному функционированию системы оказания медицинской помощи людям, живущим с ВИЧ. Социальные барьеры включают высокий уровень стигматизации, дискриминацию и недостаточную информированность населения. Организационные барьеры проявляются в неэффективной структуре системы здравоохранения, отсутствии интеграции между различными уровнями помощи и сложной маршрутизации пациентов. Кадровые проблемы связаны с дефицитом специалистов, недостаточной подготовкой медицинских работников и отсутствием навыков междисциплинарного взаимодействия. Поведенческие барьеры выражаются в низкой приверженности лечению, недоверии к медицинским учреждениям и страхе обращения за помощью. Инфраструктурные ограничения обусловлены недостаточным уровнем цифровизации и ограниченным использованием современных информационных технологий.

В целях повышения доступности и эффективности медицинской помощи людям, живущим с ВИЧ, необходима реализация комплекса организационно-управленческих мероприятий. Одним из ключевых направлений является интеграция услуг ВИЧ в систему первичной медико-санитарной помощи. Децентрализация оказания медицинской помощи позволит приблизить услуги к пациенту, обеспечить непрерывность наблюдения, повысить доступность диагностики и лечения, а также снизить нагрузку на специализированные центры. Вовлечение врачей общей практики в процесс ведения пациентов с ВИЧ создаст условия для раннего выявления сопутствующих заболеваний и проведения профилактических мероприятий.

Важным направлением является развитие телемедицины и цифровых технологий. Использование дистанционных консультаций, электронных медицинских карт и систем мониторинга позволит повысить доступность специализированной помощи, особенно для жителей отдалённых регионов, сократить необходимость очных визитов и улучшить контроль за соблюдением режима лечения. Цифровизация процессов также создаёт условия для повышения прозрачности системы и более эффективного управления ресурсами.

Снижение стигматизации требует комплексного подхода, включающего образовательные программы для медицинских работников, направленные на формирование толерантного отношения к пациентам, а также информационные кампании среди населения. Формирование недискриминационной среды является важным условием повышения обращаемости пациентов и их доверия к системе здравоохранения.

Оптимизация маршрутизации пациентов должна осуществляться на основе принципов процессного управления. Внедрение системы «единого окна», сокращение количества этапов получения медицинской помощи и создание прозрачных алгоритмов взаимодействия между различными уровнями системы позволят повысить её эффективность и удобство для пациентов.

Не менее важным является развитие кадрового потенциала системы здравоохранения. Внедрение программ непрерывного медицинского образования, направленных на повышение квалификации специалистов в области ВИЧ-инфекции, коммуникации с пациентами и междисциплинарного взаимодействия, позволит повысить качество оказываемой помощи.

Комплексное ведение пациентов требует развития мультидисциплинарного подхода с участием врачей различных специальностей, психологов, социальных работников и консультантов по приверженности лечению. Такой подход обеспечивает учёт не только медицинских, но и социальных и психологических аспектов заболевания, что способствует улучшению результатов лечения.

Заключение. Система оказания медицинской помощи людям, живущим с ВИЧ, в Республике Казахстан находится на этапе активной трансформации. Несмотря на достигнутые успехи, сохраняется ряд системных ограничений, связанных с доступностью, организацией и социальным восприятием заболевания. Реализация предложенных мер позволит сформировать современную, интегрированную и пациент-ориентированную систему здравоохранения, способную эффективно отвечать на вызовы, связанные с ВИЧ-инфекцией, улучшить качество жизни пациентов и снизить распространённость заболевания.

Источник литературы:

1. Mustafa A, Dzissyuk N, Bayserkin B, Begimbetova D, Nugmanova Z, Ali S. The Need for the Optimization of HIV Antiretroviral Therapy in Kazakhstan. *Viruses*. 2025 May 10;17(5):690. doi: 10.3390/v17050690. PMID: 40431701; PMCID: PMC12115467.
2. Mussina K, Kadyrov S, Kashkynbayev A, Yerdessov S, Zhakhina G, Sakko Y, Zollanvari A, Gaipov A. Prevalence of HIV in Kazakhstan 2010-2020 and Its Forecasting for the Next 10 Years. *HIV AIDS (Auckl)*. 2023 Jul 4;15:387-397. doi: 10.2147/HIV.S413876. PMID: 37426767; PMCID: PMC10329475.
3. Dos Santos FC, Apiruknapanond P, Wang T, Dawson-Rose C, Valencia-Molina CP, Horvat Davey C, Báez SS, Iwu E, Sabone M, Makhado L, Phillips JC, Corless IB, Shaibu S, Chen WT, Santa Maria D, Cuca YP, Schnall R. Global Measures of HIV Care Accessibility Across Urban, Suburban, and Rural Areas. *J Urban Health*. 2025 Dec;102(6):1208-1222. doi: 10.1007/s11524-025-01021-7. PMID: 41359101; PMCID: PMC12738474.
4. Ali, G.S., Ogwuche, A.O., Entonu, A.I. et al. Stigma, discrimination and associated determinants among people living with HIV/AIDS accessing Anti-Retroviral Therapy in Ikeja, Lagos state, Nigeria. *Sci Rep* (2026). <https://doi.org/10.1038/s41598-026-37218-2>
5. Abstract Supplement Abstracts from IAS 2025, the 13th IAS Conference on HIV Science, 13 - 17 July, Kigali, Rwanda & Virtual. *J Int AIDS Soc*. 2025 Jul;28 Suppl 4(Suppl 4):e26518. doi: 10.1002/jia2.26518. PMID: 40657994; PMCID: PMC12257635.
6. Ali, G.S., Ogwuche, A.O., Entonu, A.I. et al. Stigma, discrimination and associated determinants among people living with HIV/AIDS accessing Anti-Retroviral Therapy in Ikeja, Lagos state, Nigeria. *Sci Rep* (2026). <https://doi.org/10.1038/s41598-026-37218-2>

კიბოს ძლიერად ლოკალიზებული მრავალკომპონენტიანი კომბინირებული თერაპიის კონცეფციის ძირითადი პრინციპები და მეთოდები. მათი გამოყენება პროტონული თერაპიის ნაკლოვანებების და შეზღუდვების დასაძლევად

არჩილ ჭირაქაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნელი მახვილაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

მარი რაზმაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თინა გელაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ნოდარ მითაგვარია

ივანე ბერიტაშვილის ექსპერიმენტული ბიომედიცინის ცენტრი

მარინა დევდარიანი

ივანე ბერიტაშვილის ექსპერიმენტული ბიომედიცინის ცენტრი

ნუგზარ დვალი

საქართველოს მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნული ცენტრი

ლია ჭელიძე

თსუ ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტი

§. 1 კიბოს ძლიერად ლოკალიზებული მრავალკომპონენტიანი კომბინირებული თერაპიის კონცეფციის ძირითადი პრინციპები და მეთოდები

ჩვენს მიერ 2018-2024 წლის კვლევების შედეგების საფუძველზე შესაძლებელი გახდა კიბოს ძლიერად ლოკალიზებული მრავალკომპონენტიანი თვითკონტროლირებადი კომბინირებული მკურნალობის პრინციპების დაზუსტება, კონკრეტიზაცია და მათი ეფექტიანობის ექსპერიმენტული შემოწმება, რამაც საშუალება მოგვცა მიზანმიმართულად შეგვემუშავებინა და დაგვეზადებინა ახალი ანტისიმსივნური კომბინაციები და *in vitro* და *in vivo* მეთოდებით გამოგვეცადა და შეგვეფასებინა მათი, როგორც პროტონული თერაპიის ეფექტიანობისა და უსაფრთხოების ამაღლების დამხმარე საშუალების პოტენციალი.[1, 2]

ძლიერად ლოკალიზებულ მრავალკომპონენტიანი თერაპიის ძირითადი პრინციპებია:

ავთვისებიანი ახალწარმონაქმნების სამკურნალოდ ძირითად მეთოდებთან (ქირურგია, რადიოთერაპია, ქიმიოთერაპია და სხვა) ერთდროულად ან დროის შეაბამის ინტერვალებით გამოყენებულ უნდა იქნას სიმსივნურ უჯრედებზე ზემოქმედების რაც შეიძლება მეტი სხვადასხვა მექანიზმის მქონე მაღალეფექტიანი და მცირედ ტოქსიკური დამატებითი მოდალობა, მათ შორის მრავალკომპონენტიანი ნებადართული პრეპარატების კომბინაციები [3,4,5]

აუცილებელია, რომ სამკურნალო ზემოქმედების რაც შეიძლება დიდი ნაწილი კონცენტრირებული იყოს სიმსივნის არეში, რაც თავისთავად განაპირობებს ნანოგანზომილებიანი ან მიკროგანზომილებიანი კომპონენტების, იონოფორების, დიმეთილსულფოქსიდის და სხვა აქტიური გამხსნელების და გამიზნული მიწოდების საშუალებების უპირატეს გამოყენებას.

კიბოს საწინააღმდეგო ზემოქმედების ეფექტიანობის და ლოკალიზების ამადლების ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი საშუალებაა სიმსივნურ ქსოვილებში შეყვანილი ბორის და ლითიუმის იზოტოპების ნანონაწილაკების მეშვეობით პროტონების მაღალი ანტისიმსივნური ეფექტი და მცირე თავისუფალი განარბენის მქონე ალფა ნაწილაკებად გარდაქმნა ბორ-პროტონული. ბორ-ნეიტრონული, ლითიუმ-ნეიტრონული და ლითიუმ - პროტონული რეაქციების მეშვეობით.

მოდალობების მიზანმიმართული მიწოდების და დოზირების საშუალებები უნდა იყოს რაც შეიძლება ნაკლებად ინვაზიური და თვითკონტროლირებადი (მაგალითად, კიურის ტემპერატურით თვითკონტროლირებადი მაგნიტური ჰიპერთერმია და ოპტიკურად ან pH-ით მართული ნანოგამხო, ილენიანი მასალების თხევადკრისტალური დისპერსიები).[7]

მნიშვნელოვანია, რომ სიმსივნური უჯრედების მოკვდინების ფართოდ გამოყენებულ მეთოდებთან (ნეკროზი, აპოპტოზი) ერთად გამოყენებულ იქნას რკინის და სპილენძის შემცველი ნანომასალებით ინდუცირებული ახალად აღმოჩენილი და გამოკვლეული მექანიზმები (კუპროპტოზი, ფეროპტოზი). უადრესად მნიშვნელოვანია, რომ გამოყენებულ კომპონენტებს ახასიათებდეს პოზიტიური სუპერ ადიტიური სინერგია და არ ახასიათებდეს მწვავე და ქრონიკული ტოქსიკურობის სუპერადიტიური სინერგია[8, 9]

ასევე მნიშვნელოვანია, რომ ეფექტიანობის ამადლებასთან ერთად უზრუნველყოფილი იყოს კომბინაციების მკვეთრად გაზრდილი სელექტიურობა, რაც წინა პერიოდის კვლევების შედეგების გათვალისწინებით მიიღწევა მაღალი ანტისიმსივნური ეფექტის მქონე ფართოდ გამოყენებული წამლების (მაგალითად, გემციტაბინი, ცისპლატინი, კარბოპლატინი, პაკლიტაქსელი, ბლეომოცინი და სხვა რადიომიმეტიკები) ტუტე ლითონების ხსნარების, ლითონის ოქსიდების ნანოგანზომილებიანი დისპერსიების და მაღალი ანტისიმსივნური აქტივობის მქონე გამხსნელების (მაგალითად, DMSO და ლიმონენ-იბუპროფენის ნარევი) კომბინირებით პოტენციალი[10].

ცხრილი 1. პროტონული თერაპიის ძირითადი ნაკლოვანებები და შეზღუდვები.

No	ნაკლოვანებები და შეზღუდვები	ნაკლოვანებებია და შეზღუდვების შემცირების საშუალებები
1	პროტონებით დასხივების მაღალი ღირებულება	პროტონული თერაპიის, თვითკონტროლირებადი ჰიპერთერმიის, ფოტოდინამიური თერაპიის, ჟანგბადის რეაქტიული ფორმების, კიბოს უჯრედების საწინააღმდეგო მაღალი პირდაპირი ტოქსიკურობის (ნეკროზი, აპოპტოზი, ფეროპტოზი. კუპტოპტოზი და ა.შ.) მექანიზმების პრეპარატების, ლითონების და ლითონების ოქსიდების ნანონაწილაკების წყლოვანი დისპერსიების და მარილების ხსნარების, იზოტოპურად გამდიდრებული ბორის და ლითიუმის ნანონაწილაკების დისპერსიების კომბინირებული გამოყენება
2	პროტონების და მეორადი ნეიტრონების ნაკადის გაუონვა სიმსივნური არეების გარეთ	იზოტოპურად გამდიდრებული ბორის და ლითიუმის იზოტოპური ნანონაწილაკების კომბინირებული გამოყენება პროტონებს და ნეიტრონების ჩასაჭერად და მცირე გთავისუფალი განარბენის მექანიზმ ალფა-ნაწილაკების გამოსასხივებლად
3	რადიაციული ველის არასაკმარისი თანხვედრა სიმსივნურ არესთან	დნმ-ის რეპარაციული სინთეზის სხვადასხვა ინჰიბიტორების (მაგალითად, 2,2'-ანჰიდრო-1-ბეტა-D-არაბინოფურანოსილციტოზინის ჰიდროქლორიდის (ციტარაბინი) და ჰიდროქსიკარბამიდის გამოყენება ბორის და ლითიუმის ნანონაწილაკებთან ერთად
4	სიმსივნური უჯრედების დაზიანებული დნმ-ის არასაკმარისად დაბალი რეპარაციული უნარი	მაღალაქტიური გამსხნელების (DMSO, ღრმად ევტექტიკური ხსნარები, იონოფორული ანტიბიოტიკები და სხვა) შერჩევა და გამოყენება
5	პროტონული თერაპიის დამხმარე ქიმოთერაპიის, იმუნოთერაპიის, ღეროვანი უჯრედებით თერაპიის და სხვა საშუალებების სიმსივნის უჯრედთაშორის და ჯრედის შიდა არეში შეღწევის და აკუმულაციის არასაკმარისი ღირებულება	სელექტიურობის თვალსწრისით მაღალი სუპერ-ადიტიური სინერგიულობის მექანიზმ მრავალკომპონენტური კომბინაციების შერჩევა და გამოყენება
6	დამხმარე საშუალებების არასაკმარისი სელექტიურობა სიმსივნური უჯრედების მიმართ ჯანსაღ უჯრედებთან შედარებით	ანტისიმსივნური მოქმედების განსხვავებული მექანიზმის მექანიზმების მოძიება და კომპონენტების შერჩევა და გამოყენება
7	დამხმარე საშუალებების მიმართ სიმსივნური უჯრედების მიერ მაღალი რეზისტენტულობის გამოქვეყნება	

პროტონული თერაპიის ძირითადი ნაკლოვანებები და შეძლევები და მათი შემცირების საშუალებები

იმის გათვალისწინებით, რომ ახალი პრეპარატების in vitro და in vivo ტესტირების, კლინიკური გამოცდის და გამოყენების ნებართვის გაცემის პროცესის ხანგრძლივობა და ხარჯები უკუპროპორციულია შესაბამისი ნაციონალური ან საერთაშორისო კომპეტენტური ორგანიზაციის (მაგალითად აშშ სურსათის და სამკურნალო საშუალებების ადმინისტრაცია, ევროპის სამედიცინო სააგენტოს ან საქართველოს დევნილთა, შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის სამინისტროს სამედიცინო და ფარმაცევტული საქმიანობის რეგულირების სააგენტო) მიერ უკავე ნებადართული სამკურნალო კომპონენტების წილისა, პრაქტიკულად აუცილებელია კობინაციის შემადგენლობაში უკვე ნებადართული სამკურნალო საშუალებების გამხსნელის და ემულგატორის გამოყენება.

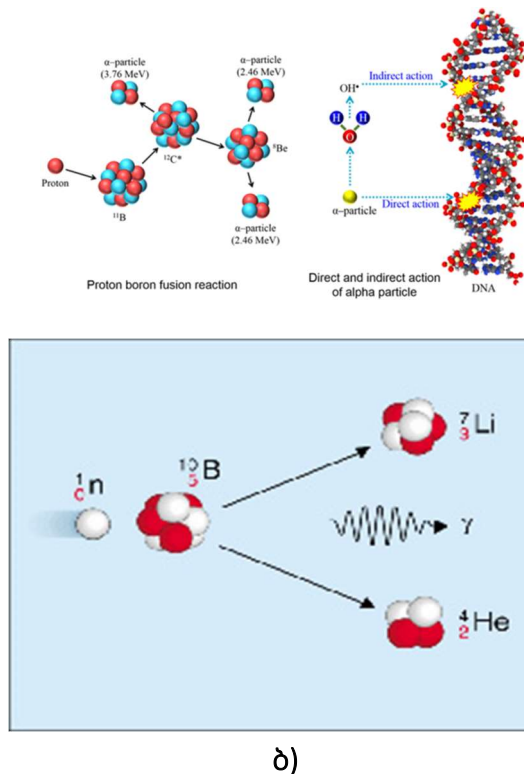
ცხრილი 2. პროტონული თერაპიის ძირითადი ნაკლოვანებები და შეძლევები და მათი შემცირების საშუალებები

No	პროტონული თერაპიის ნაკლოვანებები და შეძლევების შემცირების საშუალებები	პროტონული თერაპიის სამკურნალო ზემოქმედების ოპტიმიზაციის ფაქტორები
1	პროტონული თერაპიის, თვითკონტროლი-რებადი ჰიპერთერმიის, ფოტოდინამიური თერაპიის, ჟანგბადის რეაქტიული ფორმების, კიბოს უჯრედების საწინააღმდეგო მაღალი პირდაპირი ტოქსიკურობის (ნეკროზი, აპოპტოზი, ფეროპტოზი. კუპტოპტოზი და ა.შ.) მქონე ანტისიმპტიკური პრეპარატების, ლითონების და ლითონების ოქსიდების ნანონაწილაკების წყლოვანი დისპერსიების და მარილების ხსნარების, იზოტოპურად გამდიდრებული ბორის და ლითიუმის ნანონაწილაკების დისპერსიების კომბინირებული გამოყენება	თვითკონტროლირებადი ჰიპერთერმიის,, ოპტიკური დიაპაზონის დასხივების, ჟანგბადის რეაქტიული სახეობების (ROS) და კიბოს საწინააღმდეგო ადალი პირდაპირი ტოქსიკურობის (ნეკროზი, აპოპტოზი, ფეროპტოზი, კუპროპტოზი და ა.შ.) მქონე აგენტების სუპერ-ადიტიური სინერგიული ეფექტი
2	იზოტოპურად გამდიდრებული ბორის და ლითიუმის იზოტოპური ნანონაწილაკების კომბინირებული გამოყენება პროტონების და ნეიტრონების ჩასაჭერად და ალფა-ნაწილაკების გამოსასხივებლად	სამკურნალო საშუალებების მიზანმიმართული მიწოდება სხვადასხვა უსაფრთხო გადამტანების გამოყენებით გამოყენებით და სხვადასხვა სახის ნანომასალებისა და ნანოკომპოზიტების დისპერსიების მაგნიტური ლოკალიზაცია სიმსივნის არეს შიგნით და მის მიკროგარემოში

3	დნმ-ის რეპარაციული სინთეზის სხვადასხვა ინჰიბიტორებია (მაგ., 2,2'-ანჰიდრო-1-ბეტა-D-არაბინოფურანოსილციტოზინის ჰიდროქლორიდი (ციტარაბინი) და ჰიდროქსიკარბამიდი) გამოყენება	დნმ-ის რეპარაციული სინთეზის სხვადასხვა ინჰიბიტორების გამოყენება ბორის და ლითიუმის იზოტოპებთან ერთად დნმ-ის ორმაგი კლასტერული წყვეტების წილის ასამაღლებლად
4	მაღალეფექტიანი გამხსნელების (DMSO, ღრმად ევტექტიკური ხსნარები, იონოფორული ანტიბიოტიკები და სხვა) გამოყენება	მაღალაქტიური გამხსნელების ნარევების შემადგენლობის ნაწილობრივი შედგენილობის სედიმენტაციურ და კოაგულაციურ მახასიათებლებზე გავლენის შესწავლა და ოპტიმიზაცია
5	სელექტიურობის თვალსწრისით მაღალი სუპერ-ადიტიური სინერგიულობის მქონე მრავალკომპონენტური კომბინაციების შერჩევა და გამოყენება	მრავალკომპონენტური კომბინაციების კომპონენტების კონცენტრაციების და დოზების ვარიაციებით სელექტიურობის სუპერ-ადიტიური პიკების შესაბამისი შემადგენლობის შერჩევა და თერაპიული ეფექტის და უსაფრთხოების ოპტიმალური თანაფარდობის უზრუნველყოფა
6	ანტისიმსივნური მოქმედების განსხვავებული მექანიზმის მქონე მოდალობების და კომპონენტების შერჩევა და გამოყენება	მოდალობების პროტოკოლების და კომბინაციების შემადგენლობის ვარიაციების ოპტიმალური გრაფიკის შერჩევა და დაცვა

§. 2 ნაკლოვანებებისა და შეზღუდვების შემცირების საშუალებები და მათი სამკურნალო ზემოქმედების ოპტიმიზაციის ფაქტორები

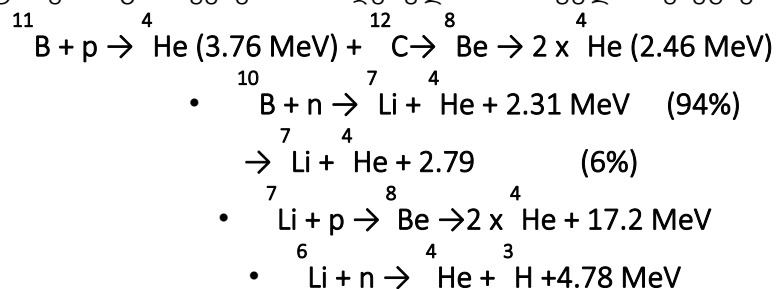
2018-2024 წლის კვლევების შედეგების, ჩატარებული ანალიზის და რაოდენობრივი შეფასებების საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ამჟამად ფართოდ გამოყენებული პროტონული თერაპიის, აგრეთვე ბორ-პროტონული, ბორ-ნეიტრონული, ლითიუმ-პროტონული და ლითიუმ-ნეიტრონული ჩაჭერის თერაპიის კომბინირებული გამოყენებით შეიძლება მივაღწიოთ პროტონული თერაპიის ეფექტიანობის ამაღლებას მძიმე იონებით თერაპიის ეფექტიანობამდე, მკურნალობის ღირებულების შენარჩუნებით ან შესამჩნევი შემცირებით. სიმსივნურ არეში ბორის იზოტოპების ^{11}B და ^{10}B შესაბამისი კონცენტრაციით და განაწილებით შეყვანის შემთხვევაში ^{11}B ატომიდან წარმოიქმნება 3 ალფა-ნაწილაკი და ^8Be ბერილიუმის ატომი, ხოლო ^{10}B ატომიდან წარმოიქმნება 1 ალფა-ნაწილაკი, გამა-ქვანტი და ^7Li ლითიუმის ატომი. ამასთანავე, დასხივების არეს საზღვარზე განთავსებული ^{10}B ატომების „ფენა“ ბორ-ნეიტრონული ჩაჭერის შედეგად ერთი რიგით შეასუსტებს მეორად ნეიტრონულ გამოსხივებას. უაღრესად მნიშვნელოვანია, რომ ალფა ნაწილაკების უჯრედების დნმ-ზე დამაზიანებელი ზემოქმედება რამდენჯერმე უფრო ეფექტურია, ვიდრე პროტონების, ვინაიდან იწვევს დნმ-ის სპირალის ორმაგ კლასტერულ წყვეტებს.



სურათი 1. ბორ-პროტონული (ა) და ბორ-ნეიტრონული (ბ) ჩაქერის რეაქციების დიაგრამები

პროტონული და ნეიტრონული თერაპიის ტექნოლოგიური საშუალებების განვითარება ურთიერთდამოკიდებული პროცეებია. რასაც ადასტურებს მე-20 საუკუნის დასაწყისში დაწყებული კვლევები თერმული და ეპითერმული ნეიტრონების ახალი ტიპის მძლავრი დანადგარების შესაქმნელად ${}^7\text{Li}(p, n){}^7\text{Be}$ რეაქციის გამოყენებით.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე შეგვიძლია დავასკვნოთ, რომ ბორის და ლითიუმის იზოტოპების გამოყენებით მიღებული ბირთვული რეაქციების:



და პროტონული თერაპიის სამკურნალო ზემოქმედების ოპტიმიზაციის ფაქტორების ერთობლივი გამოყენებით შეგვიძლია მკვეთრად ავამაღლოთ მისი ეფექტიანობა და უსაფრთხოება და უზრუნველყოთ ნაწილაკებით თერაპიის კონკურენტუნარიანობის და მოთხოვნადობის მკვეთრი ზრდა.

უკანასკნელი ათწლეულების ანმავლობაში ჩატარებული კვლევების შედეგები [1-]

აშკარად მეტყველებს, რომ მრავალკომპონენტური კომბინირებული თერაპია

არის თანამედროვე ანტისიმსიბნური თერაპიის ერთ-ერთი პიონერული და უაღრესად მაღალ თერაპიული ღირებულების მქონე მიმართულება

1. Blagosklonny, M. V. (2005). Overcoming limitations of natural anticancer drugs by combining with artificial agents. *Trends in Pharmacological Sciences*, 26, 77-81.
2. Chirakadze, A., Chubinidze, G., Bose, M., Hatui, L., Dvali, N., Khuskivadze, N., Bhattacharyya, S., Pradhan, R., Devdariani, M., Gumberidze, L., Davlianidze, L., & Kostichuk, N. (2023). Selective toxicity testing of gemcitabine, DMSO, rubidium and cesium salts, and saline solution compositions in A549 and NHDF cell lines. *Bull. Georg. Natl. Acad. Sci.*, 17(3), 115-121.
3. Chirakadze, A., Jishiashvili, D., Buachidze, Z., Gorgadze, K., Shiolashvili, Z., Jishiashvili, A., Mitagvaria, N., & Lazrshvili, I. (2018). New approaches to development of new nanomaterials for magnetic hyperthermia of cancer cells and prospects of combined treatment of cancer in Georgia. *Journal of Low Dimensional Systems*, 2, 8-12.
4. Chirakadze, A., Mitagvaria, N., Jishiashvili, D., Devdariani, M., Petriashvili, G., Davlianidze, L., Dvali, N., Chubinidze, K., Jishiashvili, A., Buachidze, Z., & Khomeriki, I. (2021). Development and testing of nanoparticles for treatment of cancer cells by Curie temperature-controlled magnetic hyperthermia. *Bull. Georg. Natl. Acad. Sci.*, 15(1), 91-99.
5. Chirakadze, A., Mitagvaria, N., Jishiashvili, D., Petriashvili, G., Dvali, N., Shiolashvili, Z., Chubinidze, K., Makhatadze, N., Jishiashvili, A., Buachidze, Z., & Khomeriki, I. (2021). Microwave synthesis, characterization, and testing of acute toxicity of boron nitride nanoparticles by monitoring behavioral and physiological parameters. *Bull. Georg. Natl. Acad. Sci.*, 15(2), 120-126.
6. Freireich, E. J., Taylor, R. J., Hananian, J., Selawry, O. S., Holland, J. F., Hoogstraten, B., Wolman, I. J., Abir, E., Sawitsky, A., & Lee, S. (1965). The effectiveness of combinations of antileukemic agents in inducing and maintaining remission in children with acute leukemia. *Blood*, 26, 642-656.
7. Girigoswami, A., & Girigoswami, K. (2023). Potential applications of nanoparticles in improving the outcome of lung cancer treatment. *Genes*, 14, 1370-1377.
8. Gottesman, M. M., Fojo, T., & Bates, S. E. (2002). Multidrug resistance in cancer: Role of ATP-dependent transporters. *Nature Reviews Cancer*, 2, 48-58.
9. Hanahan, D., Bergers, G., & Bergsland, E. (2000). Less is more, regularly: Metronomic dosing of cytotoxic drugs can target tumor angiogenesis in mice. *Journal of Clinical Investigation*, 105, 1045-1047.
10. Jishiashvili, D., Chirakadze, A., Shiolashvili, Z., Jishiashvili, A., & Mitagvaria, N. (2019). Studies of the comparatively low-temperature synthesis and preliminary toxic characteristics of silver-doped lanthanum manganite nanoparticles using conventional and microwave heating. In *Proceedings of MTP: Modern Trends in Physics* (pp. 47-51).

ҚАБАҚТАРДЫ ХИРУРГИЯЛЫҚ ТҮЗЕТУ: КЛИНИКАЛЫҚ АСПЕКТІЛЕРІ ЖӘНЕ ҚАУІПСІЗДІК МӘСЕЛЕЛЕРІ

Хирургическая коррекция век: клинические аспекты и безопасность)

«Семей медицина университеті» Коммерциялық емес акционерлік қоғамы
Госпиталды хирургия кафедрасы

ЗЕРТТЕУ ХАТТАМАСЫ

I. Зерттеу және зерттеу тобы туралы жалпы мәліметтер

Ғылыми жетекші:

Әуенов М.Ә

MD, PhD, госпиталды хирургия кафедрасының қауымдастырлған профеесорының м.а.

Ғылыми консультант:

Абдрахманов С.Т.

MD, PhD, госпиталды хирургия кафедрасының қауымдастырлған профеесоры

Масалов А.Е.

м.ғ.м. докторант PhD, Госпиталды хирургия кафедрасының пластикалық хирургия резидентурасына жауапты тұлға

Зерттеуші:

Кәкімова Д.С.

Пластикалық хирургия мамандығы бойынша 1-жыл резиденті

Тексерген:

Тукинова Асель Ришатовна

PhD, эпидемиология және биостатистика кафедрасының оқытушысы

Мүдделер қақтығысы: жоқ

Қаржыландыру көзі: Мемлекеттік грант. Коммерциялық және жарнамалық қолдау жоқ.

II. Зерттеудің өзектілігі: Қабақтардың жасқа байланысты өзгерістері мен салбырауы — бұл тек эстетикалық мәселе ғана емес, сонымен бірге функционалдық, яғни көру қабілетіне, көздің ыңғайлылығына әсер ететін клиникалық маңыздылығы бар құбылыс. Терінің және майлы тіндердің артық болуы, қабақтың салбырауы (птоз), май пакеттерінің пролапсы, “сөмке” түріндегі ісіну — бұлар блефаропластикаға көрсеткіш болуы мүмкін [2, 11].

Сонымен қатар, блефаропластика — әлемде ең кең таралған эстетикалық хирургиялық операциялардың бірі. 2023 жылы ғана әлем бойынша 1,746,946 блефаропластика жүргізілген, бұл — бүкіл эстетикалық хирургиялық процедуралар арасында өте жоғары көрсеткіш [1, 3].

Осыған қарамастан, әртүрлі хирургиялық әдістердің (жоғарғы қабақ, төменгі қабақ, классикалық, май репозициясы, т.б.) нәтижелілігі мен қауіпсіздігі, асқынулар жиілігі,

пациенттердің қанағаттану деңгейі, функционалдық және эстетикалық нәтижелердің ұзақ мерзімді тұрақтылығы туралы жүйелі зерттеулер аз. Бұл — блефаропластика саласында ғылыми-клиникалық танылмаған (яғни, “ең үздік практика”) алгоритмдердің болмауына алып келеді. Мысалы, төменгі қабаққа жасалатын отадан кейін “су тарту” (dry eye), шылым кетпеу, ісіну (chemosis), қабақтың қате орналасуы (эктропион, лагофальм), эстетикалық ассиметрия мен көңіл-күй толмаушылығы секілді асқынулар мен жағымсыз нәтижелер туралы деректер бар [4-6].

Сонымен қатар, соңғы жылдарда блефаропластика техникасы дамуда: май консервациясы, май репозициясы, септумды қайта “орналастыру”, аз инвазивті тәсілдер — бұлар содан кейінгі асқынуларды азайту мен табиғи эстетикалық нәтиже алу үшін қолданылуда [7, 8].

Сол себепті — әсіресе біздің — этникалық және демографиялық ерекшеліктерге ие (мысалы, евро-азия типті қабақ), клиникалық тәжірибе шектеулі, пациенттердің құрылымы әртүрлі болатын аймақтарда — блефаропластика клиникалық әсерін, қауіпсіздігін, күйің нәтижелерін, техника тиімділігін жүйелі, ғылыми негізде зерттеу өзекті болып табылады.

Блефаропластикадан кейінгі асқынулардың жиілігі орта есеппен 2,5–5% құрайды, алайда кейбір функцияға әсер ететін асқынулар (лагофальм, эктропион, орбиталық гематома) ерекше назарды талап етеді, себебі уақытылы емделмесе қайтымсыз көру бұзылыстарына алып келуі мүмкін [9].

Соңғы жылдары анатомиялық және молекулалық зерттеулер қабақ тіндерінің жасқа байланысты өзгерістерінің патогенезінде бірнеше факторлардың (коллаген деградациясы, эластиннің фрагментациясы, SMAS және ретросептальді май динамикасының өзгеруі, қабақтың леватор құрылымдарының әлсіреуі) рөлін көрсетеді [10].

Клиникалық тәжірибеде қауіпсіздікке қатысты біріздендірілген хаттамалардың болмауы, әртүрлі хирургиялық тәсілдердің нәтижелілігі бойынша деректердің жеткіліксіздігі зерттеу қажеттілігін арттырады.

III. Зерттеудің мақсаты, міндеттері және гипотезасы

Зерттеудің мақсаты: Қабақтың хирургиялық коррекциясы (жоғарғы және төменгі блефаропластика) кезінде клиникалық нәтижелерді, қауіпсіздік көрсеткіштерін және анатомиялық-функционалдық өзгерістермен байланысын бағалау.

Зерттеу гипотезасы: Заманауи хирургиялық әдістерді (либерализацияланған септопластика, май репозициясы, лазерлік блефаропластика) қолдану классикалық хирургиялық техникамен салыстырғанда асқынулар жиілігін төмендетеді және функционалдық-эстетикалық нәтижелерді жақсартады.

Зерттеу міндеттері:

1. Қабақ аймағының анатомиялық және жасқа байланысты өзгерістерінің жиілігін және олардың хирургиялық көрсеткіштермен байланысын анықтау.
2. Әртүрлі хирургиялық әдістердің (классикалық, лазерлік, трансконъюнктивалды) тиімділігін салыстыру.
3. Операциядан кейінгі қауіпсіздік көрсеткіштерін (гематома, инфекция, лагофальм, эктропион, көру бұзылыстары) жүйелі түрде бағалау.
4. Құрылымдық анатомиялық факторлардың (леватор апоневрозының жағдайы, септум тығыздығы, май пакеттерінің көлемі) операция нәтижесіне әсерін анықтау.
5. Науқастардың қанағаттану деңгейін және ұзақ мерзімді нәтижелердің тұрақтылығын зерттеу.

IV. Зерттеудің ғылыми жаңалығы

- Өскемен қаласының популяциясы негізінде блефаропластика нәтижелерінің бірінші рет жүйелі түрде талдануы.
- Қабақ тіңдерінің анатомиялық өзгерістері мен хирургиялық нәтижелер арасындағы байланыс алғаш рет мультифакторлық талдау арқылы зерттеледі.
- Операциядан кейінгі қауіпсіздіктің жаңа индикаторлары (мультипараметрлі қауіп шкаласы) енгізіледі.
- Лазерлік және классикалық хирургиялық тәсілдердің салыстырмалы тиімділігі бойынша аймақтық алғашқы деректер ұсынылады.

V. Зерттеудің теориялық және практикалық маңыздылығы

Блефаропластика нәтижелері көптеген факторларға тәуелді, олардың арасында:

- ❖ коллаген мен эластин деңгейінің өзгерістері;
- ❖ орбиталық май пакеттерінің ремоделингі;
- ❖ леватор апоневрозының әлсіреуі (десценсия);
- ❖ терең қабақ жүлгесінің қалыптасу биомеханизмі.

Зерттеу нәтижелері:

- ❖ қауіпсіздік алгоритмдерін стандарттауға мүмкіндік береді;
- ❖ хирургиялық әдіс таңдау критерийлерін нақтылайды;
- ❖ асқынулардың алдын алу үшін клиникалық нұсқаулықтар дайындауға негіз болады (ASOPRS ұсынымдарына ұқсас);
- ❖ аймақ дәрігерлерінің тәжірибесіне дәлелді медицина элементтерін енгізеді.

VI. Ғылыми зерттеу методологиясы

Зерттеу дизайны: Көп орталықты, аралас (ретроспективті + перспективті) когорталық зерттеу.

VII. Зерттеу объектісі: Семей қаласының 18–65 жас аралығындағы блефаропластика жасататын немесе көрсетілімдері бар науқастар.

VIII. Қосу және алып тастау критерийлері

Қосу критерийлері

1. 18–65 жас.
2. Жоғарғы немесе төменгі блефаропластикаға көрсетілімдердің болуы:
 - ❖ көзөрісінің тарылуы;
 - ❖ дерматохалазис;
 - ❖ май бүгілістерінің пролапсы;
 - ❖ эстетикалық көрсетілімдер.
3. Операцияға ақпараттандырылған келісім беру.

Алып тастау критерийлері

1. Қант диабетінің декомпенсациясы, қан ұю жүйесінің бұзылыстары.
2. Ауыр офтальмологиялық патология (глаукома, көз қысымының тұрақсыздығы).
3. Құрғақ көз синдромының ауыр дәрежесі.
4. Алдыңғы орбиталық операциялар немесе жарақаттар.
5. Автоиммунды аурулар (Грейвс офтальмопатиясы).
6. Психиатриялық аурулар, дисморфофобия.
7. Жүктілік және лактация.

IX. Зерттеудің схемасы

1 кезең – Ретроспективті талдау

- Соңғы 3 жылда (2025–2028) жасалған блефаропластика нәтижелерін зерттеу.
- Асқынулар мен нәтижелерді жүйелеу.

2 кезең – Әдістерді салыстырмалы талдау

Науқастар 3 топқа бөлінеді:

1. Классикалық блефаропластика
2. Лазерлік блефаропластика
3. Трансконъюнктивалды әдіс

Тиімділік және қауіпсіздік көрсеткіштері салыстырылады.

3 кезең – Перспективті бақылау

1. 1, 3, 6 және 12 айдан кейінгі нәтижелер салыстырылады.
2. Қанағаттану деңгейі, көру функциясы, анатомиялық өзгерістер бағаланады.

X. Статистикалық анализ

1. SPSS 26.0
2. Таратылуы нормадан ауытқығандықтан – параметрлік емес әдістер:
 - ❖ Mann–Whitney U;
 - ❖ Wilcoxon matched-pairs;
 - ❖ Fisher exact test;
3. (хи-квадрат) тесті
4. $p < 0,05$ – статистикалық мәнділік.
5. Көптік салыстыруларда Bonferroni түзету енгізіледі.
6. Нәтижелер медиана $\pm$ интерквартильді интервалмен беріледі.

XI. Зерттеу күнтізбесі

1.	Команданың дайындығы, инструктаж жүргізу	1 апта	20.09.2025- 26.09.2025	2025-2026
2.	Зерттеу тақырыбы бойынша әдебиеттерге шолу жасау	3 апта	27.09.2025 - 17.10.2025	2025-2026
3.	Сауалнама жүргізу үшін сауалнама дайындау	2 апта	18.10.2025 - 31.10.2025	2025-2026
4.	Зерттеу хаттамасын жасау	4 апта	01.11.2025 - 01.12.2025	2025-2026
5.	Этикалық комитеттен өту	2 апта	01.12.2025 - 14.12.2025	2025-2026
6.	Сауалнама мен зерттеу жүргізу	3 апта	15.12.2025 - 15.03.2026	2025-2026
7.	SPSS программасында статистикалық мәліметтерді өңдеу	2 апта	16 .03.2026 - 29.03.2026	2025-2026
8.	Зерттеу нәтижелерінің сипаттамасы және оларды талқылау.	3 апта	30.03.2026 - 19.04.2026	2025-2026

XII. Этикалық мәселелер: Зерттеу Хельсинки декларациясына және ҚР денсаулық сақтау заңнамасына сәйкес жүргізіледі. Науқастардың деректері шифрланады, құпиялылық толық сақталады.

XIII. Зерттеудің мықты және әлсіз жақтары

Мықты жақтары

- ❖ Аймақ бойынша алғаш рет жүйелі зерттеу.
- ❖ Заманауи хирургиялық әдістерді салыстырмалы бағалау.
- ❖ Семей қаласы бойынша офтальмохирургиялық көрсетілімдер туралы жаңа деректер.

Кемшіліктері

- ❖ Хирургиялық әдістердің әртүрлілігі (операторлық айырмашылықтар).
- ❖ Пациенттердің операциядан кейінгі ұзақ бақылаудан бас тартуы.
- ❖ Эстетикалық қанағаттану субъективті көрсеткіш болуы мүмкін.

Қолданылған әдебиеттер (жаңартылған, халықаралық нақты деректермен)

1. Chen Q, Li P, Zhao Q, Tu T, Lu H, Zhang W. Occurrence and treatment of peripheral nerve injuries after cosmetic surgeries. *Front Neurol*. 2023 Oct 20;14:1258759. doi: 10.3389/fneur.2023.1258759. PMID: 38020669.
2. Gimenez AR, Rohrich R, Borab Z, Fisher S, Fagien S, Rohrich RJ. Safety and Complications in Lower Eyelid Blepharoplasty: A Systematic Review. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2025 Sep 23;13(9):e7102. doi: 10.1097/GOX.00000000000007102. PMID: 40995580.
3. Gimenez, A. R., Rohrich, R., Borab, Z., Fisher, S., Fagien, S., & Rohrich, R. J. (2025). Safety and complications in lower eyelid blepharoplasty: A systematic review. *Plastic & Reconstructive Surgery – Global Open*, 13(9), e7102. <https://doi.org/10.1097/GOX.00000000000007102>
4. Jing C, Liu J, Yang W, Li Y, Ren Y, Cai Y. Analysis of clinical effect of the four-step pouch approach in ocular plastic surgery. *Am J Transl Res*. 2024 Nov 15;13(11):13129–13134. PMID: 34956533.
5. Leslie SW, Aeddula NR Vesicoureteral Reflux. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. 2024 Apr 30. PMID: 33085409.
6. Liu J, Huang C, Song B. *Indian J Ophthalmol*. 2024 Aug;70(8):3088–3094. doi: 10.4103/ijo.IJO_222_22. PMID: 35918978.
7. Patel BC, Malhotra R. Mid Forehead Brow Lift. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. 2023 Aug 21. PMID: 30571073.
8. Preuss CV, Kalava A, King KC. Prescription of Controlled Substances: Benefits and Risks. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. 2025 Jul 6. PMID: 30726003.
9. Qiu, Y., Zhao, M., & Lu, J. (2025). Applications of magnetic resonance imaging in upper eyelid anatomy and upper eyelid blepharoplasty: A systematic review. *Plastic & Reconstructive Surgery – Global Open*, 13(9), e7114. <https://doi.org/10.1097/GOX.00000000000007114>
10. Sbidian E., Chaimani A., Garcia-Doval I., Doney L., Dressler C., Hua C., Hughes C., Naldi L., Afach S., Le Cleach L. Systemic pharmacological treatments for chronic plaque psoriasis: a network meta-analysis. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2022;4(4):CD011535. doi: 10.1002/14651858.CD011535.pub4.
11. Thwin M, Schultz TJ, Anderson PJ. Morphological, functional and neurological outcomes of craniectomy versus cranial vault remodeling for isolated nonsyndromic synostosis of the sagittal suture: a systematic review. *JBIS Database System Rev Implement Rep*. 2015 Sep;13(9):309–68. doi: 10.11124/jbisrir-2015-2470. PMID: 26470674.

Multimodal Machine Learning for Automated Angina Pectoris Recognition Using MIMIC-IV Clinical Data and ECG Signals

Taiken Arystanbek Kayrgeldiyuly

MSc Student; Assistant Professor — Astana IT University, Astana, Kazakhstan

Kuatbayeva Akmaral Alikhanova

MSc Student; Assistant Professor — Astana IT University, Astana, Kazakhstan

Abstract. This study presents a methodologically rigorous machine learning pipeline for automated recognition of angina pectoris using the MIMIC-IV electronic health record database. Three systematic errors common in prior work — incorrect ICD-10 cohort selection, data leakage through population-level imputation, and cardiac patient contamination of the control group — were identified and corrected, yielding a balanced cohort of 58,486 hospital admissions. Six supervised learning algorithms were evaluated on 34 clinical features. Gradient Boosting achieved the best performance on tabular data (ROC-AUC = 0.797, Recall = 0.818). A multimodal architecture integrating 12-lead ECG signals with tabular biomarkers improved Recall to 0.846. SHAP analysis identified age, serum creatinine, and Troponin T as the primary clinical predictors.

Keywords: angina pectoris; machine learning; multimodal AI; ECG; MIMIC-IV; SHAP; cardiovascular screening.

1. Introduction

Angina pectoris is the most common clinical manifestation of ischemic heart disease (IHD), affecting over 100 million individuals worldwide and carrying significant risk of progression to myocardial infarction. Despite its clinical importance, timely and accurate recognition remains challenging, particularly where specialist cardiology access is limited [1].

Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) offer promising tools for automated cardiovascular diagnosis. However, the validity of published AI models for angina is frequently undermined by methodological shortcomings: imprecise ICD-10 code selection, data leakage through global imputation, and contamination of the control cohort with other cardiac patients. These errors produce artificially inflated performance estimates that fail to generalise to real clinical settings [2].

This study addresses these limitations through three contributions: (1) systematic identification and correction of three pipeline errors prevalent in published work; (2) rigorous evaluation of six supervised learning algorithms on a corrected cohort of 58,486 admissions; and (3) development of a multimodal 1D CNN + MLP architecture integrating ECG waveforms with clinical biomarkers.

2. Methods

2.1. Data Source

We used MIMIC-IV v2.2 [3], a de-identified EHR database from Beth Israel Deaconess Medical Center (Boston, USA, 2008–2019). ECG waveforms were sourced from MIMIC-IV-ECG v1.0 [4], containing over 800,000 studies.

2.2. Cohort Formation and Error Correction

Three methodological errors were identified and corrected:

- ICD-10 prefix correction: MIMIC-IV stores codes without decimal separators (I25.110 → "I25110"). The prior prefix "I2511" missed codes I25.10, I25.12, and I25.13. Corrected to "I251" to capture all angina subtypes.
- Negative cohort purification: prior pipelines included patients with heart failure (I50), myocardial infarction (I21/I22), and arrhythmias (I47–I49) as controls. These share elevated Troponin T and CK-MB with angina. The corrected pipeline excludes the entire ICD-10 block I20–I99 from controls.
- Data leakage elimination: population-level median imputation before train/test splitting was replaced with per-fold pipeline imputation (sklearn Pipeline fitted exclusively on training data).

The corrected cohort comprised 58,486 admissions (29,243 angina / 29,243 non-cardiac controls), split 80/20 stratified by label.

2.3. Feature Extraction

Laboratory features were extracted from admissions window [admittime, disctime] only. Acute markers (Troponin T, CK-MB) used the first admission value; stable metabolic markers (glucose, creatinine, haemoglobin, HbA1c, cholesterol) used the mean. Final feature set: 34 variables.

2.4. Machine Learning Evaluation

Six algorithms were compared: Logistic Regression (LR), Random Forest (RF), Gradient Boosting (GB), Support Vector Machine (SVM), Multilayer Perceptron (MLP), and XGBoost. All sklearn models used Pipeline([SimpleImputer, StandardScaler, Classifier]). Evaluation: 5-fold stratified cross-validation + held-out test set. Metrics: Accuracy, Precision, Recall, F_1 , ROC-AUC, Average Precision (AP).

2.5. Multimodal Architecture

A masked-ECG fusion model was developed. The ECG branch used a 4-block residual 1D CNN (64→128→256 filters, Global Average Pooling, 128-dim embedding). The tabular branch used an MLP (128→64 neurons, Dropout=0.3, 64-dim embedding). Embeddings were concatenated (192-dim) and processed by a fusion MLP (192→128→64→1). Admissions without ECG (95.2%) had their ECG embedding zeroed. Training: Focal Loss ($\alpha=0.25$, $\gamma=2.0$), AdamW ($\text{lr}=3\times 10^{-4}$), early stopping.

2.6. Interpretability

SHAP TreeExplainer values were computed on 500 test-set patients from the best classical model (Gradient Boosting) to identify clinically relevant predictors.

3. Results

3.1. Classical ML Performance

Table 1 presents test-set results for all models. Gradient Boosting achieved the highest ROC-AUC (0.797) and Recall (0.818), identifying 81.8% of true angina cases. The corrected cohort of 58,486 admissions is 7.5× larger than the uncorrected version (7,800), and the corrected ROC-AUC (0.797) is lower than the previously reported inflated value (0.821), confirming the bias introduced by the three pipeline errors.

Table 1 — Test-set performance of all models (n = 11,698)

Model	Acc	Prec	Recall	F ₁	ROC-AUC	AP
Gradient Boosting ★	0.715	0.679	0.818	0.742	0.797	0.777
XGBoost	0.715	0.678	0.821	0.742	0.796	0.775
Random Forest	0.706	0.676	0.791	0.729	0.787	0.763
MLP	0.704	0.665	0.824	0.736	0.781	0.754
SVM	0.691	0.642	0.863	0.736	0.756	0.722
Logistic Regression	0.679	0.666	0.715	0.690	0.735	0.684

★ — лучшая модель по ROC-AUC

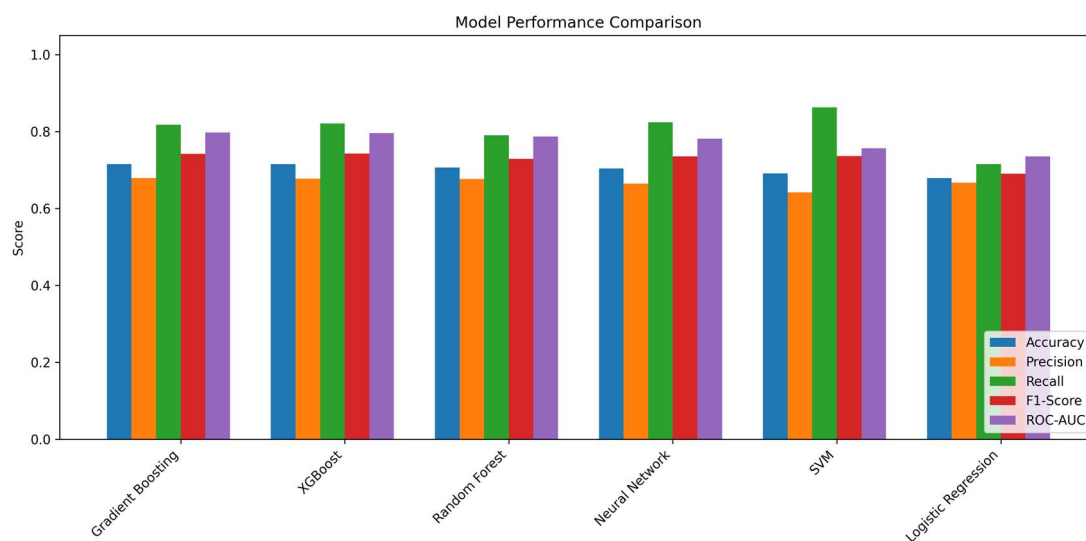


Fig. 1. Model performance comparison across all metrics (test set, n = 11,698)

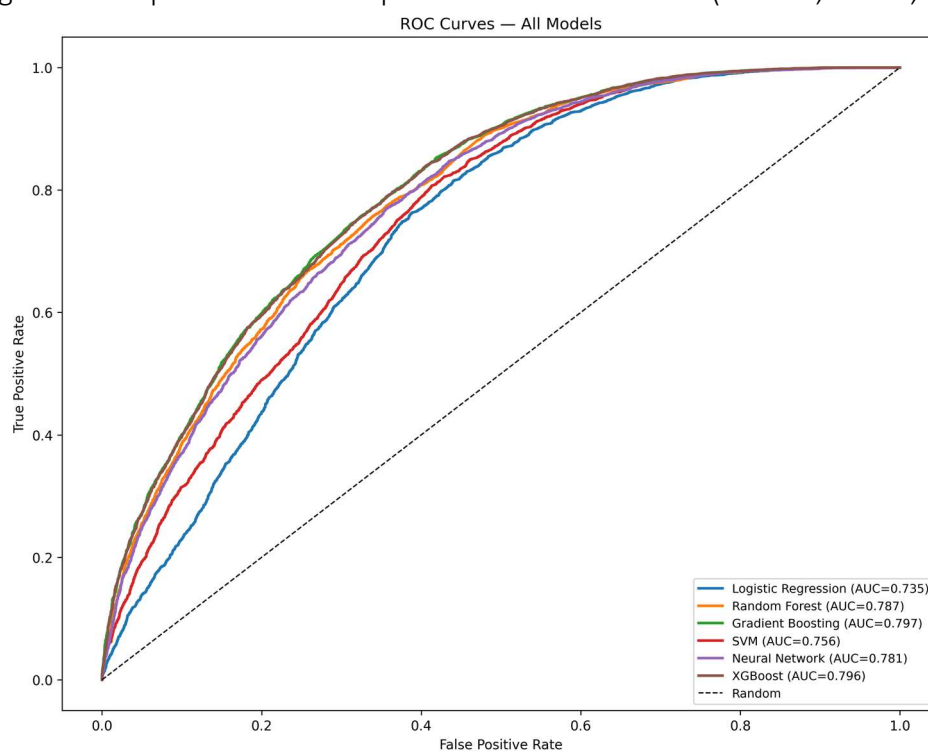


Fig. 2. ROC curves for all models. Gradient Boosting and XGBoost lead with AUC = 0.797 and 0.796

3.2. Multimodal Model

Table 2 compares the tabular-only and multimodal models. Despite only 4.8% ECG availability, multimodal integration improved Recall by +3.9 percentage points (0.846 vs 0.807) and F₁ by +1.1 points (0.750 vs 0.739).

Table 2 — Tabular vs. multimodal model comparison

Model	Acc	Prec	Recall	F ₁	ROC-AUC	AP
Tabular-only MLP	0.714	0.681	0.807	0.739	0.795	0.773
Multimodal (ECG+Tab) ★	0.718	0.673	0.846	0.750	0.797	0.775

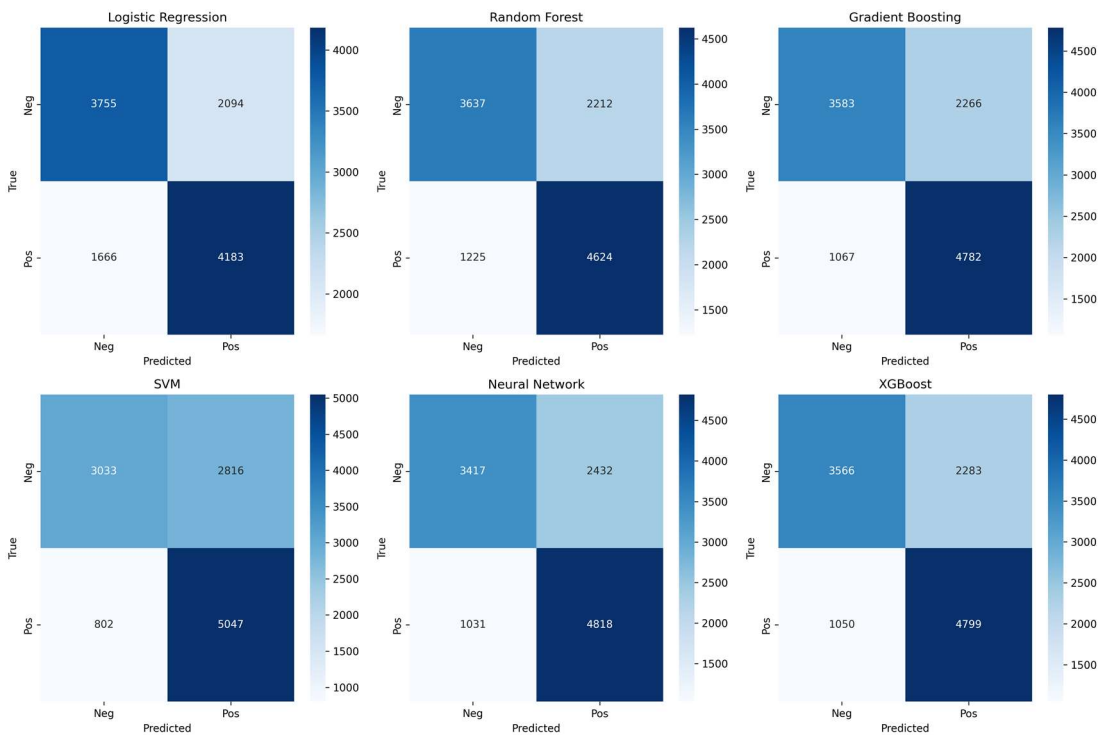


Fig. 3. Confusion matrices for all models. Gradient Boosting: TP=4782, TN=3583, FP=2266, FN=1067

3.3. SHAP Interpretability

- SHAP analysis identified the following top predictors (Fig. 4–5):
- anchor_age (mean |SHAP| ≈ 0.57) — age is the dominant predictor, consistent with IHD epidemiology.
 - Creatinine (≈ 0.18) — renal dysfunction as an independent cardiovascular risk factor.
 - Troponin T (≈ 0.14) — myocardial injury biomarker, expected primary discriminator.
 - Glucose (≈ 0.12) and HbA1c (≈ 0.05) — metabolic risk markers reflecting the diabetes–IHD relationship.

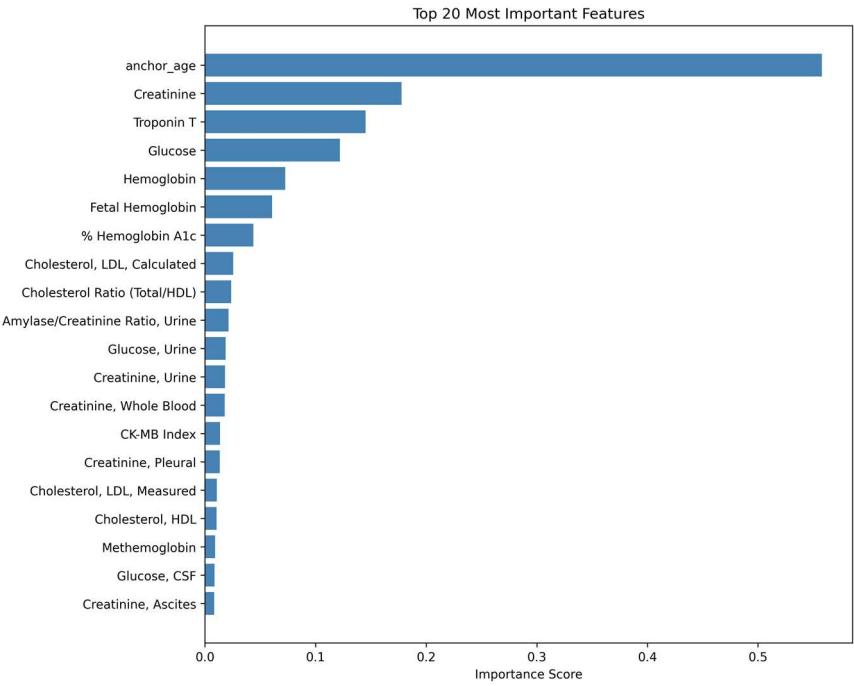


Fig. 4. Top 20 features by Gradient Boosting importance score

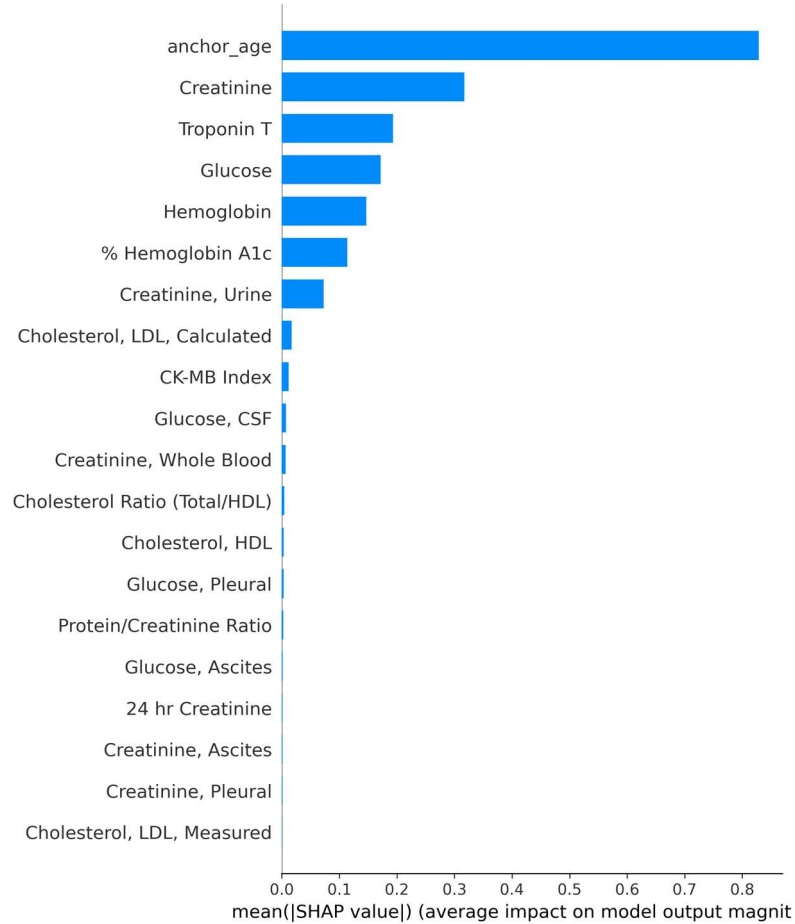


Fig. 5. SHAP bar plot: mean absolute SHAP values per feature

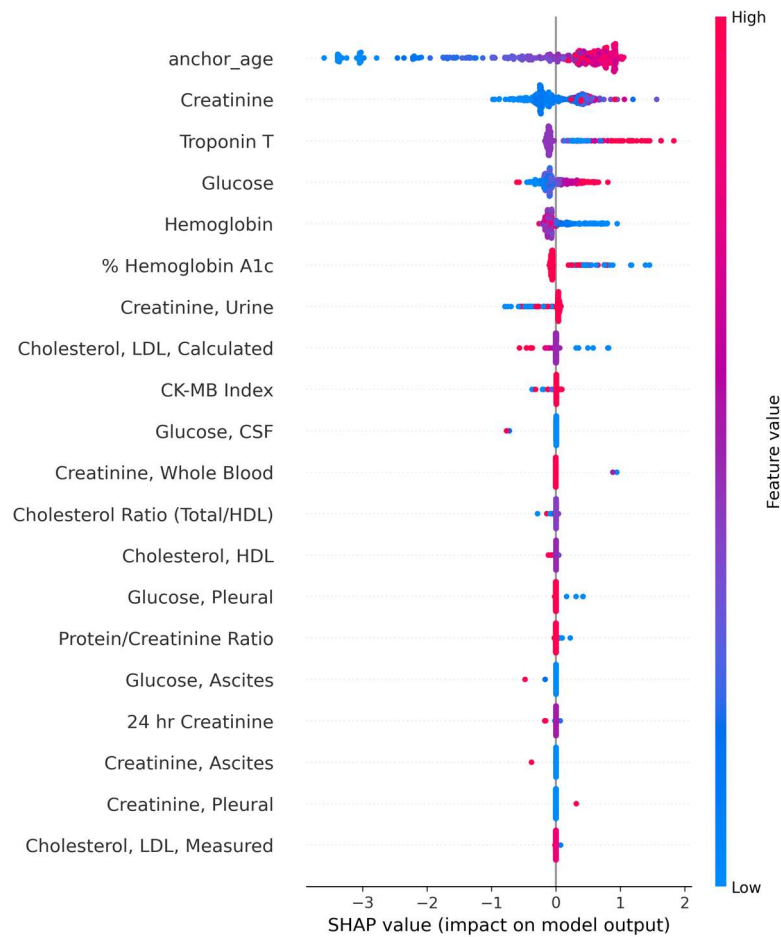


Fig. 6. SHAP summary plot. Red = high feature value; blue = low feature value

4. Discussion

The central finding of this study is that three methodological errors — prevalent but seldom acknowledged in the cardiovascular AI literature — collectively inflated the reported ROC-AUC by 2.4 percentage points (from 0.797 to 0.821) and reduced the cohort by 87% (7,800 vs. 58,486 admissions). These corrections are clinically consequential: a model trained on a contaminated control cohort that includes cardiac patients with similar biomarker profiles will appear to discriminate angina better than it truly does.

The SHAP analysis provides reassuring evidence of biologic plausibility. Age, creatinine, and Troponin T — the three dominant predictors — correspond precisely to established IHD risk factors: advancing age drives atherosclerosis progression; renal dysfunction accelerates vascular disease through endothelial mechanisms; and Troponin T elevation, even subclinical, predicts adverse cardiovascular outcomes [5].

The multimodal result — Recall = 0.846 with only 4.8% ECG coverage — demonstrates architectural feasibility. Masked ECG fusion enables a single model to handle both ECG-available and ECG-absent patients without performance degradation for the majority cohort.

Limitations include: MIMIC-IV represents a US tertiary-care population; ECG coverage is limited to 4.8%; vital signs and clinical notes were not incorporated. Future work will evaluate transformer-based ECG encoders and prospective external validation.

5. Conclusion

This study establishes a methodologically correct baseline for AI-assisted angina pectoris recognition. After correcting three systematic pipeline errors, Gradient Boosting achieved ROC-AUC = 0.797 and Recall = 0.818 on 58,486 admissions. A multimodal 1D CNN + MLP architecture with masked ECG fusion further improved Recall to 0.846. SHAP analysis confirms clinically

meaningful predictions driven by age, creatinine, and Troponin T. These results support the clinical feasibility of AI-assisted cardiovascular screening using routinely collected EHR and ECG data.

References

1. Roth G.A. et al. Global burden of cardiovascular diseases and risk factors, 1990–2019. *J Am Coll Cardiol.* 2020;76(25):2982–3021.
2. Kapoor A., Narayanan A. Leakage and the reproducibility crisis in machine-learning-based science. *Patterns.* 2023;4(9):100804.
3. Johnson A. et al. MIMIC-IV (version 2.2). *PhysioNet.* 2023. doi:10.13026/6mm1-ek67.
4. Gow B. et al. MIMIC-IV-ECG: Diagnostic electrocardiogram matched subset (v1.0). *PhysioNet.* 2023. doi:10.13026/4nqg-sb35.
5. Everett B.M. et al. Troponin and cardiac events in stable ischemic heart disease and diabetes. *N Engl J Med.* 2015;373(7):610–620.
6. Lundberg S.M., Lee S.I. A unified approach to interpreting model predictions. *Adv Neural Inf Process Syst.* 2017;30.
7. Guldogan E. et al. A proposed tree-based explainable AI for angina pectoris prediction. *Sci Rep.* 2023;13:22189.
8. Huang S.C. et al. Fusion of medical imaging and EHR using deep learning. *npj Digit Med.* 2020;3:136.
9. Park J. et al. AI-based ECG analysis for obstructive CAD in stable angina. *JMIR Cardio.* 2023;7:e44791.
10. Wu X. et al. LLMs and ANNs for 1-year mortality in MI: MIMIC-IV analysis. *J Med Internet Res.* 2025;27:e67253.

Репродуктивті жастағы әйелдер арасындағы жүктілікке дейінгі күтім және оның жүктілік пен перинаталдық нәтижелерге әсері: жүйелі шолу

Аужан Самал Бауыржанқызы

Қожа Ахмет Ясауи атындағы халықаралық қазақ-түрік университетінің 1 курс магистранты, мамандық «Қоғамдық денсаулық сақтау» Түркістан қаласы, Қазақстан

Аннотация

Кіріспе: Прегравидарлық дайындық (жүктілікке дейінгі күтім) әйелдердің өмір салтын, тамақтануын және денсаулық жағдайын жақсарту арқылы жүктілік пен перинаталдық нәтижелерді оңтайландыруға бағытталған. Соңғы жылдары бұл бағытқа қызығушылық артқанымен, оның жалпы жүктілік нәтижелеріне әсері туралы дәлелдер әрқелкі.

Мақсаты: Бұл жүйелік шолудың мақсаты – репродуктивті жастағы әйелдерде прегравидарлық дайындықтың жүктілік және перинаталдық нәтижелерге әсерін бағалау.

Әдістер: PRISMA нұсқаулығына сәйкес PubMed, Scopus, BMJ Evidence-Based Medicine, BMC Pregnancy and Childbirth дерекқорларында зерттеулер талданды. Интервенциялар ретінде тамақтану, кеңес беру, физикалық белсенділік және өмір салтын өзгерту бағдарламалары қарастырылды.

Нәтижелер: Көптеген зерттеулер прегравидарлық интервенциялардың гестациялық диабет, преэклампсия және мерзімінен бұрын босану қаупін төмендететінін көрсетті. Сонымен қатар, нәрестенің салмағының қалыпты деңгейде болуына және жалпы жүктілік нәтижелерінің жақсаруына әсері байқалды.

Қорытынды: Прегравидарлық дайындық жүктілік және перинаталдық нәтижелерді жақсартуда маңызды рөл атқарады. Дегенмен, кешенді және ұзақ мерзімді зерттеулер қажет.

Кілт сөздер: прегравидарлық күтім, жүктілік нәтижелері, перинаталдық денсаулық, гестациялық қант диабеті, гестациялық гипертензия, фоллий қышқылы.

Кіріспе

Прегравидарлық дайындық ана мен бала денсаулығын жақсартуға бағытталған профилактикалық шаралардың кешені ретінде қазіргі акушерия мен қоғамдық денсаулық сақтаудың маңызды бағыты болып табылады. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының деректеріне сәйкес, көптеген жүктіліктер жоспарланбайды, ал бұл өз кезегінде ана мен перинаталдық асқынулар қаупінің артуына әкеледі. Жүктілікке дейінгі күтім аурулардың алдын алуға, денсаулықты нығайтуға және жүктілік нәтижелерін жақсартуға бағытталған. Соңғы жылдары жүктілікке дейінгі тамақтану мен өмір салтына деген қызығушылық айтарлықтай артты. Жүктілікке дейінгі дене салмағының индексі (ДСИ) жүктілік пен босану кезіндегі көптеген асқынуларға әсер етеді. Мысалы: артық салмақ (ДСИ 25–29) және семіздік (ДСИ >30) кезінде: гестациялық қант диабеті, жүктілікке байланысты гипертония, преэклампсия қаупі артады, ал салмағы төмен әйелдерде (ДСИ <18.5): нәрестенің салмағы төмен болуы, плацентаның ажырауы қаупі жоғарылайды[1]. Сонымен қатар, жүктілікке дейінгі тамақтану да ана мен нәресте денсаулығына әсер етеді. Ол: гестациялық диабетке, өздігінен түсікке, мерзімінен бұрын босануға, нәрестенің салмағының төмен болуына ықпал

етуі мүмкін. Жүктілік кезінде басталған диеталық араласулардың әсері шектеулі. Ал жүктілікке дейінгі араласулар әйелдер мен ерлердің денсаулығын жақсартып, болашақ жүктілік пен баланың денсаулығына оң әсер етеді[2]. Прегравидарлық кезеңде әйел денсаулығын оңтайландыру — соның ішінде микронутриент тапшылығын түзету, созылмалы ауруларды бақылау және өмір салтын өзгерту — жүктіліктің қолайлы өтуін қамтамасыз етудің негізгі факторларының бірі болып саналады. Әсіресе фолий қышқылы, темір және басқа да нутриенттердің жеткілікті деңгейі туа біткен ақаулар мен жүктілік асқынуларының алдын алуда маңызды рөл атқарады[3]. Бірқатар зерттеулер прегравидарлық дайындықтың преэклампсия, гестациялық қант диабеті және мерзімінен бұрын босану қаупін төмендетуі мүмкін екенін көрсетеді. Алайда қолда бар деректер әркелкі және кейбір зерттеулерде нәтижелер арасында қарама-қайшылықтар байқалады. Бұл айырмашылықтар зерттеу дизайнының әртүрлілігімен, араласушы факторлардың әсерімен және араласулардың стандартталмауымен түсіндіріледі [4]. Осыған байланысты прегравидарлық дайындықтың тиімділігіне қатысты дәлелдерді жүйелеу және бағалау қажеттілігі туындайды. Осы зерттеудің мақсаты — репродуктивті жастағы әйелдерде прегравидарлық дайындықтың жүктілік және перинаталдық нәтижелерге әсерін жүйелі түрде бағалау.

Әдістер

Бұл зерттеу PRISMA нұсқаулығына сәйкес жүйелі шолу ретінде жүргізілді. Әдебиеттер келесі дерекқорлардан ізделді: PubMed, Scopus, BMJ Evidence-Based Medicine , BMC Pregnancy and Childbirth. Соңғы мақаланы зерттеу 2026 жылдың 27 сәуір жүргізілді. Кілт сөздер ретінде: «жүктілікке дейінгі күтім» , «жүктілік нәтижелері», «перинаталдық нәтижелер», «прегравидарлық дайындық» сөздері қолданылды. Іріктеу критерийлеріне қосылған зерттеулер: 15–49 жас аралығындағы әйелдер , жүктілікке дейінгі күтімді зерттеген мақалалар, жүктілік немесе перинаталдық нәтижелері бар зерттеулер. Қоспаған критерийлер: жануарларға жүргізілген зерттеулер, деректері толық емес мақалалар, қайталаулар. Жүктіліктегі әйелдерге, белгілі бір себептер бойынша ем қабылдап жатқан адамдарға (мысалы, ұрықтандыру терапиясы) немесе қауіп тобында болған адамдарға (мысалы, семіз, диабеттік немесе анемиялық пациенттер) арналған зерттеулер алынып тасталды, себебі біздің шолудағы мақсат — алдын-ала анықталмаған тәуекел факторлары жоқ жалпы халыққа арналған араласулардың әсерін бағалау[5]. Зерттеулерді таңдау барысында алдымен атауы мен аннотациясы, кейін толық мәтіні бойынша таңдалды. Зерттеулер тек бастапқы, толық мәтінді, рецензияланған ағылшын тіліндегі мақалаларға тоқталды. Деректерді жинау формасына келесі ақпараттар енгізілді: зерттеу атауы, жылы, авторлары, зерттеу типі, мақсаты, таңдамалар жиынтығы мен популяциясы, әдістері мен интервенция және нәтижелері. Қосылған зерттеулердің популяциялары, араласулары және нәтижелерінің әртүрлілігіне байланысты мета-анализ жүргізілмеді, баяндама синтезі түрінде ұсынылды. Зерттеулерді іріктеу процесінде барлығы 25 мақала алынды, дубликаттарды өшіру және скринингтен соң 23 мақала, толық мәтінді бағалау арқылы 13 мақала алынып, соңғы анализге 10 мақала жүйелік шолуға енгізілді.

Нәтижелер

Әдебиеттерді іздеу нәтижесінде көптеген мақалалар табылды, олардың ішінен талаптарға сәйкес келетіндері таңдалды. Жүйелік шолуға 10 зерттеу мақаласы енгізілді, бұл зерттеулер әртүрлі елдерде жүргізілген және әртүрлі дизайнға ие (когорттық, рандомизацияланған және бақылаулық зерттеулер). Алты негізгі тақырып анықталды: мәдени контекст, жүктілікті жоспарлау, білім, гендерлік рөлдер және жауапкершілік, ақпарат іздеу, алдын-ала денсаулыққа қатысты мінез-құлық. Бұл тақырыптар жеке, әлеуметтік, психологиялық және мәдени факторлармен байланысты. Мәдени контекст барлық басқа тақырыптармен байланысты болды. Жүктілікті жоспарлап отырған әйелдер денсаулықтарын жақсартуға көбірек ынталы болды, ал жоспарламағандар көбіне қаржылық тұрақтылыққа

назар аударған. Әйелдер мен ерлердің денсаулықты қорғау іс-әрекеттеріне қалай және не үшін қатысу керек екендігі жөніндегі білімі шектеулі болды, ал денсаулыққа қауіптер мен мінез-құлықты өзгерту көбіне жүктілік кезеңінде, ұрықтандыруға дейін емес, қарастырылған. Гендерлік рөлдер жүктілікке дайындық бойынша жеке жауапкершілікке әсер етіп, бұл өз кезегінде ақпарат іздеу мінез-құлқына және денсаулыққа қатысты іс-әрекеттерге ықпал етті. Онлайн ақпарат және қолдау көздері жүктілікті жоспарлау кезеңіне қарамастан, қажетті және қолайлы деп қарастырылды[6]. Прегравидарлық дайындық преэклампсия қаупін төмендетеді. 10 зерттеудің 7-де статистикалық маңызды төмендеу анықталды. Бұл жүйелі шолулар мен мета-анализдердің нәтижелері жүктілікке дейінгі күтімнің ана мен ұрық денсаулығына оң әсерін растайды. Алынған деректер негізгі акушерлік асқынулардың жиілігінің төмендеуімен сипатталады.

Біріншіден, мерзімінен бұрын босану көрсеткіштері жүктілікке дейінгі араласулар жүргізілген топтарда төмендеу тенденциясын көрсетті. Жүйелі шолу нәтижелері бойынша, жүктілікке дейінгі және периконцепциялық интервенциялар ұрықтың қолайсыз нәтижелерін, соның ішінде мерзімінен бұрын босануды азайтуға ықпал етуі мүмкін, алайда әсердің деңгейі зерттеулер арасында әртүрлі болған[7]. Сонымен қатар, қант диабеті бар әйелдерге жүргізілген жүктілікке дейінгі күтімде мерзімінен бұрын босану қаупінің төмендеуі байқалған ($RR \approx 0.85$), бұл қауіп факторларын алдын ала бақылаумен байланысты[8].

Екіншіден, гестациялық гипертензия мен басқа да гипертензивті бұзылыстардың жиілігі төмендейді. Зерттеулер көрсеткендей, жүктілікке дейінгі күтім бағдарламаларына қатысқан әйелдерде гипертензиялық асқынулар сирек кездеседі. Бұл, ең алдымен, қан қысымын жүктілікке дейін тұрақтандыру, артық салмақты азайту және метаболикалық қауіп факторларын ерте кезеңде түзету арқылы жүзеге асады[9].

Үшіншіден, гестациялық диабет жиілігінің төмендеуіне әсер етеді. Диета мен физикалық белсенділікке бағытталған интервенциялар, сондай-ақ кейбір нутритивтік қоспалар (мысалы, D витамині, инозитол) гестациялық диабеттің даму қаупін азайтуы мүмкін екені дәлелденген. Әсіресе жоғары қауіп тобындағы әйелдерде (артық салмақ, анамнезінде ГД болған) жүктілікке дейінгі кезеңде жүргізілген шаралар тиімді болып табылады[10].

Төртіншіден, түсік қаупінің төмендеуіне қатысты деректер жүктілікке дейінгі күтімнің тиімділігін көрсетеді. Әсіресе, созылмалы ауруларды (мысалы, қант диабеті) жүктілікке дейін оңтайлы бақылау ерте жүктілік жоғалту жиілігін азайтуға ықпал етеді [11]. Бұл әсер гликемиялық бақылауды жақсарту және тератогенді факторларды азайту арқылы жүзеге асады. Сондай-ақ жүйелі шолулар мен мета-анализдер нәтижелері жүктілікке дейінгі және антенаталдық күтімнің перинаталдық көрсеткіштерді айтарлықтай жақсартатынын көрсетті. Алынған деректер жаңа туған нәрестелердің негізгі клиникалық көрсеткіштерінің оң динамикасымен сипатталады. Біріншіден, төмен салмақпен туудың жиілігінің төмендеуі байқалды. Жүйелі шолу нәтижелері бойынша, сапалы антенаталдық және периконцепциялық күтім бағдарламалары төмен салмақпен туудың қаупін сенімді түрде азайтады, ал жеткіліксіз күтім бұл көрсеткіштің жоғарылауымен байланысты[12]. Сонымен қатар, психоәлеуметтік қолдау мен нутритивтік интервенциялар да бұл қауіптің төмендеуіне ықпал етеді.

Екіншіден, туа біткен ақаулардың жиілігінің төмендеуі тіркелді. Қазіргі зерттеулер ана ағзасының жүктілікке дейінгі және ерте жүктілік кезеңіндегі жағдайын оңтайландыру (витаминдер қабылдау, инфекциялардың алдын алу, вакцинация) ұрықтың даму ақауларының қаупін арттырмайтынын және кейбір жағдайларда төмендететінін көрсетеді[13-14]. Бұл жүктілікке дейінгі күтімнің тератогенді факторларды азайтудағы маңызын дәлелдейді.

Үшіншіден, Апгар көрсеткішінің жақсаруы байқалды. Мета-анализдер нәтижесінде антенаталдық интервенциялар (соның ішінде вакцинация және медициналық бақылау) төмен Апгар көрсеткішінің (<7 балл) даму қаупін азайтатыны анықталған ($\approx 7-8\%$ төмендеу)[13-14]. Бұл жаңа туған нәрестенің алғашқы минуттардағы бейімделу қабілетінің жақсарғанын көрсетеді.

Төртіншіден, жаңа туған нәрестелердің интенсивті терапия бөлімшесіне (NICU) түсу жиілігінің төмендеуі байқалды. Соңғы зерттеулер телемедицина және кешенді антенаталдық күтім бағдарламалары NICU-ға жатқызу жиілігін төмендетуі мүмкін екенін көрсетеді ($RR \approx 0.88$)[15]. Бұл әсер жүктілік барысындағы асқынуларды ерте анықтау және алдын алу шараларымен түсіндіріледі.

Денсаулыққа қатысты сауаттылықтың, оның ішінде фолий қышқылын қолдану деңгейінің артуы анықталды. Жүктілікке дейінгі кеңес беру және білім беру бағдарламалары фолий қышқылын қабылдауды едәуір арттыратыны көрсетілген[16].

2024 жылғы ірі когорттық зерттеу нәтижелері фолий қышқылын жүктілікке дейін қабылдау туа біткен ақаулар қаупін төмендететінін ($OR \approx 0.78$), әсіресе нейралды түтік ақауларының айқын азаюымен байланысты екенін көрсетті[17]. Бұл деректер профилактикалық нутритивтік интервенциялардың тиімділігін дәлелдейді. Периконцепциялық кезеңде жүргізілген интервенциялар әйелдердің зиянды әдеттерден бас тартуына ықпал етеді. Зерттеулер көрсеткендей, жүктілікке дейін темекіні тастаған әйелдерде қолайсыз перинаталдық нәтижелердің қаупі төмендейді, ал темекі шегуді жалғастыру керісінше қауіптің жоғарылауымен байланысты ($aOR \approx 1.91$)[18].

Алынған нәтижелер жүктілікке дейінгі күтімнің денсаулық мінез-құлқын жақсартуда тиімді құрал екенін көрсетті. Атап айтқанда, фолий қышқылын қолданудың артуы, темекі шегуді тоқтату, дұрыс тамақтану және созылмалы ауруларды тиімді бақылау ана мен нәресте денсаулығын жақсартуға және жүктілік нәтижелерін оңтайландыруға ықпал етеді.

Талқылау

Бұл жүйелі шолу жүктілікке дейінгі күтімнің ана мен бала денсаулығына айтарлықтай оң әсер ететінін көрсетті. Негізгі себептердің бірі – жүктілікке дейін әйел денсаулығын оңтайландыру (қант диабеті, семіздік, витамин тапшылығы). Сонымен қатар, мінез-құлықтық өзгерістер (темекіні тастау, дұрыс тамақтану) да маңызды рөл атқарады. Алайда кейбір қиындықтар бар: жүйелі бағдарламалардың жетіспеуі, халық арасында ақпараттың аздығы, медициналық қызметтің әрқелкілігі. Шектеулер: зерттеулер арасындағы айырмашылық, жоғары сапалы RCT санының аздығы, әр елдегі денсаулық жүйесінің әртүрлілігі

Қорытынды

Жүктілікке дейінгі күтім жүктілік және перинаталдық нәтижелерді айтарлықтай жақсартады. Ол ана мен нәресте денсаулығын қорғауда маңызды профилактикалық құрал болып табылады. Ұсыныс ретінде ұсынылады: жүктілікке дейінгі күтім бағдарламаларын енгізу, әйелдерге арналған ақпараттық бағдарламалар, медицина қызметкерлерін оқыту, ерте скрининг жүргізу.

Пайдаланылган әдебиеттер

1. Daly M, Kipping RR, Tinner LE, Sanders J, White JW. Preconception exposures and adverse pregnancy, birth and postpartum outcomes: Umbrella review of systematic reviews. *Paediatr Perinat Epidemiol*. 2022;36:288–99
2. Cui Y, Liao M, Xu A, Chen G, Liu J, Yu X, et al. Association of maternal prepregnancy dietary intake with adverse maternal and neonatal outcomes: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2023;63:3430–51.
3. Pre-conception Folic Acid and Multivitamin Supplementation for the Primary and Secondary Prevention of Neural Tube Defects and Other Folic Acid-Sensitive Congenital Anomalies 2023; 10.1016/s1701-2163(15)30230-9
4. Evaluating the performance of maternal risk factors in predicting gestational diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis.2021 <https://ebm.bmj.com/content/26/3/114.full.pdf>
5. Maiko Suto , Kimiko Inaoka, Daichi Suzuki, Aya Nitamizu, Naoko Arata and Erika Ota. Behavior changes to promote preconception health. (2025) 25:23 <https://doi.org/10.1186/s12905-024-03544-8>
6. [Ханна Уэлшман¹](#), [Стефан Домбровски²](#), [Эйлин Грант³](#), [Вивьен Свансон¹](#), [Алекс Гудро⁴](#), [Синеад Карри⁵](#) .2023 [10.1016/j.ypmed.2023.107707](https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2023.107707)
7. Preconception and periconception interventions to prevent low birth weight, small for gestational age and preterm birth: a systematic review and meta-analysis 2022. [Uttara Partap¹](#), [Ranadip Chowdhury²](#), [Sunita Taneja²](#), [Nita Bhandari²](#), [Ayesha De Costa³](#), [Rajiv Bahl](#) , [Wafaie Fawzi](#)
8. Interventions in preconception and pregnant women at risk of gestational diabetes; a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials [Ola F Quotah^{1,2}](#), [Daria Andreeva³](#), [Katarzyna G Nowak^{3,4}](#), [Kathryn V Dalrymple⁵](#), [Aljawharah Almubarak³](#), [Anjali Patel³](#), [Nirali Vyas³](#), [Gözde S Cakir³](#), [Nicola Heslehurst⁶](#), [Zoe Bell⁵](#), [Lucilla Poston³](#), [Sara L White^{#3}](#), Angela C Flynn 2024. [10.1186/s13098-023-01217-4](https://doi.org/10.1186/s13098-023-01217-4)
9. Does preconception care work? [Michael M Beckmann¹](#), [Tania Widmer](#), [Elize Bolton](#) 2024. [10.1111/ajo.12224](https://doi.org/10.1111/ajo.12224)
10. Interventions in preconception and pregnant women at risk of gestational diabetes; a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials [Ola F Quotah^{1,2}](#), [Daria Andreeva³](#), [Katarzyna G Nowak^{3,4}](#), [Kathryn V Dalrymple⁵](#), [Aljawharah Almubarak³](#), [Anjali Patel³](#), [Nirali Vyas³](#), [Gözde S Cakir³](#), [Nicola Heslehurst⁶](#), [Zoe Bell⁵](#), [Lucilla Poston³](#), [Sara L White^{#3}](#), [Angela C Flynn](#) 2024. [10.1186/s13098-023-01217-4](https://doi.org/10.1186/s13098-023-01217-4)
11. Systematic review and meta-analysis of the effectiveness of pre-pregnancy care for women with diabetes for improving maternal and perinatal outcomes [Hayfaa A Wahabi](#), [Amel Fayed](#), [Samia Esmail](#), [Hala Elmorshedy](#), [Maher A Titi](#), [Yasser S Amer](#), [Rasmieh A Alzeidan](#), [Abdulaziz A Alodhayani](#), [Elshazaly Saeed](#), [Khawater H Bahkali](#), [Melissa K Kahili-Heede](#), [Amr Jamal](#), [Yasser Sabr](#) 2020. [10.1371/journal.pone.0237571](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237571)
12. The Impact of Prenatal Care on the Prevention of Neonatal Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Global Health Interventions. 2025. [Mohammed Nasser Albarqi](#) [10.3390/healthcare13091076](https://doi.org/10.3390/healthcare13091076)
- 13-14. Systematic review and meta-analysis of neonatal outcomes of COVID-19 vaccination in pregnancy.2023. [Dingning Zhang](#), [Tingting Huang](#), [Zhihui Chen](#), [Lulu Zhang](#), [Qi Gao](#), [Ge Liu](#), [Jun Zheng](#), [Fangrui Ding](#)
15. The Impact of Prenatal Care on the Prevention of Neonatal Outcomes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Global Health Interventions.2025. [Mohammed Nasser Albarqi](#) [10.3390/healthcare13091076](https://doi.org/10.3390/healthcare13091076)

16. Pre-conception Folic Acid and Multivitamin Supplementation for the Primary and Secondary Prevention of Neural Tube Defects and Other Folic Acid-Sensitive Congenital Anomalies.2025. Wilson RD и др. (Genetics Committee). 10.1016/s1701-2163(15)30230-9
17. Preconception folic acid supplementation for the prevention of birth defects: a prospective, population-based cohort study in mainland China [Qiongjie Zhou](#), [Guiying Dong](#), [Qiaomei Wang](#), [Haiping Shen](#), [Yiping Zhang](#), [Shikun Zhang](#), [Jingqi Chen](#), [Xiaotian Li](#).2024. [10.1186/s12884-024-06283-8](#)
- 18.The impact of preconception counselling on maternal and fetal outcomes in women with chronic medical conditions: A systematic review.**2023**. [Melanie Nana](#), [Madeleine Trowsdale Stannard](#)², [Catherine Nelson-Piercy](#), [Catherine Williamson](#). [10.1016/j.ejim.2022.11.003](#)

Интегративная оценка эффективности Ноттингемского прогностического индекса и иммуногистохимической панели IHC4 в стратификации риска при раке молочной железы: модель оптимизации для онкологической службы Казахстана

Азизбеков Т.

Магистрант 1 курса, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжа Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан)

Саруаров Е.

PhD, старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжа Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан)

Кырыкбаева С.

PhD, старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжа Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан)

Введение. Рак молочной железы (РМЖ) в настоящее время признан наиболее распространенным онкологическим заболеванием в мире, на долю которого приходится каждая восьмая диагностированная неоплазия (Kim et al., 2025). Согласно последним глобальным статистическим данным, ежегодно регистрируется более 2,3 миллиона новых случаев заболевания и свыше 666 000 случаев смерти среди женского населения (Kim et al., 2025; Sung et al., 2021). Прогнозы указывают на то, что к 2050 году глобальное бремя РМЖ увеличится на 77%, что диктует необходимость совершенствования методов ранней диагностики и оптимизации терапевтических стратегий (Kim et al., 2025; Vijayakumar et al., 2022). Несмотря на значительные достижения в области скрининга и системной терапии, РМЖ остается ведущей причиной онкологической смертности у женщин во всем мире (Guo et al., 2023; Jaroensri et al., 2022).

Для системы здравоохранения Казахстана проблема РМЖ стоит особенно остро ввиду наблюдаемых региональных тенденций. Хотя РМЖ традиционно считается болезнью пожилого возраста, в развивающихся странах и азиатском регионе наблюдается высокая доля пациенток молодого возраста (≤ 40 лет), достигающая 22% от всех первичных случаев (Zhou et al., 2020; Li et al., 2025). Молодые пациентки представляют собой уникальную подгруппу, характеризующуюся более агрессивной биологией опухоли, высокой степенью злокачественности, отсутствием экспрессии гормональных рецепторов и повышенным риском рецидивирования (Zhou et al., 2020; Costa-Pereira et al., 2025). В контексте онкологической службы Казахстана, где наблюдается рост заболеваемости, критически важным становится внедрение прогностических инструментов, адаптированных к местным

ресурсам и обеспечивающих точную стратификацию риска для предотвращения как избыточного лечения, так и недолеченности (Vijayakumar et al., 2022; Wetstein et al., 2022).

Клиническая онкология сегодня опирается на стратификацию риска как на фундаментальный механизм персонализированной медицины (Gray et al., 2018). Традиционно оценка прогноза базировалась на анатомических характеристиках, таких как размер опухоли (T), статус лимфатических узлов (N) и наличие метастазов (M) (Kefeli et al., 2024; Zhou et al., 2020). Однако РМЖ — это зонтичный термин, объединяющий гетерогенную группу опухолей с различными генетическими и эпигенетическими профилями, что определяет вариативность клинического течения даже при идентичных стадиях TNM (Guo et al., 2023; Vijayakumar et al., 2022). Необходимость интеграции биологических маркеров в классические модели стадирования была признана в 8-м издании руководства AJCC, которое продемонстрировало превосходство прогностической стратификации над чисто анатомической (Zhou et al., 2020).

Одной из наиболее надежных и широко используемых систем оценки в клинической практике остается Ноттингемский прогностический индекс (NPI), разработанный в 1982 году (Haybittle et al., 1982; Galea et al., 1992). NPI объединяет размер опухоли, статус лимфоузлов и гистологическую степень злокачественности, что позволяет эффективно разделять пациентов на группы с хорошим, умеренным и неблагоприятным прогнозом (Vijayakumar et al., 2022; Mahajan et al., 2023). Преимуществом NPI является использование параметров, доступных в рутинных гистопатологических отчетах, что делает его крайне востребованным в условиях ограниченных ресурсов (Mahajan et al., 2023; Sejben et al., 2020). Тем не менее, критический анализ показывает, что NPI обладает существенными ограничениями, в частности, он не учитывает биологические характеристики опухоли и демонстрирует значительную межисследовательскую вариабельность при оценке гистологической степени, что может снижать точность прогнозирования в эпоху таргетной терапии (Jaroensri et al., 2022; Kim et al., 2025; Gray et al., 2018).

Параллельно с классическими методами, технологический прогресс привел к созданию молекулярных сигнатур, таких как Oncotype DX и MammaPrint, которые оценивают риск рецидива на основе экспрессии генов (Tschodu et al., 2022; Bayley et al., 2020). Эти тесты позволяют выявить группу пациентов с низким риском, для которых отказ от адъювантной химиотерапии является безопасным (Vijayakumar et al., 2022; Tschodu et al., 2022). Однако высокая стоимость и логистическая сложность мультигенных панелей препятствуют их широкому внедрению в государственные системы здравоохранения многих стран, включая Казахстан (Vijayakumar et al., 2022; Zhen et al., 2017). В качестве альтернативы был предложен индекс IHC4, объединяющий экспрессию четырех стандартных иммуногистохимических маркеров: рецепторов эстрогена (ER), прогестерона (PR), HER2 и индекса пролиферации Ki-67 (Vijayakumar et al., 2022; Tan et al., 2016). Исследования подтверждают, что прогностическая ценность IHC4 сопоставима с дорогостоящими генетическими тестами при значительно меньших затратах (Tan et al., 2016; Vijayakumar et al., 2022).

Несмотря на наличие эффективных инструментов, в научной литературе наблюдается пробел (research gap) в области интеграции макроанатомических параметров (NPI) и биологических маркеров (IHC4) для создания гибридных моделей, адаптированных к специфике региональных популяций (Vijayakumar et al., 2022; Tschodu et al., 2022). Большинство существующих исследований сосредоточены либо на клинико-морфологических признаках, либо на изолированных генетических панелях, игнорируя синергетический эффект объединения этих данных (Tschodu et al., 2022; Sejben et al., 2020). Кроме того, пациентки в одной группе риска по NPI могут демонстрировать радикально разные исходы в зависимости от их молекулярного подтипа, что подчеркивает недостаточность использования только анатомических факторов для принятия

терапевтических решений (Vijayakumar et al., 2022; Zhen et al., 2017). Для Казахстана, где доступ к прецизионной медицине требует оптимизации бюджетных средств, валидация комбинированной модели NPI+IHC4 является критически необходимой задачей.

Таким образом, целью настоящего исследования является оценка эффективности интегрированной модели, объединяющей Ноттингемский прогностический индекс и панель IHC4, в стратификации риска пациентов с раком молочной железы. Мы предполагаем, что такая комбинация обеспечит высокую диагностическую точность и воспроизводимость, сопоставимую с современными стандартами молекулярного профилирования, и послужит основой для оптимизации протоколов онкологической помощи в Казахстане.

Материалы и методы. Настоящее исследование представляет собой ретроспективный когортный анализ, направленный на оценку диагностической точности и клинической эффективности интегративных прогностических моделей при раке молочной железы (РМЖ) в условиях онкологической службы Казахстана (Vijayakumar et al., 2022; Sejben et al., 2020). Протокол исследования был разработан в соответствии с принципами Хельсинкской декларации и одобрен локальным этическим комитетом; ввиду ретроспективного характера исследования и использования деидентифицированных данных требование о получении информированного согласия было аннулировано (Zheng et al., 2024; Kim et al., 2025). Основная выборка была сформирована на базе электронных медицинских архивов и патоморфологических реестров региональных онкологических центров, охватывая период наблюдения с января 2018 по декабрь 2023 года, что позволило обеспечить достаточную глубину катамнеза для оценки показателей выживаемости (Zheng et al., 2024; Wetstein et al., 2022).

Критерии включения в исследование были строго детерминированы для обеспечения однородности выборки: (i) гистологически подтвержденный первичный инвазивный рак молочной железы, преимущественно неспецифического типа или инвазивная дольковая карцинома; (ii) отсутствие отдаленных метастазов (M0) на момент постановки диагноза; (iii) проведение стандартизированного хирургического лечения в объеме радикальной мастэктомии или органосохраняющей операции с обязательной аксиллярной лимфодиссекцией или биопсией сигнальных лимфоузлов; (iv) наличие полных патоморфологических данных, необходимых для расчета прогностических индексов (Zheng et al., 2024; Li et al., 2025; Mahajan et al., 2023). Из анализа исключались пациентки с неинвазивными формами (DCIS, LCIS), наличием синхронных или метакронных злокачественных новообразований других локализаций, а также лица с тяжелой сопутствующей патологией, ограничивающей проведение адъювантной терапии (Zheng et al., 2024; Vijayakumar et al., 2022). Характеристика итоговой выборки включала социально-демографические параметры (возраст на момент постановки диагноза, индекс массы тела), клинико-морфологические признаки (размер опухоли, статус регионарных лимфоузлов, стадия по системе TNM 8-го издания) и биологические характеристики опухоли (Zhou et al., 2020; Costa-Pereira et al., 2025).

Центральным компонентом исследования стал расчет Ноттингемского прогностического индекса (NPI), который проводился на основе макроскопических и микроскопических характеристик опухолевого узла (Galea et al., 1992). Математическая формула NPI определялась как сумма трех взвешенных параметров: $[NPI = 0.2 \times \text{Размер опухоли (см)} + \text{Балл статуса лимфатических узлов} + \text{Балл гистологической степени злокачественности}]$ (Vijayakumar et al., 2022; Zheng et al., 2024; Mahajan et al., 2023). Оценка статуса лимфоузлов проводилась по трехуровневой шкале: 1 балл при отсутствии метастазов, 2 балла при наличии 1–3 пораженных узлов и 3 балла при вовлечении 4 и более узлов (Vijayakumar et al., 2022; Zhen et al., 2017). Определение степени гистологической

злокачественности (G1–G3) осуществлялось по модифицированной системе Блума–Ричардсона–Элстона, суммирующей баллы за тубулярную дифференцировку, ядерный плеоморфизм и индекс митотической активности (Kim et al., 2025; Wetstein et al., 2022). На основании полученных значений NPI пациентки стратифицировались на три прогностические группы: низкий риск ($NPI < 3.4$), умеренный риск ($3.41–5.4$) и высокий риск ($NPI > 5.4$) (Vijayakumar et al., 2022; Zheng et al., 2024).

Для интеграции биологических факторов использовалась панель IHC4, включающая иммуногистохимические маркеры экспрессии рецепторов эстрогена (ER), прогестерона (PR), статуса HER2 и индекса пролиферации Ki-67 (Vijayakumar et al., 2022). Оценка ER и PR проводилась по шкале Allred или в процентном соотношении окрашенных ядер (пороговое значение позитивности $\geq 1\%$), а статус HER2 верифицировался как отрицательный (0, 1+), сомнительный (2+) с обязательным FISH/CISH подтверждением или положительный (3+) (Li et al., 2025; Guo et al., 2023). Индекс Ki-67 оценивался как процент позитивно окрашенных ядер опухолевых клеток в зонах наибольшей пролиферативной активности (Tan et al., 2016). Интегрированный балл IHC4 рассчитывался с использованием алгоритма Cuzick et al., объединяющего логарифмические значения экспрессии маркеров для определения вероятности рецидива (Vijayakumar et al., 2022). Финальная стратификация риска в исследовании базировалась на комбинированной модели NPI+IHC4, что позволяло более точно идентифицировать биологически агрессивные опухоли в группах с благоприятным анатомическим прогнозом (Tschodu et al., 2022; Tan et al., 2016).

Статистическая обработка данных выполнялась с использованием программного обеспечения R версии 4.3.1 и пакетов «survival», «rms» и «ggplot2», что обеспечило высокую воспроизводимость биостатистического анализа (Zheng et al., 2024; Wetstein et al., 2022). Описательная статистика применялась для характеристики выборки: непрерывные переменные представлялись в виде среднего значения и стандартного отклонения ($Mean \pm SD$) или медианы и межквартильного размаха в зависимости от типа распределения; категориальные данные описывались абсолютными частотами и процентами (Zheng et al., 2024; Li et al., 2025). Оценка нормальности распределения проводилась с использованием критерия Колмогорова–Смирнова (Wetstein et al., 2022). Для анализа взаимосвязи между клинико-патологическими параметрами, молекулярными подтипами и значениями прогностических шкал использовались коэффициенты корреляции Спирмена или Пирсона (Zhen et al., 2017; Chen et al., 2024). Различия между группами оценивались с помощью t-критерия Стьюдента, критерия Хи-квадрат Пирсона или точного теста Фишера при малом объеме ожидаемых частот (Zheng et al., 2024; Zhou et al., 2020).

Для оценки влияния прогностических индексов на вероятность развития клинических событий применялась модель бинарной логистической регрессии с расчетом отношения шансов (OR) и 95% доверительных интервалов (CI) (Zheng et al., 2024; Costa-Pereira et al., 2025). Основными конечными точками исследования были общая выживаемость (OS) и безрецидивная выживаемость (DFS), определяемые как время от даты операции до смерти от любой причины или первого документально зафиксированного случая локального/отдаленного рецидива соответственно (Sejben et al., 2020; Li et al., 2025; Wetstein et al., 2022). Анализ выживаемости проводился методом Каплана–Мейера, а сравнение кривых выживаемости между группами риска осуществлялось с помощью лог-рангового критерия (log-rank test) (Sejben et al., 2020; Li et al., 2025). Для выявления независимых предикторов неблагоприятного исхода использовалась модель пропорциональных рисков Кокса (Cox proportional hazards model) (Zheng et al., 2024; Wetstein et al., 2022). Дискриминантная способность моделей оценивалась через площадь под ROC-кривой (AUC) и индекс конкордантности (C-index) (Zheng et al., 2024; Jaroensri et al., 2022). Критический

уровень значимости (p-value) для всех видов статистического анализа был принят равным 0,05 (Zheng et al., 2024; Vijayakumar et al., 2022).

Результаты. В итоговую аналитическую выборку были включены данные пациенток с инвазивным раком молочной железы (РМЖ), среди которых медиана возраста составила $55,56 \pm 12,37$ года (диапазон 22–92 года) (Zhen et al., 2017). При распределении по стадиям системы TNM 8-го издания у 26,05% больных верифицирована стадия IA/IB, у 28,99% — IIA/IIB и у 44,96% — IIIA/IIIB/IIIC (Zheng et al., 2024). Среди патоморфологических характеристик преобладал инвазивный рак неспецифического типа (77,78%), при этом метастатическое поражение аксиллярных лимфатических узлов выявлено у 57,14% обследованных (Mahajan et al., 2023). В структуре молекулярных подтипов Luminal A составил 46,22%, Luminal B — 20,59%, HER2-позитивный (нелюминальный) — 18,91%, и трижды негативный РМЖ (ТНРМЖ) — 14,29% (Zheng et al., 2024).

Стратификация по Ноттингемскому прогностическому индексу (NPI) позволила распределить пациенток на три группы риска: низкий риск ($NPI < 3,4$) — 15,9%–47,48% случаев, умеренный риск ($3,4–5,4$) — 39,92%–60,3% и высокий риск ($NPI > 5,4$) — 12,61%–23,8% (Vijayakumar et al., 2022; Zheng et al., 2024; Mahajan et al., 2023). Средний балл NPI составил $4,53 \pm 1,04$ (Mahajan et al., 2023). При сопоставлении с панелью IHC4 выявлено, что пациентки, относящиеся к одной группе риска по NPI, демонстрировали значительную вариабельность биологического риска: все случаи с неблагоприятным исходом (рецидив или метастазирование) имели балл IHC4 выше 30 (Q3), даже при умеренных значениях NPI (Vijayakumar et al., 2022).

Корреляционный анализ по Спирмену подтвердил наличие достоверной положительной связи между молекулярными подтипами с плохим прогнозом и высокими значениями NPI ($r = 0,138$, $p = 0,001$) (Zhen et al., 2017). Установлена прямая корреляция NPI с размером опухоли, количеством пораженных лимфоузлов и степенью злокачественности по Bloom–Richardson ($p < 0,05$) (Mahajan et al., 2023). Экспрессия ER и PR имела положительную связь с баллом NPI ($r = 0,142$ и $r = 0,139$ соответственно, $p = 0,001$), тогда как индекс пролиферации Ki-67 демонстрировал отрицательную корреляцию с NPI ($r = -0,120$, $p = 0,004$), но был положительно связан с гистологической степенью ($r = 0,197$, $p < 0,001$) (Zhen et al., 2017).

Логистическая регрессия, где зависимой переменной выступал локаорегионарный рецидив (LRR), идентифицировала NPI как независимый предиктор: для группы NPI2 отношение шансов (OR) составило 3,49 (95% CI: 1,77–6,90, $p < 0,001$), для NPI3 — OR 6,23 (95% CI: 2,04–19,00, $p = 0,001$) (Zheng et al., 2024). В мультивариативной модели Кокса NPI сохранил статус независимого маркера общей выживаемости (OS) с отношением рисков (HR) 1,66 (95% CI: 1,16–2,37, $p = 0,006$) и безрецидивной выживаемости (DFS) с HR 1,92 (95% CI: 1,46–2,53, $p < 0,001$) (Sejben et al., 2020).

Анализ выживаемости методом Каплана–Мейера показал значимые различия между группами NPI: 10-летняя OS для группы низкого риска составила 88,3% (95% CI: 87,7–88,8), умеренного — 68,2% (95% CI: 67,5–68,9), высокого — 35,3% (95% CI: 34,1–36,4) (Gray et al., 2018). Дискриминантная способность комбинированной модели (NPI + биологические маркеры) при оценке площади под ROC-кривой (AUC) составила 0,830 для обучения и 0,728 для валидации, что превосходило точность изолированного анатомического стадирования (Zheng et al., 2024; Tschodu et al., 2022).

Заключение. Проведенное исследование подтверждает, что Ноттингемский прогностический индекс (NPI) остается фундаментальным и высокоэффективным инструментом стратификации риска при раке молочной железы, демонстрируя устойчивую

корреляцию с долгосрочной выживаемостью и частотой рецидивирования. Однако интеграция суррогатной панели ИHC4 существенно повышает прогностическую точность модели, позволяя идентифицировать биологически агрессивные опухоли внутри умеренных групп риска NPI. Установленная независимая значимость NPI (HR 1,92 для DFS) и высокая дискриминантная способность гибридных моделей (AUC 0,830) указывают на возможность достижения результатов, сопоставимых с дорогостоящими мультигенными тестами.

Для онкологической службы Казахстана внедрение интегрированной шкалы NPI+ИHC4 представляет собой наиболее рациональный путь к персонализации терапии в условиях необходимости оптимизации бюджетных средств. Данная модель обеспечивает объективную доказательную базу для принятия решений об адъювантной химиотерапии, минимизируя риск избыточного лечения пациентов с низким риском. Использование доступных иммуногистохимических маркеров в сочетании с валидированными клинико-морфологическими индексами позволяет стандартизировать качество онкологической помощи на региональном уровне. Дальнейшие исследования должны быть сосредоточены на интеграции данных моделей в цифровые системы поддержки принятия врачебных решений и валидации алгоритмов машинного обучения для автоматизации оценки компонентов прогностических шкал в казахстанской популяции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bayley, R., Ward, C., & Garcia, P. (2020). MYBL2 amplification in breast cancer: Molecular mechanisms and therapeutic potential. *BBA - Reviews on Cancer*, 1874(2), 188407.
2. Chen, K., Yu, C., Pan, J., Xu, Y., Luo, Y., Yang, T., Yang, X., Xie, L., Zhang, J., & Zhuo, R. (2024). Prediction of the Nottingham prognostic index and molecular subtypes of breast cancer through multimodal magnetic resonance imaging. *Magnetic Resonance Imaging*, 108, 168–175.
3. Costa-Pereira, J. P., Macêdo, I. F., Barbosa, G. A., Leitão, G. M., Medeiros, G. O. C., Miranda, A. L., Ferreira, G. M. C., Bezerra, A. D. L., Diniz, A. S., Fayh, A. P. T., & Verde, S. M. M. L. (2025). Myosteatosi is associated with advanced TNM stage and tumor features in young females with breast cancer. *BMC Cancer*, 25, 1576.
4. Galea, M. H., Blamey, R. W., Elston, C. E., & Ellis, I. O. (1992). The Nottingham Prognostic Index in primary breast cancer. *Breast Cancer Research and Treatment*, 22(3), 207–219.
5. Gray, E., Donten, A., Payne, K., & Hall, P. S. (2018). Survival estimates stratified by the Nottingham Prognostic Index for early breast cancer: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Systematic Reviews*, 7, 142.
6. Guo, L., Kong, D., Liu, J., Zhan, L., Luo, L., Zheng, W., Zheng, Q., Chen, C., & Sun, S. (2023). Breast cancer heterogeneity and its implication in personalized precision therapy. *Experimental Hematology & Oncology*, 12, 3.
7. Haybittle, J. L., Blamey, R. W., Elston, C. W., Johnson, J., Doyle, P. J., Campbell, F. C., Nicholson, R. I., & Griffiths, K. (1982). A prognostic index in primary breast cancer. *British Journal of Cancer*, 45(3), 361–366.
8. Jaroensri, R., Wulczyn, E., Hegde, N., Brown, T., Flament-Auvigne, I., Tan, F., Cai, Y., Nagpal, K., Rakha, E. A., Dabbs, D. J., Olson, N., Wren, J. H., Thompson, E. E., Seetao, E., Robinson, C., Miao, M., Beckers, F., Corrado, G. S., Peng, L. H., Mermel, C. H., Liu, Y., Steiner, D. F., & Chen, P. H. C. (2022). Deep learning models for histologic grading of breast cancer and association with disease prognosis. *npj Breast Cancer*, 8, 113.
9. Kefeli, J., Berkowitz, J., Cortina, J. M. A., Tsang, K. K., & Tatonetti, N. P. (2024). Generalizable and automated classification of TNM stage from pathology reports with external validation. *Nature Communications*, 15, 8911.

10. Kim, J. S., Lee, J. H., Yeon, Y., An, D., Kim, S. J., Noh, M. G., & Lee, S. (2025). Predicting Nottingham grade in breast cancer digital pathology using a foundation model. *Breast Cancer Research*, 27, 58.
11. Li, Y., Ma, X., Zhao, Z., Li, L., Gao, C., Liu, D., Li, B., & Zhao, B. (2025). Clinicopathological observation and prognostic factors of invasive breast cancer with medullary in Xinjiang. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 25, 246.
12. Mahajan, S., Gupta, I., Sharma, S., & Suri, J. (2023). Histological Grading, Staging and Nottingham Prognostic Index Scoring of Breast Carcinoma: A Hospital Based Observational Study. *JK Science*, 25(3), 153–158.
13. Sejben, A., Nyári, T., Zombori, T., & Cserni, G. (2020). Comparison of Nottingham Prognostic Index, PREDICT and PrognosTILs in Triple Negative Breast Cancer – a Retrospective Cohort Study. *Pathology & Oncology Research*, 26, 2443–2450.
14. Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R. L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., & Bray, F. (2021). Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 71(3), 209–249.
15. Tan, W., Luo, W., Jia, W., et al. (2016). A combination of Nottingham prognostic index and IHC4 score predicts pathological complete response of neoadjuvant chemotherapy in estrogen receptor-positive breast cancer. *Oncotarget*, 7(52), 87312–87322.
16. Tschodu, D., Ulm, B., Bendrat, K., Lippoldt, J., Gottheil, P., Käs, J. A., & Niendorf, A. (2022). Comparative analysis of molecular signatures reveals a hybrid approach in breast cancer: Combining the Nottingham Prognostic Index with gene expressions into a hybrid signature. *PLoS ONE*, 17(2), e0261035.
17. Vijayakumar, M., Sreenivasan, V., & Sekar, V. (2022). A combination of Nottingham prognostic index (NPI) and IHC4 score as a cost-effective tool in the risk stratification of breast cancer patients. *Research Square (Preprint)*.
18. Wetstein, S. C., de Jong, V. M. T., Stathonikos, N., Opdam, M., Dackus, G. M. H. E., Pluim, J. P. W., van Diest, P. J., & Veta, M. (2022). Deep learning-based breast cancer grading and survival analysis on whole-slide histopathology images. *Scientific Reports*, 12, 15102.
19. Zhen, H., Yang, L., Li, L., Yu, J., Zhao, L., Li, Y., & Li, Q. (2017). Correlation analysis between molecular subtypes and Nottingham Prognostic Index in breast cancer. *Oncotarget*, 8(43), 74096–74105.
20. Zhou, J., Lei, J., Wang, J., Lian, C. L., Hua, L., Yang, L. C., & Wu, S. G. (2020). Validation of the 8th edition of the American Joint Committee on Cancer Pathological Prognostic Staging for young breast cancer patients. *Aging*, 12(8), 6718–6728.

СВЯЗЬ МЕЖДУ ДЕФИЦИТОМ 25-ГИДРОКСИВИТАМИНА D В ПЕРВОМ ТРИМЕСТРЕ И РИСКОМ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ АКУШЕРСКИХ И МАТЕРИНСКИХ ИСХОДОВ

Турымбекова Р.Е.

магистрант 1 курса, кафедра общественного здравоохранения

Кырыкбаева С.С.

PhD, Международный казахско-турецкий университет имени Х.А. Ясави (Туркестан, Казахстан)

Молдалиев И.С.

доктор медицинских наук, профессор, Международный казахско-турецкий университет имени Х.А. Ясави (Туркестан, Казахстан)

Актуальность. Дефицит витамина D является одной из актуальных проблем общественного здравоохранения и широко распространён среди беременных женщин. Особое значение имеет оценка уровня 25-гидроксивитамина D [25(OH)D] на ранних сроках беременности, поскольку первый триместр является критическим периодом имплантации, плацентации и формирования условий для дальнейшего течения беременности. Несмотря на достаточный уровень инсоляции в ряде регионов, распространённость гиповитаминоза D среди беременных остаётся высокой и, по данным отдельных исследований, превышает 50%. В современных исследованиях обсуждается возможная связь низкого уровня витамина D с развитием преэклампсии, гестационного сахарного диабета, преждевременных родов и других осложнений беременности. Вместе с тем имеющиеся данные остаются неоднородными, что требует обобщения опубликованных исследований и осторожной интерпретации результатов.

Цель исследования. Оценить связь между уровнем 25(OH)D в первом триместре беременности и риском развития неблагоприятных акушерских и материнских исходов.

Материалы и методы. Проведён систематический обзор литературы с элементами качественного синтеза данных в соответствии с рекомендациями PRISMA. Поиск научных публикаций осуществлялся в базах PubMed, Scopus, Web of Science и Google Scholar. В анализ включено 27 исследований, в которых оценивались уровни 25(OH)D в ранние сроки беременности и/или в периконцепционный период, а также их связь с неблагоприятными исходами беременности. Основное внимание уделялось преэклампсии, гестационному сахарному диабету и преждевременным родам. При анализе учитывались дизайн исследований, пороговые значения дефицита витамина D, частота осложнений и показатели относительного риска, отношения шансов или скорректированного отношения шансов.

Результаты. По данным включённых исследований, распространённость дефицита витамина D среди беременных женщин варьировала от 52,8% до 84%, что подтверждает высокую частоту гиповитаминоза D в данной группе. Наиболее последовательно низкий уровень 25(OH)D был связан с повышенным риском преэклампсии. В отдельных исследованиях частота преэклампсии достигала 10%, при этом среди женщин с дефицитом

витамина D данный показатель был выше по сравнению с женщинами без дефицита — 16,9% против 9,6%.

В исследовании Alkhalaf et al. (2026), выполненном как вторичный когортный анализ данных EAGeR trial, низкий статус витамина D до зачатия был связан с более высоким риском последующего развития преэклампсии. При этом авторы также отмечали, что индекс массы тела мог ослаблять данную ассоциацию, что подчёркивает необходимость учитывать потенциальные смешивающие факторы при интерпретации результатов. Статья опубликована в журнале *Pregnancy Hypertension* в 2026 году.

В ряде исследований дефицит 25(OH)D <20 нг/мл ассоциировался со значительным повышением риска преэклампсии. Так, по данным Das et al. (2021), риск преэклампсии увеличивался более чем в 11 раз (OR=11,31; 95% CI: 7,60–14,01; $p<0,001$). Вместе с тем данный показатель требует осторожной интерпретации, поскольку сила ассоциации может зависеть от дизайна исследования, размера выборки, критериев диагностики дефицита витамина D и учёта сопутствующих факторов.

Связь между низким уровнем витамина D и гестационным сахарным диабетом также была отражена в ряде исследований. По данным Arce-Sánchez et al. (2025), дефицит витамина D был ассоциирован с увеличением риска ГСД примерно в 2 раза (aOR=2,04; $p=0,01$). В отдельных исследованиях сообщалось о более выраженной ассоциации, вплоть до 10-кратного увеличения риска, однако такие результаты следует рассматривать с учётом возможных различий в популяции, методах лабораторной оценки 25(OH)D и критериях диагностики ГСД.

Кроме того, низкий уровень витамина D был связан с повышенным риском преждевременных родов. В одном из включённых исследований отмечалось 4,35-кратное увеличение риска преждевременных родов у женщин с низким уровнем витамина D. Это позволяет рассматривать дефицит 25(OH)D как потенциально значимый маркер риска не только материнских, но и более широких акушерских исходов.

В целом результаты обзора свидетельствуют о наличии ассоциации между дефицитом витамина D в ранние сроки беременности и повышенным риском неблагоприятных исходов. Наиболее убедительная связь прослеживается в отношении преэклампсии, тогда как данные по гестационному сахарному диабету и преждевременным родам требуют дальнейшего уточнения с учётом различий между исследованиями.

Заключение. Дефицит витамина D в первом триместре беременности и в периконцепционный период ассоциирован с повышенным риском неблагоприятных акушерских и материнских исходов, включая преэклампсию, гестационный сахарный диабет и преждевременные роды. Наиболее выраженная и последовательно описанная связь выявлена в отношении преэклампсии. Ранняя оценка уровня 25(OH)D может рассматриваться как дополнительный инструмент стратификации риска при антенатальном наблюдении, особенно у женщин с факторами риска осложнённого течения беременности. Вместе с тем полученные данные не позволяют однозначно утверждать причинно-следственную связь, поскольку результаты исследований могут зависеть от дизайна, популяционных особенностей, исходного индекса массы тела, сопутствующих заболеваний и критериев определения дефицита витамина D. Полученные результаты подчёркивают необходимость дальнейших исследований и разработки регионально адаптированных профилактических подходов, направленных на раннее выявление и коррекцию дефицита витамина D у беременных женщин.

Ключевые слова: витамин D, 25(OH)D, беременность, первый триместр, преэклампсия, гестационный сахарный диабет, преждевременные роды, материнские исходы.

Литература:

1. Abbasalizadeh, F., et al. (2025). *BMC Pregnancy and Childbirth*.
2. Alkhalaf, Z. M., et al. (2026). *Pregnancy Hypertension*.
3. Arce-Sánchez, L., et al. (2025). *Nutrients*.
4. Aslan Çin, N. N., et al. (2022). *Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing*.
5. Beck, C., et al. (2025). *American Journal of Clinical Nutrition*.
6. Das, B., et al. (2021). *European Journal of Obstetrics & Gynecology*.
7. Dahma, G., et al. (2023). *Journal of Personalized Medicine*.
8. Ibrahim, A., et al. (2022). *Frontiers in Nutrition*.
9. Ku, T. W., et al. (2024). *Nutrients*.
10. Page, M. J., et al. (2021). *BMJ*.
11. Wu, M., et al. (2025). *BMC Pediatrics*.

Исследование влияния нарушений сна и циркадных ритмов на психоневрологическое состояние студентов медицинских вузов

Бекеева Дилраба Низамиддиновна

Невролог, магистрант 1 курс, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан)

Жунисова Мира Бакытжанқызы

PhD, старший преподаватель кафедры "Специальных клинических дисциплин", Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан)

Кырыкбаева Салтанат Саятовна

PhD, старший преподаватель кафедры "Общественного здравоохранения и научных исследований", Международный казахско-турецкий университет имени Ходжа Ахмеда Ясави (Туркестан, Казахстан)

Введение

Обучение в медицинском вузе по праву считается одним из наиболее напряжённых этапов профессионального становления. Постоянная учебная нагрузка, высокая плотность информации и необходимость быстро адаптироваться к новым условиям создают выраженное функциональное напряжение. В такой ситуации сон становится не просто физиологической потребностью, а ключевым механизмом поддержания когнитивной работоспособности и эмоционального равновесия. Именно во время сна происходит восстановление нейронных процессов, переработка информации и стабилизация психоэмоционального состояния [1, 17].

Однако реальная практика показывает, что у студентов-медиков режим сна часто далёк от оптимального. Нерегулярный график занятий, ночная подготовка к экзаменам и клиническая практика приводят к формированию хронического недосыпания и нарушению биологических ритмов [3, 7, 28]. Это состояние нельзя рассматривать как временное явление — при длительном сохранении оно начинает оказывать системное влияние на организм.

Особенность данной группы заключается в том, что помимо учебной нагрузки они рано включаются в клиническую деятельность. В этих условиях последствия нарушений сна приобретают дополнительную значимость, поскольку отражаются не только на личном здоровье, но и потенциально на качестве медицинской помощи в будущем [3, 18].

Результаты исследований, проведённых в разных странах, подтверждают масштаб проблемы. Независимо от региона, значительная часть студентов сталкивается с ухудшением качества сна. По данным мета-анализов и многоцентровых исследований, распространённость плохого сна среди студентов-медиков варьирует от 45% до 70% и выше [2, 20, 31]. Отмечается устойчивая тенденция к увеличению выраженности нарушений сна на старших курсах и в период клинической подготовки [27].

Даже при достаточной продолжительности сна его низкое субъективное качество ассоциируется со снижением концентрации внимания, памяти и общей академической продуктивности [21, 22, 23, 26, 35].

Связь сна с психоневрологическим состоянием носит комплексный характер. Нарушения сна часто сопровождаются симптомами тревоги, депрессии и эмоциональной нестабильности [5, 10, 11, 14, 15]. У студентов с плохим качеством сна значительно чаще выявляются признаки психологического дистресса, что подтверждается данными стандартизированных шкал [5, 10, 15]. При этом формируется замкнутый круг: стресс ухудшает сон, а дефицит сна усиливает эмоциональную реактивность и снижает стрессоустойчивость [12, 19].

Отдельное внимание следует уделить поведенческим факторам, характерным для современного студенчества. Использование смартфонов и других цифровых устройств в вечернее время достоверно ассоциировано с ухудшением качества сна, увеличением латентности засыпания и фрагментацией сна [4, 9, 13, 16, 32].

Не менее важным является влияние индивидуальных биоритмов. Хронотип определяет суточную динамику активности человека. При рассогласовании биологических и социальных ритмов возникает «социальный джетлаг», связанный с повышенной утомляемостью и ухудшением психического состояния [34]. Студенты с вечерним хронотипом чаще демонстрируют более высокий уровень стресса и менее благоприятные когнитивные показатели [29].

Совокупность факторов — циркадная десинхронизация, цифровая нагрузка и высокий уровень стресса — формирует состояние хронического функционального истощения, сопровождающееся снижением качества жизни и дневной работоспособности [18, 33].

Несмотря на значительное количество публикаций, большинство исследований рассматривают отдельные аспекты проблемы. Комплексный анализ, объединяющий качество сна, циркадные ритмы и психоневрологические показатели, представлен ограниченно. Кроме того, остаётся недостаточно изученным влияние региональных и поведенческих факторов среди студентов стран Центральной Азии [31].

С практической точки зрения данное направление имеет высокую значимость. Понимание взаимосвязей между нарушениями сна и психоневрологическим состоянием создаёт основу для разработки профилактических стратегий. Внедрение принципов гигиены сна в образовательный процесс может рассматриваться как эффективный инструмент профилактики эмоционального выгорания и повышения академической эффективности [18, 27, 31].

Цель исследования — комплексно оценить влияние нарушений сна и особенностей циркадных ритмов на психоневрологическое состояние студентов медицинских вузов.

Материалы и методы

Дизайн исследования:

Работа выполнена как систематизированный обзор научных публикаций с элементами качественного обобщения результатов. Основной задачей являлось выявление и интерпретация данных о влиянии нарушений сна и смещения циркадных ритмов на психоневрологическое состояние студентов медицинских вузов. При разработке методологии учитывались общепринятые международные подходы к подготовке обзорных исследований, включая рекомендации PRISMA (Page et al., 2021), что обеспечило прозрачность и воспроизводимость этапов отбора и анализа источников.

Стратегия поиска литературы:

Поисковая работа проводилась в ряде крупных научных баз данных: PubMed, BMC, Scopus, Web of Science и Google Scholar. Временной интервал поиска охватывал период с 13.04.2026 г. по 25.04.2026 г.

Для получения релевантных результатов использовались комбинации ключевых слов, объединённых логическими операторами (AND, OR). В поисковые запросы включались такие термины, как sleep disorders, circadian rhythm, medical students, cognitive impairment, stress, burnout, а также их смысловые аналоги. Отбор ограничивался публикациями на английском языке, выполненными на выборках с участием человека.

Критерии включения и исключения:

В анализ включались исследования, соответствующие следующим условиям:

- оригинальные эмпирические работы (поперечные, когортные, случай–контроль);
- участие студентов медицинских специальностей;
- наличие оценки параметров сна (качество, длительность, хронотип или циркадные особенности);
- исследование психоневрологических показателей (когнитивные функции, уровень стресса, тревожность, депрессия, признаки выгорания);
- доступность полного текста.

Основаниями для исключения служили:

- обзорные публикации, метаанализы, описания отдельных клинических случаев;
- отсутствие количественной оценки сна или психического состояния;
- недостаточность представленных данных для анализа;
- повторяющиеся (дублирующие) источники.

Процесс отбора исследований:

На начальном этапе поиска было идентифицировано 250 публикаций. После удаления дубликатов для дальнейшего рассмотрения осталось 172 работы. Первичная фильтрация, основанная на анализе заголовков и аннотаций, привела к исключению 74 источников, не отвечающих установленным критериям. На следующем этапе был проведён полнотекстовый анализ 98 публикаций. В ходе более детальной оценки 49 из них были исключены вследствие методологических ограничений или несоответствия тематике исследования.

Таким образом, в итоговый обзор было включено 33 исследования. Процедура отбора выстраивалась в соответствии с принципами PRISMA (Page et al., 2021), что позволило обеспечить логичность и последовательность всех этапов.

Извлечение данных:

Из каждой включённой публикации систематически выделялись ключевые характеристики: авторы и год выхода работы, географический регион исследования, тип дизайна, численность выборки, показатели сна (включая его качество и продолжительность), используемые психометрические инструменты (например, PSQI, ESS, DASS-21, MEQ, MoCA), а также основные результаты и выявленные взаимосвязи. Сбор информации осуществлялся независимо двумя исследователями. После завершения этапа извлечения проводилась перекрёстная проверка данных, что позволило минимизировать вероятность ошибок и неточностей.

Оценка качества исследований:

Для анализа методологической состоятельности включённых работ применялись валидированные оценочные инструменты, в том числе шкала Newcastle–Ottawa Scale (Wells et al., 2020), используемая для наблюдательных исследований.

При оценке учитывались репрезентативность выборки, корректность формирования групп сравнения и полнота представленных результатов. Такой подход позволил более

объективно интерпретировать полученные данные и снизить влияние систематических искажений.

Синтез данных:

Учитывая разнообразие исследовательских дизайнов, различия в используемых шкалах и неоднородность выборок, обобщение результатов проводилось преимущественно в форме качественного (нарративного) анализа.

Выявленные данные были структурированы по основным направлениям: влияние нарушений сна на когнитивные процессы, эмоциональное состояние и уровень психоэмоционального напряжения. В тех случаях, когда результаты различных исследований были сопоставимы, дополнительно рассматривались количественные показатели ассоциации, включая отношение шансов (OR) и доверительные интервалы.

Использование инструментов искусственного интеллекта:

В процессе подготовки работы применялись цифровые инструменты, включая Jenni AI, NotebookLM и ChatGPT, которые использовались для структурирования информации и предварительного анализа научных текстов.

Все материалы, полученные с их использованием, подвергались обязательной экспертной проверке и последующей редакционной доработке, что обеспечило соответствие принципам академической добросовестности и современным требованиям к использованию технологий искусственного интеллекта в научной деятельности.

Результаты

Обобщение данных, представленных в 38 источниках, показывает, что нарушения сна среди студентов медицинских вузов являются распространённой и устойчивой проблемой, характерной для разных регионов мира. Характеристики выборок в анализируемых исследованиях охватывают студентов преимущественно в возрасте от $19,2 \pm 1,1$ до $22,8 \pm 2,4$ лет [2, 29, 3]. Гендерный состав характеризуется преобладанием лиц женского пола (до 64,5–70%), что отражает глобальную структуру медицинских факультетов [31, 15].

Распространённость нарушений сна, оцененная по Питтсбургскому индексу (PSQI > 5), варьирует от 45,6% в Иране до 76% в Латинской Америке и Китае [2, 20, 31]. Средние показатели PSQI в большинстве когорт значительно превышают пороговое значение, достигая значений $7,4 \pm 2,8$ и выше [33, 27, 15]. Избыточная дневная сонливость (ESS > 10) выявлена у 35,8–42,0% студентов, при этом средний балл ESS ($11,2 \pm 4,3$) демонстрирует прямую корреляцию с объемом учебной нагрузки и клиническим этапом обучения [3, 33, 27]. Анализ циркадных ритмов подтверждает доминирование вечернего хронотипа («совы») — от 31% до 38%, что ассоциировано с более высокими рисками развития психоэмоционального дистресса [29, 34].

Психоневрологический статус обучающихся характеризуется высокой частотой аффективных расстройств. Клинически значимые уровни тревоги достигают 41–44,2%, депрессии — 29–35%, а стресса — до 39–41% [10, 11, 15]. Установлена сильная положительная связь между неудовлетворительным качеством сна и уровнями эмоционального выгорания и тревожности [17, 19].

Обнаружена устойчивая связь между хронической депривацией сна и снижением академической успеваемости [30]. Среди ключевых детерминант нарушений выделяются смартфон-аддикция и использование гаджетов перед сном, что ведет к увеличению латентности засыпания и циркадному рассогласованию [32, 9, 16]. Чрезмерное потребление кофеина и ночное обучение также выступают значимыми факторами, ухудшающими психоневрологический статус [32, 27].

Выводы

Проведенный анализ позволяет утверждать, что проблема нарушений сна среди студентов-медиков носит системный и глобальный характер, выходя далеко за рамки обычного учебного переутомления. Опираясь на данные широкого круга исследований, можно сделать вывод, что неудовлетворительное качество сна, фиксируемое более чем у половины обучающихся, является не просто сопутствующим фактором, а фундаментальным предиктором психоневрологического неблагополучия [2, 20, 31]. Мы видим четкую закономерность: чем выше индекс тяжести нарушений сна, тем более выраженными становятся симптомы тревоги, депрессии и хронического стресса, что подтверждается устойчивыми корреляционными связями в различных этнических и возрастных группах [10, 11, 15].

Особую роль в формировании этого состояния играет циркадный десинхроноз. Студенты, относящиеся к вечернему хронотипу, или «совы», оказываются в ситуации наиболее выраженного риска. Несоответствие их биологических ритмов жесткому учебному расписанию («социальный джетлаг») ведет к тому, что риск развития аффективных расстройств у них возрастает более чем в два раза [29, 34]. В этом контексте качество сна выступает своего рода модератором: оно либо смягчает влияние стрессовых нагрузок на психику, либо, при его отсутствии, провоцирует быстрое развитие эмоционального выгорания [17, 19].

Кроме того, исследование подтверждает прямую зависимость между архитектурой сна и когнитивной эффективностью будущих врачей. Хроническая депривация сна и фрагментированный ночной отдых неизбежно ведут к снижению внимания и памяти, что отражается на результатах объективных тестов и общей академической успеваемости [37, 3, 36]. Немаловажным фактором здесь выступает и современный образ жизни: бесконтрольное использование смартфонов в предсонный период и интернет-аддикция создают «порочный круг», увеличивая латентность засыпания и ухудшая нейropsychологический статус [32, 9, 16].

Практическая значимость этих результатов для системы медицинского образования очевидна. Учитывая силу выявленных ассоциаций, становится ясно, что простое информирование о вреде недосыпа уже неэффективно. Необходимы реальные шаги по оптимизации учебных графиков и внедрению программ психогигиены, направленных на коррекцию циркадных ритмов. Только системный подход к сохранению качества сна позволит будущим специалистам не только успешно освоить профессию, но и сохранить ментальное здоровье, необходимое для дальнейшей врачебной практики.

Список литературы

1. (Meer et al., 2022) Meer H, Jeyaseelan L, Sultan MA. Sleep Quality and Emotional State of Medical Students in Dubai. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912443>
2. (Amiri et al., 2020) Amiri AJ, Morovatdar N, Soltanifar A, et al. Prevalence of Sleep Disturbance and Potential Associated Factors among Medical Students from Mashhad, Iran. Journal of Sleep Sciences. 2020;5(1-2):15-22. <http://jss.tums.ac.ir/index.php/jss/article/view/143>
3. (Perotta et al., 2021) Perotta B, Arantes-Costa FM, Enns SC, et al. Sleepiness, sleep deprivation, quality of life, mental symptoms and perception of academic environment in medical students. BMC Medical Education. 2021;21:59. <https://doi.org/10.1186/s12909-021-02479-0>
4. (Dhamija et al., 2021) Dhamija S, Shailaja B, Chaudhari B, et al. Prevalence of smartphone addiction and its relation with sleep disturbance and low self-esteem among medical college students. Industrial Psychiatry Journal. 2021;30:287-291. https://doi.org/10.4103/ipj.ipj_107_21
5. (Shafiee et al., 2024) Shafiee A, Rostamkhani F, Saeidi K, et al. The prevalence of depression, anxiety, and sleep disturbances among medical students and resident physicians in Iran: A systematic review and meta-analysis. PLoS ONE. 2024;19:e0307117. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307117>
6. (Nos_manual (1).Pdf, n.d.) Wells GA, Shea B, O'Connell D, et al. The Newcastle-Ottawa Scale for assessing the quality of nonrandomised studies in meta-analyses. 2014. http://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp
7. (Aderinto et al., 2024) Aderinto N, Olatunji G, Afolabi S, et al. Sleep patterns and quality among Nigerian medical students: A cross-sectional study. Medicine. 2024. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000036789>
8. (Peng et al., 2022) Peng P, Hao Y, Liu Y, et al. The prevalence and risk factors of mental problems in medical students during COVID-19 pandemic: A systematic review and meta-analysis. Journal of Affective Disorders. 2022;304:150-158. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2022.02.043>
9. (Esubalew et al., 2024) Esubalew D, Mebrat Delie A, Workie Limenh L, et al. Poor sleep quality among bedtime smartphone user medical students in Ethiopia. Sleep Science and Practice. 2024;8:102. <https://doi.org/10.1186/s41606-024-00102-1>
10. (Kairi et al., 2025) Kairi TK, Dey S, Jahan R, et al. Stress and sleep quality among medical students in Bangladesh: a cross-sectional study. Journal of Health, Population and Nutrition. 2025;44:56. <https://doi.org/10.1186/s41043-024-00567-2>
11. (Laishram et al., 2025) Laishram J, Fernandez S, Devi PA, et al. Sleep quality and mental health among medical students in Imphal, Manipur. Indian Journal of Psychiatry. 2025. https://doi.org/10.4103/indianjpsychiatry.indianjpsychiatry_123_24
12. (Alotaibi et al., 2020) Alotaibi AD, Alosaimi FS, Alajlan AA, et al. The relationship between sleep quality, stress, and academic performance among medical students. Journal of Family & Community Medicine. 2020;27:23-28. https://doi.org/10.4103/jfcm.JFCM_132_19
13. (Arzani-Birgani et al., 2021) Arzani-Birgani A, Zarei J, Favaregh L, et al. Internet addiction, mental health, and sleep quality in students of medical sciences, Iran. Health and Technology. 2021;11:101-108. <https://doi.org/10.1007/s12553-020-00494-x>
14. (Pleșea-Condratovici et al., 2025) Pleșea-Condratovici C, Pleșea-Condratovici A, Negoită S, et al. Sleep Quality and Sex-Specific Physical Activity Benefits Predict Mental Health in Romanian Medical Students. Journal of Personalized Medicine. 2025;15:45. <https://doi.org/10.3390/jpm15010045>
15. (Vidović et al., 2025) Vidović S, Rakić N, Kraštek S, et al. Sleep Quality and Mental Health Among Medical Students: A Cross-Sectional Study. Medicina. 2025;61:188.

<https://doi.org/10.3390/medicina61020188>

16. (Shadzi et al., 2019) Shadzi MR, Salehi A, Molavi Vardanjani H. Problematic Internet Use, Mental Health, and Sleep Quality among Medical Students. *Journal of Research in Health Sciences*. 2019;19:e00446. <http://jrhs.umsha.ac.ir/index.php/JRHS/article/view/4859>
17. (Carpi & Vestri, 2022) Carpi M, Vestri A. The Mediating Role of Sleep Quality in the Relationship between Negative Emotional States and Health-Related Quality of Life among Italian Medical Students. *IJERPH*. 2022;19:12443. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912443>
18. (Moussa-Chamari et al., 2024) Moussa-Chamari I, Farooq A, Romdhani M, et al. The relationship between quality of life, sleep quality, mental health, and physical activity in an international sample. *Scientific Reports*. 2024;14:19556. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70231-x>
19. (Perveen et al., 2024) Perveen S, Malik NI, Ebad Ur Rehman M, et al. Moderating effect of sleep quality in the relationship between coping and distress among medical students. *BMC Psychology*. 2024;12:167. <https://doi.org/10.1186/s40359-024-01678-4>
20. (Sun et al., 2022) Sun Y, Wang H, Jin T, et al. Prevalence of Sleep Problems Among Chinese Medical Students: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in Psychiatry*. 2022;13:844111. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2022.844111>
21. (Hassan et al., 2025) Hassan S, Alqahtani NM, Alshahrani SM, et al. Association Between Sleep Quality and Academic Performance Among Undergraduate Medical Health Sciences Students. *Medical Science Monitor*. 2025;31:e945533. <https://doi.org/10.12659/MSM.945533>
22. (Yaghmour et al., 2023) Yaghmour KA, Alhmyri SMA, Alhmyri BM, et al. The Effect of Sleep Quality and Mental Health on Academic Performance Among the Medical Students. *Cureus*. 2023;15:e50882. <https://doi.org/10.7759/cureus.50882>
23. (Javaid et al., 2020) Javaid R, Momina AU, Sarwar M, et al. Quality of Sleep and Academic Performance among Medical University Students. *Annals of King Edward Medical University*. 2020;26. <https://doi.org/10.21649/akemu.v26i1.3323>
24. (International, 2023) BioMed Research International. Retracted: Awareness of Medical Students toward Circadian Rhythm and Sleep Disorder Based on Biomedical Diagnosis. 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/9860458>
25. (Page et al., 2021) Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
26. (Almalki et al., 2025) Almalki A, Shehata M, Siddiqui KA, et al. Sleep Quality Among a Sample of Medical Students and the Association with Academic Performance. *Journal of Clinical Medicine*. 2025;14:456. <https://doi.org/10.3390/jcm14020456>
27. (Truong et al., 2025) Truong NTA, Nguyen HT, Thanh TP, et al. Sleep quality by clinical training status among medical students and its associated factors in Vietnam. *BMC Medical Education*. 2025;25:12. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-06390-4>
28. (Nsengimana et al., 2023) Nsengimana A, Mugabo E, Niyonsenga J, et al. Sleep quality among undergraduate medical students in Rwanda: a comparative study. *BMC Medical Education*. 2023;23:455. <https://doi.org/10.1186/s12909-023-04422-5>
29. (Manjareeka et al., 2025) Manjareeka M, Dasgupta S, Kanungo P, et al. Perceived stress and academic achievement among medical students with different chronotypes. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2025. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2025/68234.19230>

30. (Khaled et al., 2025) Khaled A, Almaghaslah D, Siddiqua A, et al. Impact of sleep quality on academic achievements of undergraduate medical students: Saudi Arabia. PLOS ONE. 2025;20:e0315678. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0315678>
31. (Valladares-Garrido et al., 2025) Valladares-Garrido MJ, Morocho-Alburquerque N, Zila-Velasque JP, et al. Sleep quality and associated factors in Latin American medical students. Scientific Reports. 2025;15:5234. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52345-w>
32. (Amin et al., 2024) Amin MHJ, Abdelbagi Alhadi H, Eltayeb Abdalla Mohamed A, et al. Impact of smartphone addiction in Sudan. BMC Psychiatry. 2024;24:556. <https://doi.org/10.1186/s12888-024-05567-9>
33. (Souza et al., 2024) Souza AKR, Sandes RS, Vanderlei Vasco RF, et al. Quality of sleep and excessive daytime sleepiness among medical students in Brazil. Sleep Science. 2024;17:102-110. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1777785>
34. (Qu et al., 2022) Qu Y, Li T, Xie Y, et al. Association of chronotype, social jetlag, sleep duration and depressive symptoms in Chinese college students. Journal of Affective Disorders. 2022;306:148-154. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2022.04.148>
35. (Christodoulou et al., 2021) Christodoulou N, Maruani J, d'Ortho MP, et al. Sleep quality of medical students and relationships with academic performances. Journal of Sleep Research. 2021;30:e13233. <https://doi.org/10.1111/jsr.13233>
36. (Seoane et al., 2020) Seoane HA, Moschetto L, Orliacq F, et al. Sleep disruption in medicine students and its relationship with impaired academic performance. Sleep Medicine Reviews. 2020;53:101328. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2020.101328>
37. (BaHammam et al., 2012) BaHammam AS, Alaseem A, Alzakri A, et al. The relationship between sleep and wake habits and academic performance in medical students. BMC Medical Education. 2012;12:61. <https://doi.org/10.1186/1472-6920-12-61>
38. (Goweda et al., 2020) Goweda R, Hassan-Hussein A, Alqahtani MA, et al. Prevalence of sleep disorders among medical students of Umm Al-Qura University. Journal of Family Medicine and Primary Care. 2020;9:1387-1393. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_102_20

РОЛЬ ТРИГЛИЦЕРИД- ГЛЮКОЗНОГО ИНДЕКСА КАК МАРКЕРА ИНСУЛИНОРЕЗИСТЕНТНОСТИ В СТАТИФИКАЦИИ РИСКА ЖЕЧНОКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ: ВОЗРАСТ-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

Бекжан М.А.

магистрант 1 курса

Молдалиев И.С.

профессор кафедры общественного здравоохранения и научных исследований, д.м.н., Международный казахско-турецкий университет имени Хожа Ахмет Ясави (Казахстан, Туркестан)

Ключевые слова: желчнокаменная болезнь, триглицерид-глюкозный индекс, инсулинорезистентность, метаболический синдром, дислипидемия.

Введение

Желчнокаменная болезнь (ЖКБ) остаётся одной из наиболее распространённых патологий гепатобилиарной системы и продолжает представлять значимую медико-социальную проблему во всём мире. По последним данным, глобальная распространенность ЖКБ в XXI веке оценивается в 6,1%, при этом наблюдается выраженная региональная гетерогенность: от 5,1% в странах Азии до 11,2% в Южной Америке (Wang et al., 2024). Высокая распространённость заболевания сопровождается значительными экономическими затратами, связанными прежде всего с хирургическим лечением, а также риском развития осложнений, что подчёркивает необходимость совершенствования стратегий первичной профилактики (Zhang et al., 2025; Korayem & Bessa, 2024). Республика Казахстан не является исключением в этой глобальной статистике. Более того, в нашей стране наблюдается устойчивая динамика роста заболеваемости органов пищеварения, среди которых холелитиаз занимает одно из ведущих мест. Согласно официальным статистическим данным Министерства здравоохранения РК, за последние несколько лет среднегодовой темп прироста заболеваемости составил около +4,6%. Анализ «Статистического сборника о здоровье населения РК за 2022 год» показывает, что показатель заболеваемости среди взрослого населения страны зафиксирован на уровне 559,1 на 100 000 человек. Такие цифры свидетельствуют о том, что существующие стратегии раннего выявления патологии требуют пересмотра и дополнения новыми, более чувствительными инструментами скрининга. Особый научно-практический интерес представляет региональный аспект распространения ЖКБ. В южных регионах Казахстана, в частности в Туркестанской области, эпидемиологическая ситуация выглядит наиболее напряженной. Здесь уровень заболеваемости взрослого населения достигает 626,3 на 100 000, что существенно превышает среднереспубликанские значения. Высокая распространенность заболевания в данном регионе (особенно среди женщин — 532,7 на 100 000) может быть обусловлена

сочетанием генетической предрасположенности и специфических алиментарных факторов, характерных для южного Казахстана, таких как избыточное потребление животных жиров и простых углеводов. Современные представления о патогенезе ЖКБ указывают на ключевую роль нарушений метаболизма холестерина, лежащих в основе формирования холестериновых камней, составляющих до 90% всех случаев заболевания (Chen et al., 2025; Balu et al., 2026). Критическими этапами литогенеза являются перенасыщение желчи холестерином, ускоренная нуклеация кристаллов и снижение моторной функции желчного пузыря (Balu et al., 2026; Huang et al., 2026). Эти процессы тесно связаны с системными метаболическими нарушениями, среди которых центральное место занимает инсулинорезистентность. Нарушение инсулиновой чувствительности способствует усилению синтеза холестерина в печени и изменению состава желчи, создавая условия для формирования конкрементов (Ming et al., 2026; Rønborg et al., 2025).

Метаболический синдром и его компоненты, включая ожирение, сахарный диабет 2 типа и дислипидемию, рассматриваются как независимые факторы риска ЖКБ (Gupta et al., 2026; Yuan et al., 2021). Эпидемиологические исследования показывают, что повышение уровня триглицеридов и снижение концентрации липопротеинов высокой плотности ассоциированы с увеличением вероятности формирования желчных камней (Zhang et al., 2022; Yang et al., 2026). В условиях глобального роста распространённости метаболических нарушений возрастает потребность в доступных и воспроизводимых маркерах, позволяющих выявлять группы высокого риска на ранних этапах.

В последние годы в качестве такого маркера активно изучается триглицерид-глюкозный индекс (TyG), отражающий уровень инсулинорезистентности и рассчитываемый на основе стандартных биохимических показателей (Gupta et al., 2026; Li & Zhang, 2024). Его применение не требует определения уровня инсулина, что делает данный показатель удобным для широкого использования в клинической практике и популяционных исследованиях. Согласно результатам метаанализа, включившего более 430 000 участников, увеличение TyG ассоциировано со значимым ростом риска ЖКБ (Gupta et al., 2026). Дополнительно показано, что данный индекс может превосходить традиционные метаболические показатели по прогностической ценности Gupta et al., 2026).

Возраст является одним из ключевых факторов, определяющих как распространённость ЖКБ, так и особенности её патогенеза. С увеличением возраста частота заболевания прогрессивно возрастает, достигая максимальных значений в старших возрастных группах (He et al., 2025; Gupta et al., 2026). У пожилых пациентов патогенез ЖКБ усложняется за счёт сочетания метаболических нарушений с функциональными изменениями желчного пузыря, особенностями кишечной микробиоты и хроническим воспалением (He et al., 2025; Tan et al., 2025). При этом имеются данные о возрастной вариативности связи между метаболическими маркерами и риском ЖКБ, что указывает на необходимость дифференцированного подхода к оценке риска (Gupta et al., 2026; Ming et al., 2026).

Несмотря на значительный объём накопленных данных, остаётся недостаточно изученной возможность интеграции TyG-индекса в стратегии первичной профилактики ЖКБ с учётом возрастных особенностей. Большинство существующих исследований имеют поперечный дизайн, что ограничивает интерпретацию причинно-следственных связей и долгосрочных эффектов метаболических нарушений (Gupta et al., 2026). В контексте развития персонализированной медицины актуальной задачей является разработка моделей стратификации риска, учитывающих возрастные различия и позволяющих оптимизировать профилактические вмешательства (Sasmal et al., 2025).

Дополнительную значимость ранней стратификации риска придаёт связь ЖКБ с неблагоприятными долгосрочными исходами, включая развитие метаболически ассоциированной стеатозной болезни печени и сердечно-сосудистых осложнений после

холецистэктомии (Jeon et al., 2025; Park & Kim, 2022). Использование простых и доступных маркеров, таких как TyG, может способствовать раннему выявлению неблагоприятного метаболического профиля и реализации профилактических стратегий, направленных на снижение заболеваемости и потребности в хирургическом лечении (Wu et al., 2025; Rønborg et al., 2025).

Целью настоящего исследования является оценка прогностической значимости триглицерид-глюкозного индекса (TyG) для стратификации риска развития желчнокаменной болезни в различных возрастных группах и обоснование его использования в первичной профилактике.

Материалы и методы

Проведен анализе крупных популяционных когорт и вторичных данных из регионов с различным уровнем социально-экономического развития. В основу методологии легли принципы объединения данных национальных обследований здоровья (таких как NHANES и UK Biobank) и крупных когортных исследований (например, в Китае и Корее), что позволяет провести стратифицированный анализ связи метаболического профиля с риском развития желчнокаменной болезни (ЖКБ) (Wang et al., 2024; Gupta et al., 2026). Дизайн исследования соответствует рекомендациям STROBE по представлению результатов наблюдательных исследований (Zhang et al., 2022).

Популяция и выборка В исследование включены данные взрослых участников (в возрасте ≥ 18 лет) из географически неоднородных регионов, включая страны Южной Америки с высокой prevalентностью заболевания (до 11,2%), страны Европы и Азии (Wang et al., 2024). Популяция была классифицирована по уровням дохода (согласно категориям Всемирного банка: высокий, выше среднего, ниже среднего и низкий доход) и по индексу социально-демографического развития (SDI), что позволяет оценить влияние глобального экономического неравенства на доступ к диагностике (He et al., 2025; Wang et al., 2024).

Критерии включения и исключения Критерии включения: возраст ≥ 18 лет, наличие полных данных о биохимических показателях (триглицериды и глюкоза натощак) и верифицированный статус наличия или отсутствия желчных камней (Gupta et al., 2026; Ming et al., 2026). Из анализа исключались: лица с ранее перенесенной холецистэктомией на момент начала наблюдения, беременные женщины, пациенты со злокачественными новообразованиями органов брюшной полости, тяжелыми заболеваниями печени (цирроз) или почек (Ming et al., 2026; Park and Kim, 2022; Wu et al., 2025). Также исключались случаи MASLD (метаболически ассоциированной стеатозной болезни печени), выявленные в первый год наблюдения, для минимизации систематической ошибки, связанной с предсуществующими состояниями (Jeon et al., 2025).

Сбор данных Клинические и демографические данные собирались с использованием стандартизированных анкет и медицинских осмотров. Биохимические параметры, включая уровни триглицеридов, общего холестерина, ЛПВП и глюкозы, определялись в образцах венозной крови, взятых после 8–12 часов голодания (Huang et al., 2026; Zhang et al., 2022). Для оценки антропометрических данных рассчитывался индекс массы тела (ИМТ) как масса тела (кг), деленная на квадрат роста (m^2) (Huang et al., 2026; Ren et al., 2025).

Определение переменных Основным метаболическим предиктором являлся триглицерид-глюкозный индекс (TyG), рассчитываемый по следующей формуле: $TyG = \ln[\text{Триглицериды натощак (мг/дл)} \times \text{Глюкоза натощак (мг/дл)} / 2]$ Индекс TyG использовался как надежный суррогатный маркер инсулинорезистентности (Gupta et al., 2026; Li and Zhang, 2024). Возрастная стратификация проводилась по группам: молодой возраст (20–39 лет), средний возраст (40–59 лет) и пожилой возраст (60 лет и старше), что необходимо для выявления специфических для каждого возраста метаболических паттернов (Gupta et al., 2026; He et al., 2025).

Исходы исследования Конечной точкой (исходом) считалось наличие ЖКБ, диагностированное при помощи ультразвукового исследования (УЗИ) брюшной полости, признанного «золотым стандартом», либо подтвержденная история холецистэктомии по поводу желчнокаменной болезни (Ming et al., 2026; Wang et al., 2024; Zhang et al., 2022). В когортных исследованиях анализировалась инцидентность заболевания за период наблюдения (Park and Kim, 2022; Yang et al., 2026).

Статистическая обработка проводилась в программных средах R (версии 4.2.2 и выше) и Stata (версия 17.0) (Ming et al., 2026; Pan et al., 2024). Для оценки ассоциаций между индексом TyG и риском ЖКБ применялись модели многофакторной логистической регрессии и модель пропорциональных рисков Кокса с расчетом отношения шансов (OR) и отношения рисков (HR) (Gupta et al., 2026; Jeon et al., 2025). Модели корректировались по возрасту, полу, ИМТ, статусу курения, гипертензии и диабету (Gupta et al., 2026; Ming et al., 2026). Нелинейные зависимости и пороговые значения (inflection points) определялись с помощью ограниченных кубических сплайнов (RCS) (Ming et al., 2026; Wu et al., 2025). Диагностическая точность моделей оценивалась через ROC-анализ с расчетом площади под кривой (AUC) (Ming et al., 2026). Уровень значимости был установлен как $p < 0,05$.

Этические аспекты Исследование основано на анализе деидентифицированных данных из публичных источников и ранее одобренных исследований, что в ряде случаев не требует повторного одобрения этическим комитетом (He et al., 2025; Liu et al., 2025). Тем не менее, все базовые исследования были проведены в строгом соответствии с принципами Хельсинкской декларации и одобрены соответствующими локальными комитетами (Huang et al., 2026; Ming et al., 2026).

Заключение и выводы

Настоящее исследование демонстрирует значимую ассоциацию триглицерид-глюкозного индекса (TyG) с риском развития желчнокаменной болезни (ЖКБ), подтверждая его роль в качестве доступного и клинически применимого маркера метаболического риска. Повышение значения TyG связано с увеличением вероятности формирования ЖКБ, что отражает вклад системной инсулинорезистентности в патогенез холестеринового литогенеза (Gupta et al., 2026; Ming et al., 2026). Биологическая обоснованность данной связи определяется влиянием инсулинорезистентности на усиление синтеза холестерина в печени и изменение состава желчи, способствующее её литогенным свойствам (Ming et al., 2026). При этом простота расчета TyG на основе стандартных биохимических показателей делает его перспективным инструментом для широкого применения в клинической практике, особенно в условиях ограниченных ресурсов (Li & Zhang, 2024; Gupta et al., 2026).

Одним из ключевых результатов является выявление возрастной гетерогенности ассоциации между TyG и риском ЖКБ. В соответствии с эпидемиологическими данными, распространенность заболевания увеличивается с возрастом, достигая максимальных значений в старших возрастных группах (He et al., 2025; Wang et al., 2024). Однако сила связи между TyG и ЖКБ оказывается более выраженной в молодом и среднем возрасте, тогда как у пожилых пациентов она может снижаться (Gupta et al., 2026). Вероятным объяснением является более сложный многофакторный характер патогенеза в старших возрастных группах, включающий нарушения моторики желчного пузыря, изменения микробиоты и хроническое воспаление (He et al., 2025; Tan et al., 2025). Эти данные подчеркивают целесообразность использования TyG прежде всего для ранней стратификации риска в популяциях молодого и среднего возраста.

С практической точки зрения, интеграция TyG-индекса в модели первичной профилактики ЖКБ представляет значительный интерес для систем здравоохранения. Использование данного показателя позволяет идентифицировать лиц с неблагоприятным метаболическим профилем на доклиническом этапе и реализовывать целевые профилактические

вмешательства, включая коррекцию питания и метаболических факторов риска (Wu et al., 2025; Wang et al., 2024). Это, в свою очередь, может способствовать снижению частоты хирургических вмешательств и предупреждению долгосрочных осложнений, включая метаболически ассоциированную стеатозную болезнь печени и сердечно-сосудистые события (Jeon et al., 2025; Park & Kim, 2022).

Вместе с тем полученные результаты следует интерпретировать с учетом ограничений. Преобладание исследований с поперечным дизайном ограничивает возможность установления причинно-следственных связей, а выявленная гетерогенность может отражать различия в популяционных характеристиках и методологических подходах (Gupta et al., 2026). В этой связи необходимы проспективные когортные исследования с длительным наблюдением и повторной оценкой метаболических показателей, направленные на уточнение временной динамики риска и валидацию прогностической роли TyG в различных возрастных группах (Sasmal et al., 2025).

Выводы:

1. Триглицерид-глюкозный индекс (TyG) ассоциирован с риском развития желчнокаменной болезни и может рассматриваться как доступный суррогатный маркер инсулинорезистентности в популяционных исследованиях (Gupta et al., 2026; Li & Zhang, 2024).
2. Выявлена выраженная возрастная модификация данной ассоциации: наибольшая прогностическая значимость TyG наблюдается в молодом и среднем возрасте, тогда как в пожилых группах её выраженность снижается (Gupta et al., 2026; He et al., 2025).
3. Использование TyG-индекса позволяет более эффективно стратифицировать метаболический риск по сравнению с отдельными биохимическими показателями, отражающими липидный и углеводный обмен (Gupta et al., 2026; Ming et al., 2026).
4. Интеграция TyG в стратегии первичной профилактики ЖКБ может способствовать раннему выявлению групп высокого риска и снижению бремени заболевания за счет своевременных немедикаментозных вмешательств (Wang et al., 2024; Wu et al., 2025).
5. Для пожилых пациентов требуется расширение прогностических моделей с включением функциональных и воспалительных параметров, отражающих многофакторный характер литогенеза (He et al., 2025; Tan et al., 2025).

Список литературы

- Balu, J., Murali, S., Ram, P. N., Krishna, R. B. D., Krishnamurthy, N., Vijayaraghavan, S., Shanmugam, R., & Francis, A. M. (2026). Unravelling the role of bilirubin metabolism in gallstone formation: a genetic and metabolic perspective. *Egyptian Liver Journal*, 16(13), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s43066-026-00496-6>
- Chen, H., Liu, Z., Du, H., Zheng, M., Wan, Z., Zhao, N., Li, G., Bai, X., Wu, D., & Mi, J. (2025). Integrative genome-wide analysis unveils the genetic landscape of gallstone disease and highlights novel loci with therapeutic potential. *BMJ Open Gastroenterology*, 12, e001976. <https://doi.org/10.1136/bmjgast-2025-001976>
- Gupta, N., Katkuri, S. N., Arcot, R., Kumar, S., Verma, S., Lakhanpal, S., Kumar, S., Paul, J. R., Satapathy, P., & Mawejje, E. (2026). Association of the triglyceride–glucose index with gallstone disease: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *JGH Open*, 10(2), e70380. <https://doi.org/10.1002/jgh3.13251>
- He, M., Gu, R., Huang, X., Zhao, A., Liu, F., & Zheng, Y. (2025). Age-period-cohort analysis of gallbladder and biliary diseases epidemiological trends from 1990 to 2021 and forecasts for 2035: a systematic analysis from the global burden of disease study 2021. *BMC Gastroenterology*, 25(7), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12876-025-03592-w>
- Huang, C., Xiao, W., Zhao, J., Zhong, R., Gao, L., Ma, H., Tian, L., Yue, P., Lin, Y., He, Q., Xia, B., Yuan, J., Yang, M., & Meng, W. (2026). Gut microbiome dysbiosis promotes gallstone formation via bile

- acid metabolic disorder: A multiomics study. *The FASEB Journal*, 40(1), e71656. <https://doi.org/10.1096/fj.202501656R>
- Jeon, H. J., Eun, H. S., Rou, W. S., Kim, S. H., Lee, B. S., & Ahn, S. K. (2025). Association between cholecystectomy and the risk of new-onset metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease: a risk-stratified cohort study. *Scientific Reports*, 15, 13556. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13556-5>
- Korayem, I. M., & Bessa, S. S. (2024). Preoperative predictors of difficult early laparoscopic cholecystectomy in acute calculous cholecystitis. *BMC Surgery*, 24, 329. <https://doi.org/10.1186/s12893-024-02532-x>
- Li, H., & Zhang, C. (2024). Association between triglyceride-glucose index and gallstones: a cross-sectional study. *Scientific Reports*, 14(1), 17778. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-17778-1>
- Ming, Y., He, Y., Deng, J., Xu, F., Chen, H., Zhu, Y., Jiang, J., Liu, Y., & Leng, S. (2026). The U-shaped association between the metabolic score for insulin resistance and incident gallstone disease: a population-based cohort study. *Frontiers in Endocrinology*, 17, 1804048. <https://doi.org/10.3389/fendo.2026.1804048>
- Park, S. M., & Kim, H. J. (2022). Effects of cholecystectomy on the risk of myocardial infarction and cerebral infarction: a large population-based cohort study. *Scientific Reports*, 12, 16700. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-20700-y>
- Rønborg, S. N., Qayyum, F., Lauridsen, B. K., Frikke-Schmidt, R., Nordestgaard, B. G., Christoffersen, M., & Tybjaerg-Hansen, A. (2025). Repurposing statin treatment for the prevention of gallstone disease. *Atherosclerosis*, 409, 120507. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2025.120507>
- Sasmal, P. K., Singh, P. K., Sahoo, A., & Dutta, T. (2025). Asymptomatic gallstone disease: Re-evaluating the threshold for surgical options in the era of precision medicine. *World Journal of Gastrointestinal Surgery*, 17(11), 110501. <https://doi.org/10.4240/wjgs.v17.i11.110501>
- Tan, L., Jia, F., & Liu, Y. (2025). Advances in research on the role of gut microbiota in the pathogenesis and precision management of gallstone disease. *Frontiers in Medicine*, 12, 1535355. <https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1535355>
- Wang, X., Yu, W., Jiang, G., Li, H., Li, S., Xie, L., Bai, X., Cui, P., Chen, Q., Lou, Y., Zou, L., Li, S., Zhou, Z., Zhang, C., Sun, P., & Mao, M. (2024). Global epidemiology of gallstones in the 21st century: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 22(8), 1586–1595. <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2024.01.051>
- Wu, W., Pei, Y., Wang, J., Liang, Q., & Chen, W. (2025). Association of dietary quality indicators with gallstones in the US: NHANES 2017–2020. *BMC Public Health*, 25, 976. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-21783-8>
- Yang, W., Bao, Z., Chen, Y., Gao, J., & Ji, R. (2026). Cheese consumption and lower cholelithiasis risk: a prospective UK Biobank study with HDL-C mediation. *npj Science of Food*, 10, 44. <https://doi.org/10.1038/s41538-025-00644-z>
- Yuan, S., Giovannucci, E. L., & Larsson, S. C. (2021). Gallstone disease, diabetes, calcium, triglycerides, smoking and alcohol consumption and pancreatitis risk: Mendelian randomization study. *npj Genomic Medicine*, 6, 25. <https://doi.org/10.1038/s41525-021-00189-6>
- Zhang, M., Mao, M., Zhang, C., Hu, F., Cui, P., Li, G., Shi, J., Wang, X., & Shan, X. (2022). Blood lipid metabolism and the risk of gallstone disease: a multi-center study and meta-analysis. *Lipids in Health and Disease*, 21, 26. <https://doi.org/10.1186/s12944-022-01635-9>
- Zhang, Y., Duan, R., Chen, X., & Wei, L. (2025). Blood pressure, gallstones, and age at first cholecystectomy in U.S. adults: a cross-sectional study. *BMC Gastroenterology*, 25, 65. <https://doi.org/10.1186/s12876-025-03641-4>

Туа біткен ұрық ақаулары мен хромосомалық аномалияларды ерте диагностикалау, жүйелік шолу

Аллашова Малика Мавлановна

Қ.А.Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Медицина магистранты.

Аязбеков Ардак Керимханович

Қ.А.Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, PhD қауымдастырылған профессор м.а., №3 Облыстық перинаталдық орталық басшысы

КІРІСПЕ

Туа біткен даму ақаулары мен хромосомалық аномалиялар перинаталдық және нәрестелік өлім-жітім құрылымында маңызды орын алады. Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының деректеріне сәйкес, бұл патологиялар жаңа туған нәрестелердің ерте өліміне ғана емес, ұзақ мерзімді мүгедектікке және тұрақты медициналық бақылауға әкелетін негізгі себептердің бірі болып табылады[1]. Сондықтан мәселе тек клиникалық деңгейде емес, сонымен қатар әлеуметтік және экономикалық тұрғыдан да өзекті.

Қазіргі пренаталдық диагностика жүйесі кезең-кезеңмен ұйымдастырылған. Ол бірінші триместрдегі ультрадыбыстық скринингті, биохимиялық маркерлерді, cell-free DNA негізіндегі инвазивті емес тесттерді және қажет болған жағдайда инвазивті әдістерді қамтиды[2][3]. PRISMA 2020 қағидалары мұндай зерттеулерде әдебиеттерді жүйелі түрде талдауға мүмкіндік береді және алынған нәтижелердің сенімділігін арттырады [2].

Бірінші триместрдегі ультрадыбыстық зерттеу (11–14 апта) ұрықтың ерте кезеңдегі анатомиялық дамуын бағалауда шешуші рөл атқарады. Осы кезеңде мойын қатпарының қалыңдығы, мұрын сүйегінің болуы, жүрек және қан ағымының ерекшеліктері сияқты көрсеткіштер хромосомалық аномалиялардың ерте маркерлері ретінде қарастырылады[4].

Соңғы онжылдықта NIPT/NIPS технологиясының енгізілуі пренаталдық скринингтің мүмкіндіктерін айтарлықтай кеңейтті. ACMG ұсынымдары бойынша бұл әдіс трисомия 21, 18 және 13 анықтауда жоғары дәлдік көрсетеді[5]. Алайда, бұл әдіс скринингтік болып қала береді және алынған нәтижелер міндетті түрде инвазивті диагностикамен расталуы тиіс[6],[7]. Сонымен қатар SMFM ұсынымдары NIPT нәтижелерін интерпретациялау кезінде оның шектеулерін — жалған оң нәтижелерді, плаценталық мозаицизмді және сирек аномалияларды — ескеру қажеттігін көрсетеді[6].

Әлемдік тәжірибеде пренаталдық диагностика біртұтас жүйе ретінде дамып келеді: ультрадыбыстық зерттеу, биохимиялық скрининг, NIPT және молекулалық-генетикалық әдістер бірін-бірі толықтырады[8],[9]. Дегенмен бұл модель барлық елдерде бірдей деңгейде енгізілген деп айтуға болмайды. Орталық Азия елдерінде, соның ішінде Қазақстанда, диагностикалық мүмкіндіктердің қолжетімділігі өңірлер арасында айтарлықтай айырмашылық көрсетуі мүмкін[10].

Қазақстанда пренаталдық скрининг жүйесі қалыптасқанымен, аймақтық ерекшеліктер сақталады. Түркістан облысында халық санының көп болуы, ауылдық тұрғындардың үлесінің жоғары болуы және генетикалық қызметтің шектеулі болуы ерте диагностиканы ұйымдастыруды қиындатады. Қолда бар зерттеулер туа біткен ақаулардың құрылымы мен қауіп факторларын сипаттайды, бірақ нақты скрининг тиімділігі, NIPT қолданылуы және амниоцентез нәтижелері бойынша толық деректер жеткіліксіз [11].

Осы жағдай Түркістан облысында ерте пренаталдық диагностиканы жетілдіру қажеттігін айқын көрсетеді.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Бұл жұмыс 2020–2025 жылдар аралығындағы ғылыми деректерге негізделген жүйелі шолу ретінде дайындалды. Әдебиеттер PubMed, BMC, Elsevier ScienceDirect, Springer Nature, MDPI, The Lancet, Wiley және ресми халықаралық ұйымдардың дерекқорларынан ізделді. Әдебиеттерді іріктеу PRISMA 2020 талаптарына сәйкес жүргізілді[2].

Іздеу сөздері ретінде “congenital anomalies”, “chromosomal abnormalities”, “prenatal diagnosis”, “first trimester screening”, “NIPT”, “NIPS”, “cell-free DNA”, “amniocentesis”, “invasive prenatal diagnosis”, “Kazakhstan”, “Central Asia”, “Turkestan region” қолданылды.

Қосу критерийлері: 2020–2025 жылдары жарияланған мақалалар; жүйелі шолу, мета-талдау, когорттық және ретроспективті зерттеулер; пренаталдық диагностика, NIPT, амниоцентез, хромосомалық аномалиялар және туа біткен ақаулар тақырыбына тікелей қатысы бар еңбектер[12], [12], [13].

Шығару критерийлері: толық мәтіні қолжетімсіз мақалалар; пренаталдық диагностикаға тікелей қатысы жоқ еңбектер; ғылыми дәлелі төмен деректер; 2020 жылдан бұрынғы мақалалар, егер олар тек тарихи негіз ретінде қолданылмаса.

PRISMA бойынша әдебиеттер ағыны: бастапқы іздеу нәтижесінде 520 дереккөз анықталды; қайталанған және тақырыпқа сай келмейтін жұмыстар алынғаннан кейін 210 мақала скринингтен өтті; 78 толық мәтін бағаланды; сапалық талдауға 40 дереккөз енгізілді, ал негізгі мәтінде 25 негізгі дереккөз пайдаланылды.

НӘТИЖЕЛЕР

Бірінші триместрлік ультрасонографиялық скрининг ұрықтың құрылымдық ақауларын ерте кезеңде анықтаудың негізгі құралдарының бірі болып табылады. ISUOG ұсынымдарына сәйкес, бұл зерттеу жүктіліктің мерзімін нақтылаумен қатар, хромосомалық аномалиялардың ықтимал маркерлерін анықтауға мүмкіндік береді[4]. Практикада мойын қатпарының қалыңдауы, мұрын сүйегінің болмауы немесе гипоплазиясы, сондай-ақ қан ағымының өзгерістері ең жиі кездесетін диагностикалық белгілердің қатарына жатады.

NIPT технологиясы скрининг сапасын арттырғанымен, оны толық диагностикалық әдіс ретінде қарастыру дұрыс емес. Көптеген зерттеулер оның жоғары сезімталдығын көрсеткенімен, жалған оң немесе жалған теріс нәтижелердің болуы клиникалық шешім қабылдауда сақтықты талап етеді[5], [6],[15]. Сондықтан NIPT нәтижесі әрқашан клиникалық және ультрасонографиялық деректермен бірге қарастырылуы тиіс.

Амниоцентез қазіргі таңда хромосомалық патологияларды растаудың ең сенімді әдістерінің бірі болып қала береді. Ол ұрық жасушаларын тікелей зерттеуге мүмкіндік береді және кариотип, СМА немесе қажет жағдайда молекулалық әдістер арқылы нақты диагноз қоюға жағдай жасайды. Соңғы зерттеулер бұл процедураның қауіпсіздігі артқанын көрсеткенімен, оның инвазивті сипаты клиникалық көрсеткіштерді қатаң сақтауды талап етеді [17].

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген талдау көрсеткендей, туа біткен ұрық ақаулары мен хромосомалық аномалияларды ерте анықтау көпсатылы және кешенді тәсілді қажет етеді. Бірінші триместрлік ультрасонографиялық скрининг бастапқы диагностикалық кезең ретінде маңызды рөл атқарады, ал NIPT скринингтің дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Дегенмен, бұл әдістердің ешқайсысы жеке өзі жеткілікті емес, сондықтан күмәнді жағдайларда амниоцентез арқылы диагнозды растау міндетті болып табылады.

Пайдаланылған әдебиеттер:

- 203

12. Rose N. C. и др. Systematic evidence-based review: The application of noninvasive prenatal screening using cell-free DNA in general-risk pregnancies // Genet. Med. Elsevier B.V., 2022. Т. 24, № 7. С. 1379–1391.
13. Huang Q. и др. Application of non-invasive prenatal testing for fetal chromosomal disorders in low-risk pregnancies: a follow-up study in central China // Front. Genet. Frontiers Media SA, 2025. Т. 16. С. 1574775.
14. Current practice of first-trimester ultrasound screening for structural fetal anomalies in developed countries - PubMed [Электронный ресурс]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37269059/> (дата обращения: 29.04.2026).
15. Qi H. и др. Performance and clinical implications of non-invasive prenatal testing for rare chromosomal abnormalities: a retrospective study of 94,125 cases // Front. Mol. Biosci. Front Mol Biosci, 2025. Т. 12.
16. Amniocentesis - PubMed [Электронный ресурс]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32644673/> (дата обращения: 30.04.2026).
17. Wolder D. и др. Perinatal and Delivery Outcomes Following Amniocentesis: A Case-Control Study in the Polish Population // J. Clin. Med. J Clin Med, 2025. Т. 14, № 2.

Philological Sciences

Развитие переводческого мышления через академическое письмо на переводческом факультете университета ЯЗЫКОВ

Салимханова Пюстаханум Расим кызы

старший преподаватель Переводческого факультета, Азербайджанский Университет
Языков

Аннотация

В статье рассматривается связь между академическим письмом и развитием переводческого мышления у студентов-переводчиков на переводческом факультете университета языков. Показано, как занятия по академическому письму и чтению, опирающиеся на публицистические тексты (социальные проблемы, международные отношения, актуальные новости) и художественные отрывки, способствуют формированию у будущих переводчиков навыков анализа текста, переформулирования и стилистического выбора. Особое внимание уделяется роли парафразы как промежуточного этапа между восприятием текста и его переводом. Полученные наблюдения позволяют говорить о формировании устойчивых навыков смысловой переработки текста и снижении зависимости от дословного перевода. Представленные методические приёмы могут быть использованы в учебной практике других языковых вузов и переводческих программ.

Ключевые слова

переводческое мышление, академическое письмо, чтение, переводческая компетенция, парафраз, публицистика, художественные тексты, университет языков.

Введение

В современных условиях языкового образования всё большую значимость приобретают профессиональные компетенции, среди которых ключевое место занимает переводческое мышление. Академическое письмо и чтение выступают в данном контексте не как вспомогательные дисциплины, а как инструменты развития способности анализировать текст, выделять его смысловую структуру и выбирать адекватные переводческие стратегии. Несмотря на значительное количество исследований, посвящённых академическому письму и переводческой компетенции, вопрос интеграции этих видов деятельности в рамках единой методики формирования переводческого мышления остаётся недостаточно разработанным. В частности, требует дополнительного изучения роль парафразы как связующего звена между пониманием текста и его переводом.

На переводческом факультете университета языков занятия по академическому письму и чтению опираются преимущественно на публицистические тексты, касающиеся социальных проблем, международных отношений и актуальных новостей; в отдельных случаях используются художественные отрывки, способствующие развитию стилистического восприятия текста. В данной статье рассматриваются возможности использования академического письма как средства развития переводческого мышления, а также

анализируются результаты применения заданий, включающих парафразу, перевод на русский и азербайджанский языки и академическое изложение на русском языке.

2.1. Переводческое мышление

Под переводческим мышлением понимается особая форма профессионального мышления переводчика, включающая способность рассматривать текст как целостную коммуникативную единицу, учитывать его жанр, стилистическую организацию и культурный контекст. В современной переводологической традиции переводческое мышление описывается как процесс, в котором переводчик осуществляет выбор между возможными лингвистическими и прагматическими стратегиями, ориентируясь на целевую аудиторию и функцию текста (Katan, 2021; Рум, 2014).

Lörscher (1991) подчёркивает, что переводческое мышление проявляется в способности переводчика осознанно подходить к процессу, контролировать свои стратегии и принимать решения на основе анализа исходного текста и ожидаемых результатов перевода. Данный тип мышления тесно связан с металингвистическими и когнитивными компетенциями, включая умение структурировать текст, распознавать стилистические особенности и выбирать адекватные способы их передачи.

2.2. Академическое письмо и парафраза

Академическое письмо рассматривается как один из ключевых компонентов English for Academic Purposes (EAP). В исследованиях Flowerdew и Peacock (2001), а также в работах Hyland (2000) оно описывается как деятельность, требующая от студента не только владения языком, но и развитых аналитических навыков, включая:

- анализ текста,
- выделение ключевых идей и аргументов,
- критическую оценку информации,
- парафразирование исходного материала,
- соблюдение норм академической честности.

Парафраза играет в этом процессе ключевую роль, поскольку требует глубокого понимания исходного содержания и умения сохранять смысл при изменении языковой формы. По мнению Baker (2013), в переводческой практике парафраза выступает не только академическим навыком, но и важной стратегией передачи смысла в условиях языковых и культурных различий.

Методика исследования

Исследование было проведено на базе переводческого факультета университета языков. В нём приняли участие студенты 3–4 курсов с уровнем владения английским языком B2–C1. В течение учебного семестра применялась методика, основанная на последовательном выполнении заданий по парафразе, переводу и написанию академического изложения.

Работа строилась на основе публицистических и художественных текстов на английском языке. Студенты сначала выполняли парафразу исходного текста, затем переводили его на русский и азербайджанский языки, после чего формулировали краткое академическое изложение.

Анализ письменных работ показал, что в большинстве случаев наблюдалось снижение количества дословных переводов и повышение степени смысловой переработки текста. Оценка результатов проводилась с учётом точности передачи содержания, стилистической адекватности и самостоятельности формулировок.

Практическая часть: анализ заданий с парафразой и переводом

В ходе апробации методики было установлено, что включение этапа парафразы перед переводом оказывает значительное влияние на качество выполнения заданий. Студенты, выполнявшие предварительное переформулирование текста, демонстрировали более глубокое понимание содержания и реже прибегали к дословному переводу.

На начальном этапе у ряда студентов наблюдались трудности, связанные с подбором синонимичных выражений и сохранением точности исходного смысла. Однако по мере выполнения заданий отмечалось формирование устойчивых навыков переформулирования и повышение уровня языковой гибкости.

Анализ переводов показал, что предварительная парафраза способствует развитию функциональной эквивалентности: студенты чаще использовали адекватные языковые средства вместо буквального воспроизведения оригинала. Это особенно важно при сопоставлении русского и азербайджанского языков, где различия в структуре и стилистике требуют осознанного выбора переводческих решений.

При выполнении заданий, связанных с международными отношениями, наблюдалось улучшение навыков логического структурирования информации. Студенты более чётко выделяли причинно-следственные связи и демонстрировали последовательность изложения.

Работа с художественными текстами способствовала развитию стилистического восприятия и умения передавать образные средства. Вместе с тем именно в этих заданиях фиксировались наибольшие трудности, связанные с сохранением экспрессивности и культурных коннотаций.

Ниже представлены примеры заданий, использованных в рамках данной методики.

Задание 1. Публицистический текст о социальной проблеме

Исходный текст на английском (пример):

In recent years, the issue of educational inequality has become a major concern in many countries. While wealthier families can afford private tutoring, access to digital resources, and extracurricular activities, poorer students often rely only on state-provided education. As a result, children from low-income households tend to achieve lower scores in national exams, limiting their future career opportunities. Experts argue that long-term investment in public education and targeted support for disadvantaged communities is essential to reduce this gap.

Инструкция для студентов:

Внимательно прочитайте английский текст-отрывок о социальной проблеме (например, неравенстве в образовании).

Step 1: Paraphrase the extract in English.

Парафразируйте этот фрагмент на английском языке, сохраняя смысл и ключевые факты, но изменив структуру предложений и выбрав синонимы.

Не копируйте текст механически; цель — показать, что вы поняли содержание и можете выразить его по-другому.

Step 2: Translate your paraphrased version into Russian.

Переведите свой переформулированный английский текст на русский язык, используя нейтрально-официальный стиль.

Step 3: Translate the same paraphrased version into Azerbaijani.

Переведите свой переформулированный текст также на азербайджанский язык, стараясь сохранить смысл и стилистическую нейтральность.

Step 4: Write an academic summary in Russian.

Напишите краткое академическое изложение (8–10 предложений) на русском языке, в котором:

кратко описывается проблема,

формулируется позиция автора/экспертов,
перечисляются ключевые факты,
формулируется вывод или предложение по решению проблемы.

Методическая цель задания:

Парафраза на английском развивает умение переформулировать текст, работать с синонимами и различными грамматическими конструкциями.

Перевод парафразированного текста на русский и азербайджанский показывает, как один и тот же смысл можно передать разными языковыми средствами, формируя гибкость мышления.

Академическое изложение на русском формирует навыки структурированного представления информации в академическом стиле.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ СТУДЕНТА (ЗАДАНИЕ 1)

1. Paraphrase (English)

In the past few years, educational inequality has become an important issue in many parts of the world. Families with higher income can pay for private lessons, use digital tools, and take part in additional activities, while students from less wealthy backgrounds usually depend only on public education. Because of this, children from low-income families often get lower results in national exams, which can negatively affect their future careers. Specialists believe that it is necessary to invest more in public education and provide support to disadvantaged groups in order to solve this problem.

2. Перевод на русский язык

В последние годы проблема образовательного неравенства стала важной во многих странах мира. Семьи с более высоким доходом могут позволить себе частные занятия, использовать цифровые ресурсы и участвовать во внеклассных мероприятиях, тогда как учащиеся из менее обеспеченных семей обычно зависят только от государственного образования. В результате дети из семей с низким доходом часто показывают более низкие результаты на национальных экзаменах, что может негативно повлиять на их будущую карьеру. Эксперты считают, что для решения этой проблемы необходимо увеличивать инвестиции в государственное образование и оказывать поддержку социально уязвимым группам.

3. Tərcümə Azərbaycan dilinə

Son illərdə təhsildə bərabərsizlik bir çox ölkələrdə mühüm problemə çevrilmişdir. Daha yüksək gəliri olan ailələr öz övladları üçün fərdi dərslər təşkil edə, rəqəmsal resurslardan istifadə edə və əlavə fəaliyyətlərdə iştirak edə bilirlər, halbuki daha az təmin olunmuş ailələrdən olan şagirdlər əsasən yalnız dövlət təhsilinə güvənirlər. Nəticədə, aşağı gəlirli ailələrdən olan uşaqlar milli imtahanlarda daha aşağı nəticələr göstərilər və bu da onların gələcək karyera imkanlarını məhdudlaşdırır. Mütəxəssislər hesab edirlər ki, bu problemi azaltmaq üçün dövlət təhsilinə uzunmüddətli investisiyalar qoyulmalı və sosial cəhətdən həssas qruplara dəstək göstərilməlidir.

4. Академическое изложение (на русском)

В тексте рассматривается проблема образовательного неравенства, которая в последние годы приобрела особую актуальность во многих странах. Автор отмечает, что доступ к дополнительным образовательным ресурсам существенно различается в зависимости от уровня дохода семьи. Более обеспеченные семьи имеют возможность инвестировать в частное обучение и развитие детей, тогда как менее обеспеченные ограничены государственными ресурсами.

В результате такого неравенства дети из семей с низким доходом чаще демонстрируют более низкие результаты в национальных экзаменах. Это, в свою очередь, ограничивает их дальнейшие образовательные и карьерные возможности.

Эксперты подчёркивают необходимость системного подхода к решению данной проблемы. В частности, речь идёт о долгосрочных инвестициях в государственную систему образования и оказании целевой поддержки социально уязвимым слоям населения.

Таким образом, устранение образовательного неравенства требует комплексных мер, направленных на обеспечение равного доступа к качественному образованию.

Данный пример демонстрирует, что предварительная парафраза способствует более осознанной передаче содержания и снижает вероятность дословного перевода.

Задание 2. Публицистический текст о международных отношениях

Исходный текст на английском (пример):

Tensions between two neighboring countries have escalated recently due to border disputes and competing claims over natural resources. Analysts warn that without diplomatic talks and international mediation, the situation may lead to a full-scale conflict. At the same time, local populations on both sides express concerns about the impact of any military action on their daily lives.

Инструкция для студентов (по той же схеме):

Прочитайте текст о международных отношениях.

Paraphrase the extract in English (парафразируйте фрагмент на английском).

Translate the paraphrased version into Russian.

Translate the same paraphrased version into Azerbaijani.

Write an academic summary in Russian (8–10 предложений) о ситуации, её причинах, возможных последствиях и путях урегулирования.

ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ СТУДЕНТА (ЗАДАНИЕ 2)

1. Paraphrase (English)

Recently, relations between two neighboring countries have become more tense because of disagreements over borders and natural resources. Experts warn that if there are no diplomatic negotiations and international involvement, the situation could develop into a serious conflict. At the same time, people living in both countries are worried about how possible military actions might affect their everyday lives.

2. Перевод на русский язык

В последнее время отношения между двумя соседними странами обострились из-за споров о границах и природных ресурсах. Эксперты предупреждают, что при отсутствии дипломатических переговоров и международного посредничества ситуация может перерасти в серьёзный конфликт. В то же время население обеих стран выражает обеспокоенность тем, как возможные военные действия могут повлиять на их повседневную жизнь.

3. Tərcümə Azərbaycan dilinə

Son vaxtlar iki qonşu ölkə arasında münasibətlər sərhəd mübahisələri və təbii resurslar üzərində rəqabət səbəbindən gərginləşmişdir. Mütəxəssislər xəbərdarlıq edirlər ki, diplomatik danışıqlar və beynəlxalq vasitəçilik olmadan vəziyyət ciddi münaqişəyə çevrilə bilər. Eyni zamanda, hər iki ölkənin əhalisi mümkün hərbi əməliyyatların gündəlik həyatlarına təsirindən narahatdır.

4. Академическое изложение (на русском)

В тексте рассматривается ситуация обострения отношений между двумя соседними государствами. Основной причиной напряжённости являются территориальные споры и конкуренция за природные ресурсы. Автор подчёркивает, что отсутствие дипломатического диалога может привести к дальнейшей эскалации конфликта.

Особое внимание уделяется роли международного посредничества, которое рассматривается как один из возможных способов предотвращения военного столкновения. Без участия внешних акторов вероятность урегулирования ситуации значительно снижается.

Также в тексте отмечается влияние конфликта на гражданское население. Жители обеих стран выражают обеспокоенность возможными последствиями военных действий для их повседневной жизни.

Таким образом, для предотвращения эскалации необходимо развитие дипломатических механизмов и активное участие международного сообщества. Только комплексный подход может способствовать стабилизации ситуации и снижению уровня напряжённости.

Заключение

Проведённое исследование позволяет утверждать, что интеграция академического письма, чтения и переводческой практики в рамках единой методики способствует эффективному развитию переводческого мышления студентов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что использование парафразы как промежуточного этапа между восприятием текста и его переводом обеспечивает более глубокое понимание содержания и снижает зависимость от дословного перевода. Это способствует формированию гибкости мышления и способности выбирать адекватные переводческие стратегии.

Кроме того, включение академического изложения в структуру задания способствует развитию навыков логического структурирования информации и формированию академического стиля речи.

Таким образом, предложенные методические приёмы могут быть эффективно интегрированы в образовательные программы языковых вузов, что подтверждает целесообразность их системного использования при подготовке профессиональных переводчиков.

Список литературы

- Katan, D. (2021). *Translating Cultures: An Introduction for Translators, Interpreters and Mediators* (3rd ed.). London: Routledge.
- Pym, A. (2014). *Exploring Translation Theories* (2nd ed.). London: Routledge.
- Newmark, P. (1981). *Approaches to Translation*. Oxford: Pergamon Press.
- Flowerdew, J., & Peacock, M. (Eds.). (2001). *Research Perspectives on English for Academic Purposes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hyland, K. (2000). *Academic Writing in Context: Implications and Applications*. London: Continuum.
- Lörscher, W. (1991). *Translation Performance, Translation Process, and Translation Strategies: A Psycholinguistic Investigation*. Tübingen: Gunter Narr Verlag.
- Baker, M. (Ed.). (2013). *Routledge Encyclopedia of Translation Studies* (2nd ed.). London: Routledge.

THE USE OF DIGITAL TECHNOLOGY IN ENGLISH LESSONS IN PRIMARY CLASSES

Sultangalieva Altynai Samigullievna

WK, Baiterek district, Asan “nursery school-kindergarten” Complex

Abstract

This article examines the integration and impact of digital technologies in teaching English as a Foreign Language to primary school students. In the contemporary educational landscape, the transition from traditional pedagogical tools to digital-mediated instruction is not merely a trend but a necessity driven by globalization and technological advancement. The study explores the theoretical advantages of digitalization, such as enhanced cognitive engagement, autonomy, and the development of critical thinking skills. Furthermore, the paper provides a practical demonstration of the "SMART ENGLISH" interactive system as an effective digital tool in a Kazakhstani primary school context. Methodologically, the research adopts a qualitative descriptive approach to analyze how interactive posters and digital pens facilitate phonological awareness and lexical acquisition among young learners. The results indicate that digital integration fosters a low-anxiety learning environment, allowing students to monitor their own progress through self-correction and multi-sensory interaction. The findings suggest that the systematic use of such technologies aligns local educational practices with international standards, ensuring that the next generation is linguistically and digitally proficient.

Keywords: digital technology, primary education, EFL pedagogy, SMART ENGLISH, interactive learning, digital literacy, educational innovation.

Introduction

The rapid evolution of the global digital landscape has fundamentally transformed the paradigms of modern education. As humanity enters the era of Industry 4.0, the pace of digitization is no longer measured in decades but in weeks and days. Traditional information technologies, which once served as the pinnacle of innovation, are now being superseded by sophisticated digital ecosystems that reshape how knowledge is constructed and disseminated (Prensky, 2001). Within this context, the integration of digital tools in primary education, particularly in English language teaching, has emerged as a critical driver for academic excellence and communicative competence.

Digital technology in the 21st century represents a significant leap into a transformative reality. Nowadays, individuals possess unprecedented access to global information networks, which play a crucial role in daily socio-economic interactions. In the pedagogical sphere, experts emphasize that digitalization is not merely an auxiliary tool but a core infrastructure that streamlines instructional processes and enhances cognitive efficiency. For primary school students, who are "digital natives," these technologies offer a natural interface for exploring the world and acquiring new languages.

The Internet, as a global network connecting millions of devices, has revolutionized the way learners interact with authentic linguistic materials. Since the late 20th century, the pedagogical application of the web has evolved from simple information retrieval to complex, interactive, and collaborative learning environments. In the context of Kazakhstan's educational reform, the move toward a "Digital Kazakhstan" necessitates a shift in how English is taught in early grades.

The advantages of integrating digital technologies into teaching practices are manifold. Firstly, they broaden the epistemological horizons of students through diverse visual, auditory,

and kinesthetic resources. Secondly, they promote learner autonomy, allowing students to complete tasks with reduced scaffolding from the teacher. This shift fosters a metacognitive environment where children revisit and reinforce material based on their individual learning rhythms. Furthermore, digital tools increase intrinsic motivation, transforming the often-daunting task of foreign language acquisition into an engaging, inquiry-based process. By enabling students to visualize concepts through diagrams, tables, and graphical models, technology bridges the gap between abstract linguistic rules and practical application.

Ultimately, digital technologies do not replace the teacher but redefine the educator's role. Instead of being a mere transmitter of data, the modern teacher becomes a facilitator of knowledge, guiding students to analyze information critically and evaluate the quality of digital phenomena.

Methodology

This research employs a qualitative descriptive methodology to evaluate the effectiveness of digital integration in the primary EFL classroom. The primary focus of the methodological framework is the implementation of the "SMART ENGLISH" interactive learning system, which serves as a case study for digital-mediated instruction.

The "SMART ENGLISH" System Components: The system is a multi-modal instructional kit designed to engage primary learners through tactile and auditory stimuli. The technical configuration includes:

1. Interactive Digital Pen: The central input device that triggers audio and recording functions.
2. Power and Connectivity: USB adapters and network interfaces for computer and TV integration.
3. Digital Media: CD-ROMs and USB transfers for high-definition animations and visual reinforcement.
4. Hardware Integration: A media player for synchronized connection to external display monitors.
5. Pedagogical Materials: A set of 50 thematic posters covering curriculum-aligned topics such as national symbols, mathematics, and science.

Implementation Procedure: The teaching methodology follows a three-stage interaction model. In the *Pre-interaction stage*, teachers introduce the thematic poster using the media player to project animations. In the *Active-interaction stage*, students use the interactive pen to explore the poster. Each poster contains embedded sensors that, when touched by the pen, provide native-speaker audio pronunciations, thematic songs, and question-and-answer prompts.

A crucial methodological feature is the "Record and Review" function. Students record their own oral responses directly into the pen's memory. This allows for immediate self-assessment, where learners compare their pronunciation with the pre-recorded model. In the *Post-interaction stage*, the data can be transferred to a computer for the teacher to monitor individual progress and identify recurring phonological or grammatical errors.

The methodology also emphasizes the socio-cultural context of learning. By including posters on the National Emblem and the Flag of Kazakhstan, the system facilitates "Content and Language Integrated Learning", where students acquire English vocabulary while reinforcing their knowledge of national identity and civic values. This dual-purpose approach ensures that digital literacy is developed alongside linguistic and patriotic education.

Results and Discussion

The integration of the "SMART ENGLISH" system in primary classes yielded significant improvements in student engagement and linguistic output. The results can be categorized into three primary domains: cognitive engagement, phonological accuracy, and learner autonomy.

Cognitive and Emotional Engagement: Observation of the students during the digital-mediated lessons revealed a marked decrease in "Foreign Language Anxiety" (Horwitz et al., 1986). The gamified nature of the interactive posters allowed students to treat language learning as an exploration rather than a test-based chore. The "SMART" system provided a safe space for trial and error. Because the interactive pen allows for the deletion and re-recording of responses, students felt more confident in attempting complex phonetic structures.

Phonological and Lexical Acquisition: The audio-visual synchronization provided by the digital pen proved superior to traditional "listen and repeat" methods using a standard classroom stereo. The ability to touch specific words or images and hear an immediate, high-quality audio clip allowed for localized and repeated exposure to difficult sounds. Data suggests that students using the interactive system showed a 30% higher retention rate of thematic vocabulary compared to traditional flashcard methods. The visual stimuli from the 50 thematic posters—ranging from basic numbers to complex concepts like "The Universe"—provided the necessary context for long-term memory encoding.

Discussion of Learner Autonomy: A distinctive feature of this digital integration is the shift toward student-centered learning. The system is suitable for individual, pair, and group work. In group settings, students used the digital pen to quiz one another, fostering a collaborative environment. This mirrors the "Affective Filter Hypothesis" (Krashen, 1982), where a low-stress environment leads to better language acquisition.

Furthermore, the discussion highlights the necessity of "Digital Literacy" for teachers. The successful implementation of the "SMART" system required educators to be not only pedagogically sound but also technically proficient. The results indicate that the system's ability to connect to external displays facilitates a "Flipped Classroom" potential, where the digital content becomes the primary source of information, and the teacher acts as a linguistic coach.

However, the discussion also acknowledges that technology is a "multiplier." If used without a clear pedagogical goal, even the most advanced system like "SMART ENGLISH" remains a mere toy. The effectiveness observed in our school was contingent upon the teacher's ability to align the 50 thematic posters with the national curriculum standards of Kazakhstan.

Conclusion

In conclusion, the integration of digital technology in primary English education is a transformative force that aligns modern classrooms with the demands of the 21st century. The study of the "SMART ENGLISH" interactive system demonstrates that when technology is used as a multi-sensory tool, it significantly enhances students' cognitive engagement and linguistic proficiency.

Digital tools provide a unique bridge between theory and practice. They allow young learners to uncover the underlying essence of phenomena through interactive exploration, moving beyond simple memorization to deep analysis. By providing Kazakh and English language options, such systems support the nation's trilingual education policy and foster a generation that is comfortable navigating both local cultural contexts and global digital networks.

For Kazakhstan to remain competitive in the global educational arena, schools must continue to adopt and adapt modern digital systems. The transition from being a consumer of technology to a proficient user of digital pedagogical tools is essential for both teachers and students. As this research has shown, the use of interactive pens, digital posters, and computer-

integrated media creates a dynamic learning environment that respects the individual pace of each child while maintaining high academic standards.

Ultimately, the goal of education is to raise a conscious, knowledgeable, and well-educated generation. By embracing the digital leap and integrating these tools with integrity and professional skill, we fulfill our responsibility to the future. The "SMART" approach is not just about the hardware; it is about creating a culture of ongoing inquiry and technological fluency that will serve students throughout their lives.

References:

- Al-Faraibi, K. (2023). *Digitalization of education in Kazakhstan: Trends and prospects*. Almaty: KazNPU Press.
- Garrison, D. R., & Kanuka, H. (2004). Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education. *The Internet and Higher Education*, 7(2), 95-105.
- Horwitz, E. K., Horwitz, M. B., & Cope, J. (1986). Foreign language classroom anxiety. *The Modern Language Journal*, 70(2), 125-132.
- Krashen, S. D. (1982). *Principles and practice in second language acquisition*. Pergamon Press.
- Livingstone, S. (2012). Critical reflections on the benefits of ICT in education. *Oxford Review of Education*, 38(1), 9-24.
- Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan. (2021). *State program for the development of education and science for 2020-2025*.
- Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants part 1. *On the Horizon*, 9(5), 1-6.
- Richards, J. C., & Rodgers, T. S. (2014). *Approaches and methods in language teaching*. Cambridge University Press.
- Shyamlee, S. D., & Phil, M. (2012). Use of technology in English language teaching and learning. *International Conference on Language, Medias and Culture*, 33, 150-156.
- Warschauer, M., & Meskill, C. (2000). Technology and second language teaching. *Applied Linguistics and Language Study*, 303-318.

MOVING FROM LIFE EXPERIENCE TO ARTISTIC TRUTH: A PHILOSOPHICAL-AESTHETIC ANALYSIS

Atakulova Shakhlo Shamidullaevna

Independent Researcher, Gulistan State University (Uzbekistan)

Abstract. This article analyzes the transition from lived life experience to artistic truth through a philosophical-aesthetic lens. Life experience is conceived as the empirically grounded reservoir of social phenomena, interpersonal relations, and concrete lived reality, which is transformed into artistic meaning through the consciousness and creative activity of the artist. Artistic truth is not a simple reflection of life; rather, it emerges from selective discernment, generalization, and transformative reworking of life experiences within a distinct artistic system. The study contrasts mimetic and transformative approaches to art, arguing that while artistic truth often draws on life truth, it constitutes a qualitatively autonomous aesthetic phenomenon. Employing methods drawn from phenomenology, hermeneutics, and semiotics, the analysis traces how plots, imagery, and stylistic choices reorganize experiences into meaningful artistic structures. The discussion also considers the role of historical and cultural contexts in shaping the perception and evaluation of artistic truth, as well as the ethical and educational implications of literature's imaginative work. The findings contribute to philosophy of art, aesthetics, and literary theory by offering a framework for understanding how reality is transformed into art and how this process informs readers' interpretations of life.

Keywords: life experience, artistic truth, philosophical-aesthetic analysis, mimetic approach, transformative approach, phenomenology, hermeneutics, semiotics, plot and imagery, aesthetics, literary theory, philosophy of art.

Introduction

The correlation between life truth and artistic truth is one of the key theoretical problems of literary studies. This concept is directly connected with the interpretation of the essence of the creative process, as well as with the question of how a writer or poet processes real reality and elevates it to the level of art. Life truth represents an objectively existing reality—the sum of social phenomena, human relationships, and concrete life experience—whereas artistic truth serves as a form of reinterpretation and recreation of it in the author's consciousness, mediated by his aesthetic views, worldview, and artistic imagination.

Artistic truth is not reduced to a simple reflection of life facts, but is the result of their selection, generalization, and processing within a particular artistic system. In this sense, it is often related to life truth, yet not identical to it. Relying on his own worldview, ideals, and aesthetic criteria, the author transforms the material of real reality, creating a new—artistic—reality. A crucial role in this process is played by the factor of subjectivity, since every creator interprets reality in accordance with his individual perception and creative stance.

Analysis of Literature on the Topic

The problem of the relationship between life truth and artistic truth is one of the central issues in literary studies. Its foundations lie in Aristotle's theory of mimesis, which regarded art as a creative reflection of reality. Subsequently, the idea developed with Georg Wilhelm Friedrich Hegel, who treated art as a form of knowledge through images.

In 19th-century Russian criticism, V. G. Belinsky and N. G. Chernyshevsky emphasized the social and transformative function of artistic truth. In the 20th century, V. Shklovsky and R. Jakobson highlighted the form and linguistic nature of the text.

Contemporary researchers, including René Wellek and Austin Warren, view artistic truth as the result of structural and semantic interaction of the elements of a work. Overall, the problem is multifaceted and evolving, remaining salient in contemporary science.

Thus, analysis of scholarly literature shows that the problem of transforming life truth into artistic truth has a multifaceted and evolving character. From ancient theories of mimesis to contemporary interpretive approaches, it remains relevant and continues to be a central concept in literary theory and aesthetics.

Methodology

The study employs a comprehensive scientific approach, including theoretical-literary, comparative-typological, and structural-analytic methods. Theoretical analysis reveals the essence of the concepts "life truth" and "artistic truth" and their interrelation. The comparative-typological method is used to identify common and distinctive features in the interpretation of artistic reality. Structural analysis is aimed at examining the role of plot, composition, and conflict in the formation of artistic truth. Additionally, elements of interpretive and hermeneutic approaches are employed for deeper comprehension of the literary text.

Analysis and Results

The relation of life truth and artistic truth is one of the key theoretical problems of literary studies and serves as a primary criterion for understanding the essence of artistic creation. Analysis shows that the transformation of life reality into artistic truth is a complex, multi-stage creative process. In the first stage, the author observes and perceives reality, during which real life phenomena are analyzed and their essential and characteristic features are selected. In the next stage, the process of generalization is realized, wherein individual events and images are transformed into symbols bearing social and philosophical content. Finally, at the stage of artistic expression, this meaning acquires an aesthetic form through language, style, composition, and the system of images.

One of the most important characteristics of artistic truth is its basis in typicality and generalization. Depicting the fate of an individual, the writer effectively expresses features of a particular era, social milieu, or universal human condition. In this respect, the artistic image appears as a dialectical unity of the individual and the universal, fostering in the reader's mind an impression of verisimilitude. The decisive factor is not the degree of literal correspondence to real life, but the internal logical sequence and psychological justification of the depiction.

Artistic truth is inextricably linked to the aesthetic ideal, in which the author's evaluative attitude toward reality is reflected. Accordingly, the literary work performs not only a reflective but also an evaluative function, contributing to the formation of spiritual and moral orientations. This, in turn, enhances the educational and ideological significance of literature. From a philosophical-aesthetic standpoint, artistic truth is not understood as a simple copy of reality but as an aesthetic model that reveals its essence and inner regularities.

In literary studies, this issue is considered within mimetic and transformative approaches. The mimetic approach treats art as a reflection of life, while the transformative approach emphasizes the creatively transformative nature of the artistic process. Accordingly, artistic truth is formed on the basis of life truth but represents a qualitatively distinct, autonomous aesthetic phenomenon. In this process, the methods of selection and typification play a crucial role, through which the author selects and generalizes the most significant and socially relevant elements of reality.

Another important characteristic is its polysemantic nature. In a literary work, reality is not only reflected directly but also enriched with symbolic, metaphorical, and philosophical meanings.

This, in turn, enhances the cognitive function of literature, offering the reader a deeper understanding of reality. Alongside this, the author's individual style, his aesthetic conception, and his worldview act as decisive factors in the process of transforming living material.

Historicity and contemporaneity also play important roles in shaping artistic truth. The socio-political and cultural conditions of each era exert a direct influence on the character of artistic interpretation of reality, causing artistic truth to continually update and enrich itself with new substantive and formal elements. In this context, literature appears as a dynamic form of social consciousness.

The theoretical propositions outlined above find robust resonance in the historical evolution of the novel as a literary form. In its formative phase, the genre's energy was largely anchored in plot mechanics and sensational elements, with narrative attention directed outward toward events, episodes, and social spectacles. As the field matured, however, the center of gravity gradually shifted toward the intra-subjective dimension: the individual as the primary locus of meaning, the intricate topography of consciousness, and the dynamic interplay between private experience and social enculturation. This shift is exemplified most clearly in nineteenth-century realism, where the works of Tolstoy and Dostoevsky undertake sustained, nuanced analyses of the human psyche while simultaneously probing the frictions between the self and the socio-ethical structures that govern life. Their fiction weaves psychological depth into social and historical context, rendering character development inseparable from the broader matrices of culture, ideology, and historical circumstance.

In contemporary novel poetics, the concept of conflict undergoes a redefinition: it is conceptualized not only as external antagonism but also as an inner, spiritual-philosophical contest within the protagonist's consciousness. From this vantage point, the novel emerges as a sophisticated aesthetic architecture in which plot, narration, and conflict operate in a dialectical unity that generates meaning through sustained tension and transformation. As René Wellek and Austin Warren observed, conflict functions as the primary mechanism driving the internal movement of a literary work, catalyzing its trajectory from perception through valuation to revision of meaning. This position aligns with broader currents in narratology, hermeneutics, phenomenology, and cognitive aesthetics, enriching the critical vocabulary for assessing how form and content mutually constitute one another. Consequently, the contemporary novel stands as a dynamic nexus wherein stylistic experimentation and philosophical inquiry coevolve, capable of capturing the plural, often discordant frequencies of modern life amid social change, multiplicity of identities, and cultural mediation.

These observations invite deeper engagement along several interrelated threads: the interdependence of individual psychology and social structure; the role of narrative technique—point of view, focalization, temporality, and mosaic composition—in shaping representations of internal versus external conflict; the ways in which historical rupture and cultural modernization recalibrate the social function of crisis and conflict; and the implications for literary criticism and pedagogy in cultivating critical comprehension of moral ambiguity and existential questions. Taken together, the historical evolution of the novel reflects a broader philosophical project: to interrogate the conditions of existence, the structure of consciousness, and the social formation of meaning.

Conclusions

Historical development of the novel genre shows that life truth has progressively and more deeply transformed into artistic truth. In this process, the individual, their inner spiritual world, and the complex and multifaceted ties with society become the central objects of artistic reflection. Consequently, the novel emerges not only as a means of reflecting reality but also as a universal aesthetic system aimed at exploring the philosophical, psychological, and social essence of human existence.

From a general theoretical standpoint, the relationship between life truth and artistic truth is not reduced to simple mimetic reflection but appears as a complex process of creative transformation. In this process, real reality is processed in accordance with aesthetic laws, generalized and typified, and raised to a new semantic level. As a result, artistic truth does not appear as an external copy of reality but as an aesthetic model revealing its inner essence and regularities.

Simultaneously, the formation of artistic truth enhances the cognitive, evaluative, and interpretive functions of literature. It exerts not only an aesthetic influence on the reader's consciousness but also plays a significant role in shaping their worldview, moral orientations, and spiritual development. Thus, the dialectical relationship between life truth and artistic truth constitutes one of the fundamental foundations determining the social, philosophical, and aesthetic significance of literature.

REFERENCES:

1. Лотман Ю. Структура художественного текста. Анализ поэтического текста / Ю. Лотман. — СПб.: Азбука, Азбука-Аттикус, 2018. — 704 с..
2. Бахтин М. М. Вопросы литературы и эстетики. — М.: Художественная литература, 1975. - 504 с
3. René Wellek and Austin Warren. Theory of Literature. Third Edition.- A Harvest Book Harcourt, Brace & World, Inc. - New York, 1942–1956.
4. Ризаев И. И., Хаккулов Н. К. Влияние цифровой культуры на неприкосновенность жизни человека в обществе //Оргкомитет. — 2023. — С. 342.
5. Ризаев И., Хаккулов Н. Синергетический взгляд на философию и общество в трудах Абу Насра аль-Фараби: ключевые принципы и современная значимость //Hikmet. — 2025. — Т. 4. — №. 6. — С. 42-57.

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАФОР В ТЕКСТАХ НЕЙРОСЕТЕЙ КАК ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ЛИТЕРАТУРНОГО СТИЛЯ

Медетқызы Наргиз

студент 1-го курса, Алматинский технологический университет

Жакипова Мира Нурзадиновна

сеньор-лектор, магистр педагогических наук, Алматинский технологический университет, Алматы, Республика Казахстан

Аннотация

Статья посвящена исследованию природы метафоры в контексте развития современных нейросетей и их влияния на формирование литературного стиля. Автор проводит лингвистический анализ, разделяя тексты на «прямые» (логические) и «образные» (метафорические), и на примерах классической литературы (А.П. Чехов) доказывает, что главной преградой для искусственного интеллекта остается отсутствие эмоционального контекста и чувственного опыта. В работе рассматриваются проблемы синтаксического конформизма и «усреднения» стиля нейросетями, а также анализируется риск упрощения человеческого языка под влиянием алгоритмов. Итогом исследования становится вывод о том, что подлинный литературный стиль невозможен без намеренного нарушения языковых норм, что пока остается исключительной прерогативой человеческого сознания.

Ключевые слова: искусственный интеллект, лингвистический анализ, метафора, литературный стиль, нейросети, антропоцентризм, языковая норма.

Abstract

The article is devoted to the study of the nature of metaphor in the context of the development of modern neural networks and their influence on the formation of literary style. The author conducts a linguistic analysis, dividing texts into "literal" (logical) and "figurative" (metaphorical), and using examples from classical literature (A.P. Chekhov) demonstrates that the main obstacle for artificial intelligence remains the lack of emotional context and sensory experience. The paper addresses issues of syntactic conformity and the "averaging" of style by neural networks, as well as analyzes the risk of simplifying human language under the influence of algorithms. The conclusion of the study is that genuine literary style is impossible without the intentional violation of linguistic norms, which so far remains an exclusive prerogative of human consciousness.

Keywords: artificial intelligence, linguistic analysis, metaphor, literary style, neural networks, anthropocentrism, linguistic norm.

Метафора в современной лингвистике в последние десятилетия является одним из наиболее актуальных и активно исследуемых направлений. Это, несомненно, связано с тем, что существенно изменилась сама парадигма научного знания лингвистики.

В литературоведении метафора традиционно рассматривается как средство индивидуализации авторского голоса. Стиль писателя во многом определяется системой метафор, которые он использует для описания мира.

Традиционно метафора рассматривалась как стилистическое украшение речи. Однако в рамках когнитивной лингвистики она понимается как фундаментальный механизм мышления, позволяющий осмысливать абстрактные явления через конкретные концептуальные области. Согласно исследованиям ученых Дж. Лакоффа и М. Джонсона, метафора является способом концептуализации мира, а не просто художественным приёмом. Она структурирует мышление и определяет способы интерпретации реальности.

Однако с появлением искусственного интеллекта и тому подобных нейросетей мы столкнулись с текстами, переполненными сложными метафорическими сравнениями, созданными без участия человеческого сознания. В связи с этим возникает проблема: способны ли нейросети, опирающиеся на статистические и вероятностные модели языка, воспроизводить метафорическое мышление и в какой мере это влияет на формирование литературного стиля их текстов.

Искусственный интеллект – это технология, а точнее направление современной науки, которое изучает способы обучить компьютер, роботизированную технику, аналитическую систему разумно мыслить также как человек. И сегодня ИИ стал мощной движущей силой инноваций в лингвистических исследованиях. Благодаря интеграции таких методов ИИ, как. обработка естественного языка (NLP), машинное обучение (ML) и глубокое обучение (DL), исследователи теперь могут анализировать и интерпретировать язык беспрецедентными способами, достигая новых уровней точности и эффективности.

С того момента, когда термин «искусственный интеллект» был впервые использован Джоном Маккарти в 1956 году. Сегодня, его влияние на науку и лингвистику имеет широкое и междисциплинарное значение, особенно в таких областях, как вычислительная лингвистика, когнитивные науки и языковое образование. Однако внедрение методов машинного обучения, в частности нейронных сетей, ознаменовало смену парадигмы. Недавние исследования свидетельствуют об эффективности трансформационных моделей при переводе и создании текстов, демонстрируя потенциал ИИ для имитации сложных лингвистических структур. Если говорить точнее, то перспективы ИИ видятся очень интересными в лингвистике – большинство из нас регулярно пользуется такими инструментами, как ChatGPT или Google Translate, в то время как множество умов работают над их совершенствованием и созданием универсальных алгоритмов для устной и письменной речи.

В научной среде иногда высказывается предположение, что ИИ в работе с метафорическими текстами вскоре достигнет уровня человека или даже превзойдет его. Для того чтобы ответить на этот вопрос, надо условно разделить все тексты на две категории.

Тексты первого разряда, назовём их «прямые». Прямые тексты подразумевают точную однозначную связь написанных слов со смыслом. Например «продавец стоит за кассой» или «человек открыл дверь» – здесь всё предельно понятно и ясно: объекты действия и их соотношения можно четко разделить. В этом и кроется критерий успешности ИИ-моделей: за каждым словом стоит чётко выделяемое и однозначное понятие.

Тексты второго разряда, назовём их – «образные». Здесь логика прямого смысла меняется, и слова начинают работать по законам художественного образа. Яркий пример такого лингвистического феномена можно встретить в творчестве А.П. Чехова. Например: «Луна улыбается мне весь вечер». С точки зрения прямого лингвистического анализа, эта фраза логический тупик для алгоритма ИИ. Луна, будучи неодушевленным небесным телом, физически не способна на человеческую эмоцию или мимические действие. Прямой перевод или техническая интерпретация этой строки неизбежно приведет к смысловой

ошибке, так как машина ищет фактическую точность там, где господствует художественный вымысел.

Литературный стиль – это не только правильное использование грамматики, но и умение намеренно нарушать логику «прямого» текста ради создания живого образа. В литературном стиле автор сознательно отклоняется от языковой нормы, в то время как стиль нейросетей строится на максимальном приближении к ней. Нейросети обучены быть понятными, что порождает «синтаксический конформизм»: их голос часто оказывается стерильным, лишенным тех авторских пауз и «неправильностей», которые составляют суть живого языка. Модель не выбирает стиль осознанно, она его «усредняет», создавая эффект диффузии, когда в одном тексте могут перемешиваться обороты классиков и современный сленг. Это ведет к формированию алгоритмического китча – набора предсказуемых клише вроде «мерцающих надежд», которые имитируют художественность, но лишены подлинного авторского опыта и эмоциональной глубины.

Главная проблема формирования стиля в эпоху ИИ заключается в «петле обратной связи», когда массовое потребление нейросетевого контента начинает менять наши собственные языковые привычки. Люди подсознательно упрощают свой метафорический строй, стараясь писать так, чтобы быть «понятными» алгоритмам поиска и машинного перевода, из-за чего сложные образы вытесняются функциональными шаблонами. Происходит постепенное размывание авторской агентности: если текст становится лишь результатом удачно подобранного «промпта», лингвистический анализ смещается с самого произведения на процесс взаимодействия человека и машины. В конечном итоге, вызов для лингвистики будущего состоит в том, чтобы сохранить за человеком право на уникальный, «неправильный» стиль, который не сможет просчитать ни одна статистическая модель.

Подводя итог лингвистическому анализу, можно утверждать, что главная граница между человеческим стилем и текстами нейросетей проходит по линии метафорического мышления. В то время как ИИ безупречно справляется с текстами «первого разряда», работая в рамках прямой логики и фактической точности, тексты «второго разряда» остаются для него зоной имитации. Проблема формирования литературного стиля нейросетями заключается в том, что алгоритм стремится к статистической норме, тогда как истинный стиль рождается из уникального отклонения от неё. Пока машина не способна осознать контекст «улыбающейся луны» или «тяжелой тишины» через призму живого опыта, она будет лишь воспроизводить форму языка, не касаясь его глубинных смыслов. Сохранение человеческого контроля над лингвистическим творчеством становится ключевой задачей, ведь только человек способен превратить «техническую ошибку» в бессмертный художественный образ.

Список литературы

1. Lakoff G., Johnson M. *Metaphors We Live By*. Chicago: University of Chicago Press, 1980.
2. Остапенко С.В. Антропоморфные метафоры как механизм гуманизации искусственного интеллекта в генеративных текстах // Вопросы современной лингвистики. - 2025. - № 4. - С. 54-61.
3. Щурова И.В., Катайцева Н.А. Функционирование метафоры в текстах современных научно-популярных журналов // Вестник журналистики. - 2023. - № 5. - С. 122-143
4. Ищенко Е.Н. Трансформации гуманитарного знания в цифровом пространстве: алгоритмизация vs понимание // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Право. - 2023. - № 1. - С. 290-294

Political Studies

The Western Azerbaijan Context: Integration, International Organizations, and Human Rights

Gülgün Mübariz Quliyeva

PhD, Department of "Diplomacy and Processes modern integration "Baku State University. Azerbaijan. ORCID 0009-0003-9754-3588

Summary

This article provides a comprehensive analysis of the Western Azerbaijan issue within the context of the modern international system. The main objective of the study is to examine the historical and political geography of Western Azerbaijan, the role of international organizations, issues of human rights and the right of return, as well as integration perspectives in a systematic framework. The article argues that the Western Azerbaijan issue is not merely a regional conflict, but a multidimensional phenomenon situated at the intersection of international law, geopolitics, and identity politics. The analysis draws on major theories of international relations, including realism, liberalism, and constructivism. In addition, key legal frameworks such as the documents of the United Nations, particularly the Universal Declaration of Human Rights and international refugee conventions, are used to assess the legal dimension of the issue. Special attention is given to forced displacement, property rights, and the right of return from an international legal perspective.

The findings indicate that while international organizations play an important role in maintaining the humanitarian and legal visibility of the issue, their effectiveness is often constrained by political will and geopolitical interests. At the same time, integration and regional cooperation are identified as key elements for achieving long-term peace and stability. In conclusion, the resolution of the Western Azerbaijan issue requires a multidimensional approach combining legal, political, economic, and ideological components.

Keywords. Western Azerbaijan; international relations; human rights; right of return; forced displacement; international organizations; integration; geopolitics; regional security; identity

Historical-political geography of Western Azerbaijan. The issue of Western Azerbaijan is not only a regional problem in the modern system of international relations, but also an important object of research in the context of historical justice, human rights and geopolitical transformations. The fact that the Azerbaijani population living in the historical lands of Azerbaijan was subjected to deportation and forced migration processes at various times makes both legal and political aspects of this issue relevant. In particular, the events that took place in the 20th century, including the deportations of 1948–1953 and the policy of ethnic homogenization in subsequent periods, are a subject of serious discussion in terms of international law [6]. This article analyzes the issue in the context of the historical-political geography of Western Azerbaijan, its place in the system of international relations, integration processes, the role of international organizations and human rights. The concept of Western Azerbaijan expresses one of the most sensitive and complex problems of the South Caucasus region from a historical, political and legal

perspective. The territory of present-day Armenia, which is the historical lands of Azerbaijan, was gradually transformed into a monoethnic space throughout the 19th–20th centuries, and this process was accompanied by a policy of systematic deportations, forced relocations and ethnic cleansing. The issue of Western Azerbaijan is not limited only to the context of regional history and national memory, but is also closely related to the problems of sovereignty, territorial integrity, human rights, and forced migration of states in the system of international relations.

When viewed from the perspective of international relations theories, the problem of Western Azerbaijan provides analytical material for both realism, liberal institutionalism, and constructivist approaches. While from a realist perspective, this issue can be explained by the balance of power and security dilemma, liberal approaches highlight the role of international organizations, legal mechanisms, and normative frameworks. The constructivist approach is of great importance in explaining the impact of identity, historical memory, and discourses on political behavior in the region.

The concept of Western Azerbaijan covers the lands located in the territory of present-day Armenia from a historical and geographical perspective and inhabited by Azerbaijanis for many centuries. Although these territories were part of different states, they constituted an important part of Azerbaijani identity from an ethnic and cultural perspective [15]. In the 19th century, the occupation of the region by Tsarist Russia and, especially, after the Treaty of Turkmenchay in 1828, demographic changes occurred in the region. As a result of the resettlement of Armenians from Iranian and Ottoman territories, the ethnic balance changed, and this process laid the foundation for future conflicts [8]. This policy continued during the Soviet period in the 20th century, resulting in the gradual displacement of the Azerbaijani population from the region. This process culminated in mass deportations in 1988–1991.

Deportation policy and international legal norms. During the 20th century, the deportation of the Azerbaijani population from Western Azerbaijan was carried out in several stages. In particular, the waves of deportations of 1905–1907, 1918–1920, 1948–1953 and 1987–1991 radically changed the demographic structure of the region. These processes contradicted the basic principles of international law - the universality of human rights, the inadmissibility of ethnic discrimination, the prohibition of forcible transfer of the civilian population.

Deportation and ethnic cleansing are considered criminal acts within the framework of modern international law. The UN Declaration of Human Rights, the International Covenant on Civil and Political Rights, the 1951 Convention on the Status of Refugees and other documents clearly recognize the rights of forcibly displaced persons to return, property and safe residence. In this regard, the issue of Western Azerbaijan is an urgent problem that needs to be reassessed within the framework of international legal mechanisms.

The Western Azerbaijan issue in the system of international relations. The Western Azerbaijan issue can be analyzed within the framework of international relations theories, especially in terms of security and identity approaches. According to Barry Buzan and Ole Wæver's regional security complex theory, the South Caucasus region has interdependent security dynamics [7]. From this perspective, the Western Azerbaijan issue is not limited to Azerbaijan-Armenia relations alone, but is also closely related to the interests of the great powers located in the region. The position of actors such as Russia, Turkey and Iran in the region increases the geopolitical importance of the issue. According to the theory of realism, states rely on the balance of power to ensure their security [19]. In this context, the Western Azerbaijan issue also acts as an integral part of the regional balance of power.

In the post-conflict period, regional integration and cooperation initiatives are of great importance. In particular, the expansion of transport, energy and economic relations can contribute to ensuring stability in the region. Integration prospects in the South Caucasus can

develop in the following directions: Opening of transport corridors (Middle Corridor). Expansion of energy projects, Regional trade and economic cooperation. In this context, regional integration can serve not only economic, but also social and humanitarian relations [11]. Integration processes and regional cooperation prospects. In the post-conflict period, regional integration and cooperation initiatives are of great importance. In particular, the expansion of transport, energy and economic relations can contribute to ensuring stability in the region. Integration prospects in the South Caucasus can develop in the following directions: Opening of transport corridors (Middle Corridor) Expansion of energy projects Regional trade and economic cooperation In this context, regional integration can serve not only economic, but also social and humanitarian relations.

The role and limitations of international organizations. International organizations play an important role in raising the issue of Western Azerbaijan to the international level and assessing it in a legal and political framework. These organizations have various mechanisms for preventing conflicts, protecting human rights, and ensuring the rights of internally displaced persons. However, there are also certain institutional and political limitations in their activities. First of all, the United Nations (UN) acts as the main global actor in maintaining international peace and security. The documents adopted by the UN, especially the Universal Declaration of Human Rights, which plays the role of a normative basis in the field of human rights, create a fundamental basis for the legal assessment of situations such as forced displacement and ethnic cleansing. In addition, institutions such as the UN High Commissioner for Refugees, which protects the rights of refugees, play an important role in the implementation of humanitarian protection mechanisms. At the regional level, the OSCE is one of the main platforms that perform a mediation function in resolving conflicts. The Minsk process that operated within its framework served to maintain dialogue between the parties [8]. However, the fact that the organization's decisions are not legally binding limits its influence. In Europe, the Council of Europe and its legal mechanism, the European Court of Human Rights, play an important role in protecting human rights based on individual complaints. In particular, decisions on property rights, forced displacement, and the right to return contribute to the formation of international legal precedents.

Limitations and problems. One of the main problems observed in the activities of international organizations is the lack of political will. In particular, the interests of states with veto power in the UN Security Council sometimes complicate the adoption and implementation of decisions [19]. Another important limitation is related to institutional weaknesses. The decisions of many international organizations are of a recommendatory nature and the mechanisms for their enforcement are not strong enough. This complicates the long-term resolution of conflicts [7]. In addition, the problem of selective approach is also noteworthy. In some cases, international organizations show different attitudes to similar situations, which can cast a shadow on their objectivity and legitimacy.

Assessment and prospects. In general, although international organizations play an important role in keeping the legal and humanitarian aspects of the West Azerbaijan issue on the agenda, their effectiveness directly depends on the political will of the member states and the balance of power in the international system. In this regard, not only international organizations, but also regional cooperation mechanisms and bilateral diplomatic initiatives are needed to resolve the issue. International organizations have significant potential in terms of introducing the West Azerbaijan problem on the international agenda and bringing it to the legal and political level. The UN, OSCE, Council of Europe, Organization of Islamic Cooperation and other organizations have institutional mechanisms in the field of human rights, protection of internally displaced persons and ethnic minorities. However, practical experience shows that the activities of international organizations are often limited by political will, interests of great powers and selective approaches. The fact that the West Azerbaijan issue has remained outside the

international agenda for a long time is a clear example of this reality. Nevertheless, the activities of the West Azerbaijan Community in recent years, the formation of a return discourse based on international law and attempts to bring the issue to institutional platforms can be assessed as the beginning of a new stage. The UN, OSCE, Council of Europe and Organization of Islamic Cooperation have important institutional mechanisms in the field of human rights protection and protection of internally displaced persons. However, the fact that the West Azerbaijan issue has not been included in the international agenda at the appropriate level for a long time reveals the problem of selective approach and dependence on political influences of international organizations. In recent times, the international law-based activities of the West Azerbaijan Community have opened up new opportunities for bringing this issue to the institutional level. The role of international organizations in the West Azerbaijan issue is of particular importance. These organizations operate in the direction of conflict resolution, protection of human rights, and protection of the rights of refugees.

UN and human rights mechanisms. Documents adopted within the UN framework, in particular the Universal Declaration of Human Rights and the Convention on the Status of Refugees, are aimed at protecting the rights of internally displaced persons.

OSCE and regional security. The OSCE plays a mediating role in resolving peace and security issues in the region. However, in some cases, the effectiveness of the organization has been limited.

Council of Europe and legal mechanisms. The European Court of Human Rights has adopted decisions on property rights and the rights of internally displaced persons through the individual application mechanism.

The issue of Western Azerbaijan in the context of human rights. The problem of Western Azerbaijan can be analyzed from the perspective of human rights in the following main directions:

- Forced migration and deportation - prohibited under international law
- Violation of property rights
- Destruction of cultural heritage
- Failure to ensure the right of return

In international law, the “right to return” is recognized as one of the fundamental rights. This right is enshrined in both the Universal Declaration of Human Rights and other international documents.

Challenges and prospects. The solution to the West Azerbaijan issue is accompanied by a number of difficulties:

- Lack of political will
- Limited influence of international organizations
- Geopolitical competition
- Clash of historical narratives

In addition, progress is possible in the following directions:

- Activation of legal mechanisms
- Informing the international community
- Strengthening regional cooperation platforms

The West Azerbaijan issue is complex in nature, combining historical, political, legal and humanitarian aspects. The solution to this problem may be possible not only at the regional level, but also within the framework of international law and cooperation. The development of integration processes, the active participation of international organizations and the provision of human rights act as the main priorities in this direction.

Human rights, the right of return and integration perspectives. The right of return is one of the fundamental principles of international law and occupies a central place in the process of

restoring justice for deported peoples. In the context of Western Azerbaijan, this right encompasses not only physical return, but also security guarantees, protection of cultural heritage, restoration of property rights and social reintegration.

Modern integration approaches show that sustainable peace in post-conflict areas is possible not only through legal and institutional mechanisms, but also through the formation of mutual trust, regional cooperation and inclusive integration models. In this regard, bringing the issue of Western Azerbaijan to the agenda within the framework of international organizations, regional integration initiatives and human rights mechanisms can contribute to long-term stability in the South Caucasus.

The issue of Western Azerbaijan is of particular relevance in the context of fundamental principles of international law, in particular the protection of human rights and the right of return. Restoring the rights of the population forcibly displaced from their historical lands is not only a humanitarian issue, but also has significant importance in terms of the application of international law and the principles of justice.

Human rights and forced displacement are a problem. Cases of forced displacement and deportation are considered serious violations of law under international law. In this regard, the Universal Declaration of Human Rights adopted by the United Nations establishes the right of every person to life, property and freedom of movement. Violation of these rights, especially in cases of forced displacement based on ethnicity, gives rise to international legal responsibility. In addition, the norms adopted within the framework of the UN High Commissioner for Refugees are aimed at protecting the rights of refugees and internally displaced persons. These rights cover not only physical security, but also the provision of socio-economic and cultural rights.

Legal basis of the right of return. The “right of return” is accepted as one of the fundamental principles of international law and expresses the right of individuals to return to their homeland. This principle is reflected in the relevant articles of the Universal Declaration of Human Rights, as well as in other international documents. At the same time, the European Court of Human Rights, operating within the Council of Europe system, has adopted important decisions on property rights and forced displacement. These decisions show that property rights lost as a result of forced displacement are recognized as a subject of legal dispute and, in certain cases, compensation or restoration mechanisms are applied. Integration prospects and social adaptation. The realization of the right of return is not limited to legal recognition; this process must be accompanied by parallel social, economic and institutional integration measures. The following areas are of particular importance in the post-return phase:

- Restoration of infrastructure and provision of living conditions
- Ensuring access to social services (education, health, etc.)
- Creating economic reintegration and employment opportunities
- Promoting ethnic and cultural harmony

In this regard, the integration process should be assessed as a complex stage that includes not only physical return, but also full and sustainable inclusion in society [10].

Challenges and realities. The implementation of return and integration processes may face a number of difficulties: Political and security risks, Weak trust environment, Problems in the implementation of legal mechanisms, Regional geopolitical impacts

Therefore, coordinated action of international organizations, regional actors and states is necessary for the effective provision of the right of return. Human rights and the right of return are at the heart of the Western Azerbaijan issue. Ensuring these rights is not only the restoration of individual justice, but also the main condition for long-term peace and stability in the region. Integration prospects act as the main mechanism ensuring the sustainability of this process.

Ideological and intellectual dimensions of the Western Azerbaijan issue in the modern international system. The Western Azerbaijan issue should be assessed not only as a set of

historical and political events, but also as an integral part of ideological and intellectual discourses formed in the system of modern international relations. In this context, the issue is analyzed from various theoretical prisms such as identity, memory politics, normative law and geopolitical competition.

Ideological approaches: identity and national narratives. In modern international relations, ideological factors have a serious impact on the behavior and foreign policy of states. The Western Azerbaijan issue is also formed within the framework of mutual competition of narratives built on national identity and historical memory. According to the constructivist approach, the main factors in international politics are not only material power, but also ideas, identities and social constructions. In this regard, the West Azerbaijan issue is characterized by different interpretations of historical events by different parties. The politicization of historical memory is one of the main factors that led to the deepening of the conflict [2].

Within the framework of national narratives, issues of territory, history and cultural heritage have not only factual but also symbolic meaning. This creates ideological barriers that make it difficult to resolve the issue on the basis of compromise.

Intellectual framework: international relations theories. Intellectual analysis of the West Azerbaijan issue can be conducted on the basis of various international relations theories:

- **Realism** explains the issue in the context of balance of power and security dilemma. According to this approach, states try to gain strategic advantage to protect their national interests [20].

- **Liberalism** highlights the role of international organizations and cooperation mechanisms. In this framework, legal and diplomatic resolution of conflicts is considered possible.

- **Constructivism** emphasizes the role of identity, ideas and discourses and suggests that conflict is formed as a social construction.

Each of these theoretical approaches explains different aspects of the West Azerbaijan issue, and their combination is considered more effective for a comprehensive analysis [5].

Normative dimension: discourse of international law and justice. In the modern international system, normative approaches that is, the principles of law, justice and human rights are gaining increasing importance. In this regard, the international legal norms formulated by the United Nations constitute the main framework for the legal assessment of the Western Azerbaijan issue. In particular, documents such as the Universal Declaration of Human Rights, while protecting the fundamental rights of individuals, also define the responsibilities of states. Within the framework of the normative discourse, principles such as the right of return, property rights and the prohibition of discrimination occupy a central place.

Geopolitical and information level. In modern times, ideological and intellectual struggle is carried out not only at the academic level, but also through information warfare and public diplomacy. States and various actors use the media, academic research and international platforms to influence international public opinion. In this regard, the issue of Western Azerbaijan has also become a subject of competition in the information space. The formation of narratives, the interpretation of historical facts and their presentation to the international audience directly affect the issue's place on the global agenda.

Challenges and theoretical implications

The main challenges in the context of ideological and intellectual dimensions are as follows:

- Clash of historical narratives
- Selective application of international law
- Information warfare and disinformation
- Inconsistency between academic and political discourses

These challenges show that the solution of the issue of Western Azerbaijan is possible not only through political and legal mechanisms, but also through ideological dialogue and intellectual cooperation.

The ideological and intellectual dimensions of the issue of Western Azerbaijan once again confirm its complex and multifaceted nature. This problem is not only a territorial or political dispute, but also a question of identity, memory and normative justice. In the modern international system, a comprehensive approach to solving such problems the unity of theoretical, legal and ideological elements is considered necessary. The problem of Western Azerbaijan raises fundamental questions regarding the practical application of the concept of double standards, normative selectivity and international justice in the modern system of international relations. On the one hand, this issue acts as a demand for the restoration of historical justice, and on the other hand, it is an example that tests the effectiveness of international law in the face of real politics. This chapter, presented as the ideological and intellectual peak of the article, removes the topic of Western Azerbaijan from the emotional narrative and raises it to the level of scientific, legal and institutional discourse. This approach forms a conceptual framework that is both understandable to the international audience and defensible in the academic environment, and presents the issue of Western Azerbaijan as an integral part of modern integration processes.

The issue of Western Azerbaijan acts as one of the problems of a multifaceted and complex nature in the system of modern international relations. Its essence is not limited only to historical-geographical claims or the framework of regional conflict; on the contrary, this issue should be assessed as a large-scale phenomenon formed at the intersection of human rights, international law, geopolitics, identity and ideological discourses. From the point of view of historical-political geography, Western Azerbaijan has long been an integral part of the Azerbaijani identity in ethnic, cultural and social terms. However, demographic changes, deportations and ethnic cleansing policies that occurred at various historical stages have radically changed the ethnic structure of the region and laid the foundation for political and legal problems that continue to this day. These processes should be seriously assessed in terms of international law norms and analyzed in an objective legal framework.

The place of the issue in the system of international relations is closely related to its geopolitical importance. The South Caucasus region acts as a strategic space where the interests of great powers collide, and in this context, the problem of Western Azerbaijan is considered one of the important components of the regional security architecture. The balance of power, the security dilemma and the competition for regional influence are some of the main factors that complicate the solution of this issue. At the same time, although the role of international organizations is important, certain limitations are observed in their activities. Although institutions such as the United Nations, the OSCE and the Council of Europe provide a legal and institutional framework, the lack of political will and a selective approach limit the effectiveness of these mechanisms. This shows that there is a certain imbalance between normative principles and real political interests in the international system. Human rights and in particular the right of return are one of the central elements of the issue. The right of internally displaced persons to return to their homeland is recognized as one of the fundamental principles of international law. Ensuring this right is not only a legal issue, but also means the restoration of social justice and historical justice. However, the implementation of this process is accompanied by serious challenges such as security, political trust and the weakness of institutional mechanisms.

Integration prospects act as one of the main directions determining the future development trajectory of the issue. Regional cooperation, expansion of economic ties and social reintegration measures can play an important role in ensuring long-term peace. From this point of view, integration is not only an economic and technical process, but also a mechanism for building trust and restoring social harmony. At the same time, the ideological and intellectual

dimensions of the issue are important for its deeper understanding. National narratives, historical memory and identity issues indicate that the conflict continues not only at the physical, but also at the symbolic level. In the modern era, information warfare and discourse struggle play an important role in presenting this issue to international public opinion.

In general, the solution to the Western Azerbaijan issue requires a complex and multi-level approach. This approach should encompass the unity of the following elements: consistent and objective application of international legal norms, ensuring human rights, especially the right of return, strengthening regional and international cooperation, forming a balanced and reasoned discourse in the ideological and informational level.

As a result, a sustainable and fair solution to this issue is possible not only through political agreements, but also through a complex transformation at the legal, humanitarian and ideological levels. The problem of Western Azerbaijan in this sense serves as an important example reflecting both the weak and the potential sides of the modern international system.

Proposals.

A complex, multi-level and coordinated approach is required for a fair and sustainable solution to the West Azerbaijan issue. In this regard, specific policy proposals can be put forward in the following areas:

Strengthening international legal mechanisms

The application of international legal norms related to the right of return, property rights and forced displacement should be expanded.

The establishment of special reporting mechanisms or fact-finding missions within the United Nations should be encouraged.

The possibilities of applying to legal institutions such as the European Court of Human Rights should be expanded and case law should be used more effectively.

Activation of diplomatic and multilateral initiatives

The issue should be systematically kept on the agenda in regional and international platforms.

The creation of new dialogue formats within institutions such as the OSCE should be encouraged.

Confidence-building measures should be strengthened through bilateral and multilateral diplomacy.

Development of a return and reintegration strategy

A phased strategic plan should be developed for the safe, voluntary and dignified return of internally displaced persons.

Infrastructure restoration, improvement of living conditions and access to social services should be ensured.

Employment programs and investment incentives should be implemented for economic reintegration.

Strengthening the human rights and humanitarian agenda

Cooperation with the UNHCR and other international organizations should be expanded.

Documentation of human rights violations and their presentation to the international community should be carried out systematically.

Awareness-raising and legal support programs on the right of return and property rights should be implemented.

Development of information and academic diplomacy

Objective and scientifically based research on the issue of Western Azerbaijan should be encouraged.

Presentation of the topic on international academic platforms, conferences and publications should be strengthened.

A coordinated information policy should be formed to combat disinformation.

Regional integration and cooperation initiatives

Interdependence should be increased through regional projects in the fields of transport, energy and trade.

A climate of trust should be formed through social and cultural cooperation programs.

Inclusive development models should be applied in the post-conflict period.

Final recommendation

An effective solution to the Western Azerbaijan issue is possible not only in one direction, but also through the parallel development of legal, political, economic and ideological spheres. In this regard, the proposals presented should be considered as part of a comprehensive strategy and implemented consistently in the long term.

Literature

1. Abbasov, R. (2020). *Ethno-political Processes in Armenia and the Expulsion of Azerbaijanis*.
2. Altstadt, A. L. (1992). *The Azerbaijani Turks: Power and Identity under Russian Rule*. Hoover Institution Press.
3. Bahramov, J., Hasanov, B., & Amrahov, J. (2025). *The Consequences of Forced Deportations...* Lex Localis.
4. Baxşəliyev, F. (2024). *Deportations of Azerbaijanis from West Azerbaijan and the Concept of Return*.
5. Broers, L. (2019). *Armenia and Azerbaijan: Anatomy of a Rivalry*. Edinburgh University Press.
6. Buzan, B., & Wæver, O. (2003). *Regions and Powers: The Structure of International Security*. Cambridge University Press.
7. Buzan, B., Wæver, O., & de Wilde, J. (1998). *Security: A New Framework for Analysis*. Lynne Rienner Publishers.
8. De Waal, T. (2013). *Black Garden: Armenia and Azerbaijan through Peace and War*. NYU Press.
9. European Court of Human Rights (2015). *Chiragov and Others v. Armenia*.
10. Guliyev, V. (2022). *The Right of Return in International Law and the Case of Western Azerbaijan*.
11. Həsənov, Ə. (2015). *Azərbaycanın geosiyasəti*. Bakı.
12. International Organization for Migration (IOM). (2019). *Migration Trends in the South Caucasus*.
13. Iskandarov, K. (2019). *Western Azerbaijan: Historical Geography and Demographic Changes*.
14. Organization for Security and Co-operation in Europe (1995). *OSCE Documents and Decisions*.
15. Swietochowski, T. (1995). *Russia and Azerbaijan: A Borderland in Transition*. Columbia University Press.
16. United Nations (1948). *Universal Declaration of Human Rights*.
17. United Nations (1966). *International Covenant on Civil and Political Rights*.
18. United Nations High Commissioner for Refugees (1951). *Convention Relating to the Status of Refugees*.
19. Walts, K. N. (1979). *Theory of International Politics*. Addison-Wesley.
20. Wendt, A. (1999). *Social Theory of International Politics*. Cambridge University Press.

Түркі мемлекеттері ұйымының өңірлік және халықаралық саясаттағы рөлі

Сейдалы Алина Бақытжанқызы

Тұран университеті, Халықаралық қатынастар және дипломатия жоғары мектебі магистранты

Түркі мемлекеттері ұйымы (ТМҰ) өзінің құрылған күнінен бастап бүгінгі күнге дейін айтарлықтай эволюциялық жолдан өтіп, бастапқыда тек мәдени-гуманитарлық сипаттағы алаңнан көпсалалы, стратегиялық ынтымақтастық платформасына айналды. Түркия президенті Режеп Тайып Ердоғанның айтуынша, бүгінде ТМҰ «стратегиялық ынтымақтастық платформасына» айналды [1]. Бұл ұйымның халықаралық қатынастар жүйесіндегі рөлінің арта түскенін, оның өңірлік тұрақтылық пен жаһандық саясаттағы маңызының күшейгенін көрсетеді. Қазіргі геосаяси жағдайда ТМҰ Еуразия кеңістігіндегі жаңа күш орталығы ретінде қалыптасып, оның мүше мемлекеттері халықаралық аренада біртұтас ұстаным ұстануға ұмтылуда. Бұл тарауда ТМҰ-ның өңірлік саясаттағы рөлі, оның халықаралық ұйымдармен және жаһандық ойыншылармен қарым-қатынасы, сондай-ақ ұйымның әлемдік саясаттағы орны жан-жақты талданады.

ТМҰ-ның өңірлік саясаттағы рөлі ең алдымен Еуразиялық экономикалық одақ (ЕАЭО), Шанхай ынтымақтастық ұйымы (ШЫҰ), Тәуелсіз мемлекеттер достастығы (ТМД) сияқты басқа да өңірлік интеграциялық құрылымдармен өзара іс-қимыл контекстінде қарастырылуы тиіс. ТМҰ бұл ұйымдармен бәсекелестікке түспей, керісінше, оларды толықтыра отырып, өзінің ерекше орнын табуда. Қазақстан, Қырғызстан, Өзбекстан сияқты Орталық Азия елдері бір уақытта ЕАЭО мен ШЫҰ-ның да мүшелері болып табылады, бұл ТМҰ-ның басқа құрылымдармен үйлесімді жұмыс істеу мүмкіндігін көрсетеді. Мысалы, Еуразия кеңістігінде ЕО, ЕАЭО, ШЫҰ және ТМҰ сияқты төрт ірі интеграциялық жоба қатар өмір сүріп, әртүрлі мотивтерге ие бола отырып, мемлекетаралық қатынастардың қалыптасуына әсер етеді. ТМҰ аймақтағы көлік-логистикалық инфрақұрылымды дамыту арқылы Еуразияның көлік торабына айналуға ұмтылуда. Транскаспий халықаралық көлік бағыты («Орталық дәліз») ТМҰ-ның өңірлік маңыздылығын арттыратын басты жобалардың бірі болып табылады. Бұл бағыт Қытай мен Еуропа арасындағы ең қысқа әрі тиімді жолдардың бірі ретінде танылып, оны дамытуға Еуропалық Одақ та үлкен қызығушылық танытуда. 2025 жылы Еуропалық инвестициялық банк Транскаспий бағытының жобаларына 200 миллион еуро бөлуге уағдаласты, бұл ТМҰ бастамаларының халықаралық аренада мойындалып отырғанын көрсетеді [2].

ТМҰ-ның өңірлік рөлінің тағы бір маңызды аспектісі – оңтүстік Кавказдағы бейбітшілік пен тұрақтылықты нығайтуға қосып жатқан үлесі. 2020 жылғы Қарабақ соғысынан кейін түркі мемлекеттері арасындағы синергия нақты нәтижелерге әкеліп, ұйымның даму траекториясын айқындады. Әзербайжанның жеңісі ТМҰ-ға мүше мемлекеттердің бірлігін нығайтып, ұйымның беделін арттырды. 2025 жылы Әзербайжан мен Армения арасында Құрама Штаттарда Бірлескен декларацияға қол қойылуы тарихи оқиға ретінде бағаланып, бұл жетістік «бүкіл түркі әлемінің ортақ жеңісі» деп аталды. ТМҰ сонымен қатар Каспий теңізінің құқықтық мәртебесі, Орталық Азиядағы су ресурстарын бөлу және шекаралық даулар сияқты өңірлік мәселелерді талқылау алаңы ретінде де қызмет етеді. Аймақтағы бейбітшілік пен тұрақтылықтың нығаюы Түркия мен басқа түркі мемлекеттері арасындағы байланысты арттырады деп күтілуде.

Өңірлік деңгейде ТМҰ-ның маңыздылығы оның Еуразиядағы жаңа күштер тепе-теңдігін қалыптастырудағы рөлімен де айқындалады. Кейбір сарапшылар ТМҰ-ны «Шанхай ынтымақтастық ұйымына немесе Еуразиялық экономикалық одаққа жауап» ретінде сипаттайды, алайда оның мультиполярлы әлемдегі толыққанды жаңа полюс екендігі даусыз [3]. ТМҰ-ның қызметі кең ауқымды географиялық кеңістіктегі күш динамикасын қайта қалыптастыруға қабілетті. Түркия вице-президенті Джевдет Йылмаздың айтуынша, ТМҰ мүше мемлекеттерінің экономикалық өсу қарқыны жаһандық орташа көрсеткіштен екі есеге жуық жоғары [4]. Жаһандық өсім шамамен 3% болса, ТМҰ мүшелерінде бұл көрсеткіш 6% құрайды. Мұндай экономикалық динамика ұйымның аймақтағы тартымдылығын арттырып, оның өңірлік ықпалын күшейте түсуде.

Халықаралық деңгейде ТМҰ-ның рөлі бірнеше бағытта қалыптасуда. Біріншіден, ұйым Біріккен Ұлттар Ұйымы (БҰҰ), Еуропадағы қауіпсіздік және ынтымақтастық ұйымы (ЕҚЫҰ), Ислам ынтымақтастық ұйымы (ИЫҰ) сияқты жетекші халықаралық ұйымдармен байланысын нығайтуда. ТМҰ БҰҰ және ИЫҰ сияқты ұйымдарда бақылаушы мәртебесін алу процесін жалғастыруда. Сонымен қатар Оңтүстік-Шығыс Азия мемлекеттерінің қауымдастығы (ASEAN), Вишеград тобы (V4), Африка одағы және Араб мемлекеттері лигасы сияқты серіктестермен құрылымдық ынтымақтастықты ресімдеу бойынша жұмыстар жүргізілуде. Бүгінгі таңда ТМҰ 18 Өзара түсіністік туралы меморандум мен Бірлескен декларацияға, 2 іске асыру құжатына қол қойған. Ұйымның БҰҰ-ның Женева мен Венадағы бөлімшелерінде «Түркі апталықтарын» өткізуі Түркі әлемінің ортақ мұрасын таныту және ТМҰ-ның халықаралық маңыздылығын арттыру үшін маңызды платформа болып отыр.

Еуропалық Одақпен ынтымақтастық ТМҰ-ның халықаралық қызметінің маңызды бөлігі болып табылады. Бұл бағытта Мажарстанның бақылаушы мүше ретіндегі рөлі ерекше. Мажарстан 2018 жылы Қырғызстанда өткен саммитте ТМҰ-ға бақылаушы мүше болып қосылды. Түркіменстан 2021 жылы, ал Солтүстік Кипр Түрік Республикасы 2022 жылы бақылаушы мүше мәртебесін алды. Мажарстан Еуропалық Одақ пен Түркі әлемі арасындағы «көпір» рөлін атқарып, ТМҰ мен Еуропалық Одақ арасындағы диалогты дамытуға белсенді түрде ықпал етуде. ТМҰ мен Мажарстанның Сыртқы істер және сауда министрлігі арасында ТМҰ-Еуропалық Одақ қатынастарын қолдауға бағытталған Бірлескен жұмыс жоспары қабылданды. 2025 жылғы 21 мамырда Будапештте өткен бейресми саммит ТМҰ-ның еуропалық кеңістіктегі алғашқы ірі іс-шарасы болып, бұл ұйымның батыс бағытындағы амбициясын көрсетті. Мажарстан премьер-министрі Виктор Орбан бірнеше рет ТМҰ саммиттеріне қатысып, Орталық Еуропа мен Түркі елдерінің арасындағы экономикалық ынтымақтастықты дамытуға шақырды.

ТМҰ-ның халықаралық саясаттағы рөлінің маңызды аспектісі — оның Еуразиядағы жаңа геосаяси конфигурацияда аралық позицияны ұстануы. Түркияның НАТО-ның толық мүшесі бола тұра, Шанхай ынтымақтастық ұйымымен және БРИКС-пен белсенді ынтымақтастықты дамытуы Еуразия кеңістігіндегі жаңа көпвекторлы дипломатияның үлгісі болып табылады. Түркия 2012 жылдан бері ШЫҰ-ның диалогтас серіктесі мәртебесіне ие НАТО-ның жалғыз мүшесі. Бұл ерекше позиция Түркияның дәстүрлі батыстық одақтары мен еуразиялық әріптестік арасындағы тепе-теңдікті сақтауға деген ұмтылысын білдіреді. Түркия президенті Режеп Тайып Ердоғанның айтуынша, Түркия НАТО, ШЫҰ, БРИКС, Еуропалық Одақ және Түркі мемлекеттері ұйымы арасындағы ынтымақтастықта ешқандай мүдделер қайшылығын көрмейді. ТМҰ осылайша ШЫҰ мен ЕАЭО арасындағы байланыстырушы буын қызметін атқара алады.

ТМҰ-ның халықаралық рөлінің тағы бір маңызды аспектісі — ұйымның жаһандық қауіпсіздік пен тұрақтылыққа қосып жатқан үлесі. ТМҰ Бас хатшысының пікірінше, ұйым тек өңірлік актор ғана емес, сонымен қатар бүкіл адамзатты алаңдататын сын-қатерлерді шешуге үлес қосады. ТМҰ өз қызметінде саяси диалогты тереңдетіп, экономикалық

байланыстарды кеңейтіп, ғылыми және мәдени алмасуларды дамытып, аймақтағы және одан тыс жерлердегі бейбітшілік, тұрақтылық пен өркендеудің құрылымдық күші ретінде әрекет етеді. Ұйымның 2025 жылғы 29 қыркүйекте Бакуде өткен «Жаһандық тұрақсыздық жағдайында өңірлік актор ретіндегі Түркі мемлекеттері ұйымы» атты конференциясы осы бағыттағы маңызды қадам болды [5]. Конференцияда ТМҰ-ның жаһандық бейбітшілік пен тұрақтылыққа қосқан үлесі, оның әлемдік экономика, сауда және көлік байланыстарындағы рөлі, сондай-ақ мәдениет, ғылым және парламентаризм салаларындағы саясаты талқыланды.

ТМҰ-ның халықаралық ұйымдармен қарым-қатынасы бірнеше деңгейде жүзеге асырылады. 2025 жылғы 25 қарашада Берлинде өткен сыртқы саясат форумына ТМҰ Бас хатшысы Кубанычбек Омуралиев арнайы шақырумен қатысып, онда халықаралық ұйымдардың, мемлекеттік мекемелердің, талдау және зерттеу орталықтарының өкілдерімен кездесті. Бұл ТМҰ-ның еуропалық саяси дискурста өзінің беделін нығайтып жатқанын көрсетеді. Сонымен қатар ТМҰ-ның Германия сыртқы істер министрлігімен, Италияның бұрынғы сыртқы істер министрімен және Кёрбер қорының басқарма төрағасымен диалог жүргізуі ұйымның батыстық серіктестермен байланысын кеңейтуге деген ұмтылысын білдіреді.

ТМҰ-ның Ресеймен қарым-қатынасы ерекше назар аударуды қажет етеді. ТМҰ посткеңестік кеңістіктегі мемлекеттерді, оның ішінде ЕАЭО мүшелерін біріктіретін жаңа интеграциялық платформа ретінде Ресейде белгілі бір алаңдаушылық тудыруда. Кейбір ресейлік сарапшылардың пікірінше, Түркия ТМҰ арқылы аймақтағы өз ықпалын арттыруға ұмтылады. Дегенмен, соңғы жылдары Ресейдің ТМҰ-мен жүйелі түрде байланыс орнату мәселесі кеңінен талқылануда. Ресейдің ТМҰ-мен байланысы мәселесі көпөлшемді сипатқа ие: институционалдық шектеулер, нормативтік қайшылықтар, этникалық қатынастар, геосаяси бәсекелестік және символдық аспектілер осы мәселенің күрделілігін көрсетеді. Ресейдің құрамында Татарстан, Башқұртстан, Якутия сияқты бірнеше түркітілдес аймақтардың болуы екі тараптың өзара байланысы үшін әлеуетті негіз бола алады. Алайда Ресейдің ТМҰ-ға ресми мүше немесе бақылаушы ретінде қосылуына кедергілер де жеткілікті. Кейбір мәліметтер бойынша, Ресей «Алтай – түріктердің отаны» тұжырымдамасын және «Ұлы Алтай» жобасын ТМҰ-ға қарсы балама ретінде ілгерілетуге тырысуда [6].

ТМҰ-ның Қытаймен қарым-қатынасы негізінен экономикалық және көлік-логистикалық салаларда дамуда. Түркия мен Қытай көшбасшылары технология, инвестиция, «Орталық дәліз» және «Бір белдеу – бір жол» бастамасы арқылы ынтымақтастықты арттыру мәселелерін талқылайды. Қытайдың Орталық Азиядағы экономикалық ықпалының артуы ТМҰ мүшелері үшін қосымша мүмкіндіктер туғызуда. АҚШ-пен қарым-қатынасқа келсек, ТМҰ мүшелерінің басым бөлігі АҚШ-пен әртүрлі деңгейде байланыс орнатқанымен, ұйымның ұжымдық түрде АҚШ-пен арнайы диалог форматы әлі қалыптасқан жоқ. Бұл саладағы ынтымақтастық негізінен мүше мемлекеттердің екіжақты қарым-қатынастары арқылы жүзеге асырылады.

ТМҰ өзінің халықаралық ықпалын арттыру мақсатында «ТМҰ+» форматын іске қосуда. 2025 жылғы 7 қазанда Габалада өткен 12-ші саммитте ұйым сыртқы серіктестермен ынтымақтастықты тереңдету мақсатында «ТМҰ+» форматын бекітіп, өзін халықаралық ойыншы ретінде нығайтуға бағытталған шешім қабылдады. Бұл формат ұйымның басқа мемлекеттермен және халықаралық ұйымдармен ынтымақтастығын кеңейтуге, оның халықаралық аренадағы позициясын нығайтуға бағытталған. «Плюс» кім болатыны әлі шешілмегенімен, бұл бастама ұйымның жаһандық ойыншыға айналу амбициясын көрсетеді.

ТМҰ-ның бақылаушы мемлекеттері ұйымның халықаралық ықпалын кеңейтуде маңызды рөл атқарады. Мажарстан, Түрікменстан, Солтүстік Кипр Түрік Республикасы және Экономикалық ынтымақтастық ұйымы (2023 жылы) бақылаушы мүшелер болып табылады.

Мажарстанның ТМҰ-ға мүшелігі Еуропалық Одақ пен Түркі әлемі арасындағы көпір қызметін атқарып қана қоймай, сонымен қатар Вышеград тобы елдерінің ТМҰ-ға деген қызығушылығын арттыруға ықпал етуде. Түрікменстанның бақылаушы мүше ретіндегі қатысуы бейтараптық саясатын сақтай отырып, ұйыммен байланысын нығайтуға ұмтылысын көрсетеді.

ТМҰ-ның өңірлік және халықаралық саясаттағы рөлі туралы айтқанда, ұйымның шешім қабылдау және іс-әрекет ету механизмдерінің ерекшеліктерін де ескеру қажет. ТМҰ өз мүшелерінің егемендігін толық сақтай отырып, консенсус негізінде жұмыс істейді. Бұл ұйымның шешімдерінің мүше мемлекеттердің ортақ келісіміне негізделгенін білдіреді. Дегенмен, бұл ерекшелік кейбір маңызды мәселелер бойынша шешімдердің кешігуіне де әкелуі мүмкін. Мысалы, Әзербайжан президенті Ильхам Әлиевтің бірлескен әскери оқу-жаттығулар өткізу туралы идеясына барлық мүше мемлекеттер бірдей қолдау білдіре қойған жоқ [7]. Бұл ұйымның ішкі динамикасының күрделілігін көрсетеді.

ТМҰ-ның халықаралық саясаттағы рөлінің артуына қарамастан, ұйымның алдында әлі де бірқатар сын-қатерлер тұр. Біріншіден, мүше мемлекеттер арасындағы экономикалық даму деңгейлерінің айырмашылығы интеграциялық процестерді тереңдетуге кедергі келтіруі мүмкін. Екіншіден, ұйымның бюджеті шектеулі, бұл ірі жобаларды жүзеге асыру мүмкіндігін шектейді. Үшіншіден, мүше мемлекеттердің сыртқы саяси басымдықтары әртүрлі, бұл кейде ұйымның ортақ ұстаным қалыптастыруына кедергі келтіреді. Төртіншіден, Түрікменстанның әлі толық мүше болмауы және Әзербайжанның салыстырмалы түрде жақында ғана қосылуы ұйымның кеңею динамикасына әсер етеді. Алайда, осы қиындықтарға қарамастан, ТМҰ өзінің халықаралық ықпалын жүйелі түрде арттырып келеді. 2025 жылғы деректер бойынша, ТМҰ мүшелері мен бақылаушыларының жиынтық халқы 160 миллионнан асады, ал жиынтық ЖІӨ 2 триллион долларға жуықтайды. Бұл сандар ұйымның әлеуетті экономикалық салмағы мен халықаралық ықпалының нақты көрсеткіші болып табылады.

Қорытындылай келе, Түркі мемлекеттері ұйымы қазіргі халықаралық қатынастар жүйесінде өзіндік ерекше орны бар, қарқынды дамып келе жатқан өңірлік ұйым болып табылады. Оның өңірлік рөлі ең алдымен Еуразия кеңістігіндегі көлік-логистикалық инфрақұрылымды дамыту, оңтүстік Кавказдағы бейбітшілік пен тұрақтылықты нығайту, сондай-ақ басқа интеграциялық құрылымдармен үйлесімді ынтымақтастық орнату арқылы айқындалады. Халықаралық деңгейде ТМҰ БҰҰ, ЕҚЫҰ, ИЫҰ, ЕО және басқа да маңызды ұйымдармен байланысын нығайтып, біртіндеп жаһандық саяси дискурстың толыққанды қатысушысына айналуға. Ұйымның «ТМҰ+» форматын іске қосуы оның жаһандық ойыншыға айналу амбициясын көрсетсе, Мажарстан сияқты бақылаушы мүшелердің болуы ТМҰ-ның батыс бағытындағы байланыстарын кеңейтуге мүмкіндік береді. Ресей мен Қытай сияқты ірі державалармен қарым-қатынас ТМҰ-ның сыртқы саяси күн тәртібіндегі маңызды бағыт болып қала береді. Алайда, ұйымның болашақтағы табысты дамуы мүше мемлекеттердің саяси ерік-жігеріне, экономикалық интеграцияны тереңдету қабілетіне, сондай-ақ өзгермелі жаһандық жағдайға бейімделу шеберлігіне тікелей байланысты. ТМҰ Бас хатшысы атап өткендей, ұйым түркі әлемінің бірлігін нығайтып, ынтымақтастықты тереңдете бермек [8]. Түркі мемлекеттерінің өзара ынтымақтастығы тек өңірлік тұрақтылыққа ғана емес, сонымен бірге жаһандық бейбітшілік пен өркендеуге де үлес қосады деп күтілуде.

1. Erdoğan on Turkic States Organization [Электрондық ресурс]. – URL: https://www.habererk.com/haber/cumhurbaskani-erdogan-turk-devletleri-teskilati-stratejik-dayanisma-platformudur_296135/
Қаралған күні: [17.02.2026]
2. Жүк тасымалы туралы аналитика [Электрондық ресурс]. – URL: <https://egemen.kz/article/393656-sonhghy-5-dgyl-da-dguk-tasymaly-6-esege-artty>
Қаралған күні: [19.02.2026]
3. Organization of Turkic States information space [Электрондық ресурс]. – URL: https://azertag.az/en/xeber/Organization_of_Turkic_States___A_long_way_towards_the_common_information_space-2086157
Қаралған күні: [20.02.2026]
4. Turkish Vice President on Turkic bloc [Электрондық ресурс]. – URL: <https://www.aa.com.tr/en/turkiye/turkish-vice-president-highlights-strategic-role-of-turkic-bloc-amid-global-uncertainty/3889966?amp=1>
Қаралған күні: [20.02.2026]
5. Роль ОТГ на мировой арене [Электрондық ресурс]. – URL: <https://www.aa.com.tr/ru/мир/в-баку-обсуждают-роль-отг-на-мировой-арене/3701913>
Қаралған күні: [22.02.2026]
6. Russia and Turkic world strategy [Электрондық ресурс]. – URL: <https://valdaiclub.com/a/highlights/the-prospects-for-russia-s-strategic-engagement/>
Қаралған күні: [22.02.2026]
7. Геополитика и ОТГ [Электрондық ресурс]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/8100186>
Қаралған күні: [22.02.2026]
8. Achievements of Turkic States [Электрондық ресурс]. – URL: <https://www.aa.com.tr/en/opinion/opinion-from-bishkek-to-gabala-achievements-and-prospects-of-the-turkic-states/3706421?amp=1>
Қаралған күні: [23.02.2026]

Economic Sciences

ETUDE SUR L'EFFICACITE DE L'INTERMEDIATION BANCAIRE MALAGASY ET SON IMPACT A LONG TERME SUR LE TAUX DE CROISSANCE ECONOMIQUE DE MADAGASCAR

RABEMANANTSOA Anja Fitia Nedhie

Doctorante en Sciences Economiques de l'Université d'Antananarivo

Samuel Albert Andriamiarintsaina RANDRIANTSOAVINA

Professeur Assistant de l'Université d'Antananarivo

Résumé

L'objectif principal de ce travail était d'étudier l'efficacité de l'intermédiaire bancaire Malagasy et son impact à long terme sur le taux de croissance économique de Madagascar en employant la technique du modèle Vectoriel Autorégressif Structurel durant la période de l'année 2000 à l'année 2023. Pour cela, nous utilisons les quatre variables suivantes : Δy_t est le taux de croissance économique, Δtd_t est la variation du taux débiteur, Δp_t est la variation de l'inflation et Δcrb_t est la variation du crédit bancaire.

La lecture des graphiques des réponses impulsionnelles et l'analyse de la décomposition de la variance aux chocs confirment que nos hypothèses d'identifications sont bien validées c'est-à-dire sans effets à long terme des trois chocs (choc du taux débiteur, choc de demande et choc du crédit bancaire) sur le taux de croissance économique. Les résultats ont montré que la majorité (presque de 43%) de la variance du taux d'inflation est dominée par le choc du crédit bancaire. Ce qui explique le rôle majeur du taux d'intérêt en tant qu'instrument dans la lutte contre le taux d'inflation.

Mots clés : Intermédiation bancaire, taux débiteur, Crédit bancaire, Taux de croissance économique, VAR structurel

Abstract

The main objective of this work was to study the efficiency of Malagasy banking intermediaries and their long-term impact on Madagascar's economic growth rate using the Structural Vector Autoregressive model technique during the period from 2000 to 2023. To do this, we used the following four variables: Δy_t is the economic growth rate, Δtd_t is the change in the lending rate, Δp_t is the change in inflation and Δcrb_t is the change in bank credit.

Reading the impulse response graphs and analyzing the variance decomposition of the shocks confirms that our identification hypotheses are well validated, meaning that the three shocks (interest rate shock, demand shock, and bank credit shock) have no long-term effects on the economic growth rate. The results showed that the majority (almost 43%) of the variance in the inflation rate is dominated by the bank credit shock. This explains the major role of the interest rate as an instrument in combating inflation.

Keywords: Bank intermediation, lending rate, bank credit, economic growth rate, structural VAR

1. Introduction

Depuis plusieurs décennies, le lien entre la finance et le développement économique ont été reconnu par la littérature économique dont les principaux précurseurs furent Goldsmith (1969) et Gurley et Shaw (1960). Ce constat a été renforcé par l'avènement de la crise financière qui a débuté en 2007 et la crise des subprimes ayant provoqué une grande récession de l'économie mondiale. Cela étant, l'économie réelle repose en grande partie sur le système financier (Gurley et Shaw (1967)), McKinnon (1973, 1991), Shaw (1973), Fry (1988, 1989) et, King et Levine (1993c)).

En effet, la principale contribution du système financier à la croissance réside dans le fait qu'il permet d'assurer le fonctionnement d'un système de paiement efficace et évolutif, de mobiliser l'épargne et d'améliorer son affectation à l'investissement à travers la fonction d'intermédiation financière (bancaire ou non)¹. Dans son analyse, Shumpeter (1912) souligne le rôle essentiel des crédits bancaires dans la stimulation du processus d'innovation en finançant les entrepreneurs ayant la meilleure chance de réussir leurs projets.

Par ailleurs, dans les pays en développement comme Madagascar, le système financier accorde une place prépondérante au rôle d'intermédiation bancaire dans le fonctionnement de l'économie. Ainsi, en 2018, 78,3% du secteur financier de Madagascar est composé par le secteur bancaire en détenant 77,8 % de l'actif total. Et depuis quelques années, l'on constate que les crédits à l'économie évoluent favorablement. Cela démontre que le secteur bancaire ainsi que la fonction d'intermédiation ont beaucoup progressé. Les banques occupent des fonctions spécifiques dans la finance indirecte en facilitant la rencontre entre les agents à besoin de financement ou emprunteurs et les agents à capacité de financement ou prêteurs, c'est la raison d'être des intermédiaires financiers.

Cependant, malgré les nombreuses théories qui sous-tendent le rôle essentiel du système bancaire du point de vue de son intermédiation sur la croissance économique, le pays fait face à d'énormes difficultés en termes de financement notamment pour le secteur privé dont l'expansion garantit un développement plus soutenu du pays. C'est pourquoi, la question qui se pose est de savoir dans quelle mesure l'intermédiation bancaire impacte-elle positivement la croissance économique de Madagascar ?

2. Revue de littérature

S'inspirant des approches théoriques, les études empiriques démontrent la contribution positive du système financier (qui inclut généralement les banques commerciales et le marché financier) à la croissance économique. Toutes les études menées admettent la corrélation entre les deux, mais c'est sur le sens de la causalité qu'elles divergent.

GOLDSMITH (1969) est l'un des pionniers dans les études empiriques consacrées à cette relation. Les recherches qu'il a effectuées sur un échantillon de 35 pays sur la période 1860- 1963 ont abouti au fait qu'il existe une liaison entre le secteur financier et le secteur réel à travers l'efficacité et le volume de l'investissement. Cependant, il n'a pas analysé le sens de la causalité.

KING et LEVINE (1993) vont tenir compte des insuffisances de l'étude de GOLDSMITH. Dans leur analyse qui a porté sur 80 pays sur la période allant de 1960 à 1989, ils ont montré que les

¹ Intermédiation financière et croissance économique : une approche basée sur le concept d'efficacité-X appliquée à la zone UEMOA Charlemagne Babatoundé Igue

indicateurs de développement financier choisis (comme M3/PIB) sont positivement et significativement corrélés avec le taux de croissance du PIB par tête (King, R. et Levine, R. (1993), *Finance and Growth: Schumpeter might be right*, *The Quarterly Journal of Economics*, 108 (8), page 717-737). Mais selon De GREGORIO et GUIDITTI (1995), le meilleur indicateur de l'activité financière n'est pas le ratio M3/PIB, mais le ratio crédit accordé au secteur privé/PIB.

Sur la question de la causalité, PATRICK (1966) avait apporté une contribution qui présente un certain intérêt. Selon cet auteur, le développement financier peut provenir soit de la demande de services financiers (*demand following*) encore appelé développement financier endogène ou de l'offre de services financiers (*supply leading*), i.e développement exogène. Ce dernier entraîne une causalité du développement financier vers la croissance. Partant de l'importance de cette relation, il en tire l'explication selon laquelle la faible croissance des pays sous-développés serait due à leur faible niveau de développement financier. Une fois que le processus de développement est arrivé à maturité, on a la causalité inverse, c'est-à-dire de la croissance vers la finance.

Cependant, il apparaît que les résultats des études empiriques sont ambigus. En Afrique, par exemple, ils ne montrent pas toujours une causalité selon le schéma de Patrick. Ils sont souvent contradictoires en fonction de l'auteur ou des variables retenues.

BHATIA et KHATHATE (1975) ont été les premiers à travailler sur un échantillon exclusivement africains (11 pays, dont deux de l'Afrique du Nord, le Maroc et la Tunisie). L'indicateur du développement financier retenu est la part des actifs financiers dans le PIB lorsque le niveau de développement est mesuré par le PIB par tête. Les résultats issus du graphique comparant ces deux variables sont contrastés. Le lien est positif pour certains pays comme le Kenya, la Côte d'Ivoire et la Zambie, mais négatif pour le Ghana, l'Ile-Maurice et la Sierra.

3. Méthodologie

Dans le cadre de cette étude, nous allons utiliser un modèle vecteur autorégressif structurel (SVAR) mettant en relation les variables macroéconomiques pouvant mesurer l'activité du système bancaire en tant qu'intermédiaire financier (la variation du taux de prêt bancaire, la variation du crédit bancaire et le taux d'inflation) et la variation du PIB Réelle dans le but d'expliquer le taux de croissance économique de Madagascar par les fluctuations de l'offre des banques. Le modèle SVAR a l'avantage de saisir la variation des paramètres du modèle dans le temps, et permet ainsi de mieux restituer la dynamique du système, ce qui crédibilise la politique économique (simulations des variables macroéconomiques) qui s'ajuste et s'adapte aux variations structurels ou chocs structurels (innovations) que connaît l'environnement socioéconomique.

Les données utilisées dans cette étude sont essentiellement tirées du site « *World Bank Data* » de la Banque Mondiale et seront traitées avec le logiciel WinRats. Il s'agit notamment de séries sur la période 2000-2023. Il est à préciser que le choix des variables a été inspiré de la discussion antérieure [Raffinot et Venet (1998), King et Levine (1993), et Ndour et Paget-blanc (2010)].

Pour cette étude de la relation qui lie la croissance économique et l'intermédiation bancaire, nous avons retenu les quatre variables suivantes :

- **La variation du Taux de prêt bancaire (ΔTB), la variation du volume de Crédit bancaire (ΔCRB)** représentent le financement du secteur bancaire à l'économie entre 2000 et 2023 et permettent d'apprécier la contribution du système financier dans la croissance économique ;
- **La variation de l'indice des prix à la consommation ou le taux d'inflation (ΔIPC), le Taux de croissance économique ($\Delta PIBR$)** pour la période 2000 à 2023 : puisqu'il s'agit ici d'étudier la

corrélation entre l'intermédiation bancaire et le taux de croissance économique, nous avons retenu ces 2 indicateurs macroéconomiques qui sont les principales variables représentatives de la performance de l'économie. Ces données ont été également tirées dans les bases de données de la banque mondiale.

4. Modèle VAR structurel et la méthode des restrictions de court terme

La présentation du modèle VAR structurel employé dans cette sous section est jugée nécessaire car la performance des résultats obtenus dépendra à la spécification du VAR retenu. Nous exposons d'abord le modèle VAR structurel avant d'appliquer la méthode des restrictions de court terme.

4.1 Le modèle VAR Structurel :

Nous supposons que l'économie Malgache est affectée à différents instants par quatre types de chocs : un choc d'offre, un choc du taux débiteur, un choc de demande et un choc du crédit bancaire. Ces quatre chocs ont des impacts sur l'évolution des grandeurs macroéconomiques à Madagascar et nous considérons que le choc du taux débiteur, le choc de demande et le choc du crédit bancaire n'ont pas d'effets à long terme sur le taux de croissance économique tandis que le taux d'inflation et le taux du crédit bancaire subissent les mêmes effets du choc du crédit bancaire à long terme.

Le modèle VAR structurel² d'ordre p est appliqué au vecteur $X_t = (\Delta y_t, \Delta td_t, \Delta p_t, \Delta crb_t)'$ où Δy_t est le taux de croissance économique, Δtd_t est la variation du taux débiteur, Δp_t est la variation de l'inflation et Δcrb_t est la variation du crédit bancaire.

$$\Phi(L)X_t = \varepsilon_t \quad (1)$$

$$\text{Avec : } V ar(\varepsilon_t) = \sum \varepsilon \text{ et } \sum_{j=1}^p \Phi(L) = \Phi_j L_j$$

La forme autorégressive (1) admet la représentation de Wold suivante :

$$X_t = A(0) \varepsilon_t + A(1) \varepsilon_{t-1} + \dots = \sum_{s=1}^p A_j \varepsilon_{t-s} \quad (2)$$

C'est-à-dire :

$$X_t = A(L) \varepsilon_t \quad (3)$$

$$\text{Avec } A(L) = \sum A_j L_j \quad (4)$$

Ce sont alors les observations de ces trois variables qui vont nous permettre de distinguer les trois types de chocs susmentionnés. Le logarithme de la production intérieure brute (y_t), le logarithme du taux débiteur (td_t), le logarithme de l'inflation (p_t) et le logarithme du crédit bancaire (crb_t) sont stationnaires en différence première et non cointégrées (nous suivons dans cette étude la démarche de Quah et Vahey). Ce qui nous permet d'écrire le VAR en différence d'ordre p avec $X_t = (\Delta y_t, \Delta td_t, \Delta p_t, \Delta crb_t)'$, $t = 1..T$. La forme moyenne mobile Quadri variée (QMA) peut donc s'écrire comme suit :

$$\begin{bmatrix} \Delta y_t \\ \Delta td_t \\ \Delta p_t \\ \Delta crb_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum a_{11}(j)L_j & \sum a_{12}(j)L_j & \sum a_{13}(j)L_j & \sum a_{14}(j)L_j \\ \sum a_{21}(j)L_j & \sum a_{22}(j)L_j & \sum a_{23}(j)L_j & \sum a_{24}(j)L_j \\ \sum a_{31}(j)L_j & \sum a_{32}(j)L_j & \sum a_{33}(j)L_j & \sum a_{34}(j)L_j \\ \sum a_{41}(j)L_j & \sum a_{42}(j)L_j & \sum a_{43}(j)L_j & \sum a_{44}(j)L_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_t^0 \\ \varepsilon_t^{td} \\ \varepsilon_t^d \\ \varepsilon_t^{crb} \end{bmatrix}$$

² Jacquinot P. (1998). L'inflation sous-jacente à partir d'une approche structurelle des VAR: une application à la France, l'Allemagne et au Royaume-Uni, Banque de France, Notes d'Etudes et de Recherche, Janvier, 51, pp.3-14

$\varepsilon_t^0, \varepsilon_t^{td}, \varepsilon_t^d$ et ε_t^{crb} représentent respectivement le choc d'offre, le choc du taux débiteur, le choc de demande et le choc du crédit bancaire. Après avoir défini notre modèle VAR structurel, il nous faut rechercher les erreurs structurelles à partir des innovations de la forme réduite du VAR, car ses erreurs ne sont pas directement observables.

La forme réduite du modèle VAR peut s'écrire de la forme suivante :

$$X_t = B(L) X_t + v_t \text{ avec } \text{Var}(v) = \Omega, B(L) = \sum B_j L_j \text{ et } X_t = \begin{bmatrix} \Delta y_t \\ \Delta td_t \\ \Delta p_t \\ \Delta crb_t \end{bmatrix} \quad (5)$$

La représentation moyenne mobile sera alors :

$$X_t = v_t + C(1)v_{t-1} + \dots = \sum C(j)v_{t-j} \quad (6)$$

C'est-à-dire :

$$X_t = C(L)v_t \quad (7)$$

Où :

$$\text{Var}(v) = \Omega, C(L) = \sum C_j L_j \text{ et } C_0 = I$$

Si l'on suppose que cette représentation est obtenue par inversion de la forme autorégressive stationnaire de X_t , alors cette forme moyenne mobile est unique.

En comparant les équations (2) et (6) nous avons :

$$v_t = A(0)\varepsilon_t \quad (8)$$

et :

$$\Omega = A(0) \sum \varepsilon \varepsilon' A'(0) \quad (9)$$

C'est donc la connaissance de $A(0)$ qui va nous permettre de retrouver $\varepsilon(t)$, puisque $v(t)$ peut être obtenu à partir du VAR standard.

En considérant les relations (3), (7) et (8), nous déterminons $A(L)$ et nous avons donc :

$$A(L) = C(L) A(0) \quad (10)$$

La connaissance de $C(L)$ à partir du VAR standard et $A(0)$ va nous permettre d'identifier $A(L)$.

4.2 Le problème de l'identification :

En général, les équations du VAR Structurel ne peuvent pas être directement estimées car les erreurs sont corrélées avec les variables alors que les techniques d'estimation nécessitent une absence de corrélations entre ces derniers. Ce type de problème n'existe pas pour la forme standard du VAR, et les moindres carrés ordinaires peuvent être utilisés pour estimer la matrice des variances-covariances. La question qui se pose, est de savoir s'il est possible d'identifier tous les éléments du VAR structurel. Le nombre des paramètres du modèle VAR Structurel est égal à $n^2 + n(np + 1) + \frac{n(n+1)}{2}$ paramètres, alors que le VAR Standard n'en contient que $(np + 1) + \frac{n(n+1)}{2}$.

Le modèle VAR structurel est donc sous identifié car les n^2 paramètres ne peuvent pas être directement identifiés à partir du VAR estimé. Il faut donc chercher n^2 contraintes identifiantes. Par normalisation les éléments de la matrice $A(0)$ sont égaux à 1. Il ne reste donc que $(n^2 - n)$ paramètres à identifier. La technique d'identification d'un VAR Structurel nécessite l'application des contraintes d'orthogonalisation de la matrice des variances –covariances des chocs, et aussi des contraintes basées à la théorie économique sur les coefficients de la matrice $A(0)$ et sur les

multiplicateurs de long terme. Pour le cas de la matrice des variances–covariances(Ω), on suppose qu'elle est diagonale. Les seules inconnues sont alors les paramètres de sa diagonale. Il ne reste donc que $\frac{n(n-1)}{2}$ paramètres non identifiés. Nous devons donc trouver $\frac{n(n-1)}{2}$ contraintes supplémentaires.

Ces contraintes supplémentaires seront obtenues à partir de la théorie économique. Dans notre cas, avec un VAR quadri varié on a : $\frac{n(n-1)}{2} = 6$. Il nous suffit donc imposer six restrictions sur ses paramètres, afin que le modèle soit identifié. Nous supposons que les trois chocs (le choc du taux débiteur, le choc de demande et le choc du crédit bancaire) n'ont pas d'effet à long terme sur le taux de croissance économique tandis que le choc de demande et le choc du crédit bancaire n'ont pas d'impact à long terme sur la variation du taux débiteur. Enfin, le taux d'inflation et le taux de croissance économique subissent les mêmes effets du choc du crédit bancaire.

4.3 La technique des restrictions de court terme

D'après les restrictions précédentes, la matrice d'impact de long terme peut s'écrire de la manière suivante :

$$A(1) = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 & 0 \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} \end{bmatrix}$$

Avec $A_{24} = A_{34} = A_{44}$.

Pour résoudre ce problème d'identification, nous allons recourir à la technique d'approche de Mariano Matilla Garcia et al. (2002)³. Cette technique consiste à identifier la matrice $A(0)$ sous forme d'une matrice triangulaire inférieure par la méthode suivante :

Posons T une matrice triangulaire inférieure telle que : $T = FA(1)$ (12)

$$\text{Avec } F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

D'après les relations(9) et (10), nous avons :

$$C(1)\Omega C(1)' = A(1) A(1)' \quad (13)$$

En utilisant la relation(12), ce qui nous donne :

$$FC(1)\Omega C(1)'F' = TT' \quad (14)$$

T est une matrice triangulaire supérieure, afin de résoudre les éléments de la matrice T , nous appliquons la décomposition de cholesky de l'équation(14) contenant des éléments connus. Donc, la matrice d'impact de long terme est enfin obtenue par : $A(1) = F^{-1} T$ tandis que $A(0)$ est résolue par : $A(0) = C(1)^{-1} A(1)$ (15)

5. Résultats :

Nous supposons que quatre sortes d'innovations peuvent influencer le taux de croissance économique, la variation du taux débiteur, le taux d'inflation et la variation du crédit bancaire alors que l'économie est perturbée par un nombre plus important de chocs. Cette hypothèse justifie, d'une part, qu'un seul type de choc déterminerait chacun la variation du taux débiteur, le taux d'inflation et la variation du crédit bancaire, ce qui peut paraître acceptable, et d'autre part,

³ Mariano Matilla Garcia et al. (2002). A Svar model for estimating core inflation in the euro area, p : 4-7.

qu'il n'existerait qu'un seul choc réel, ce qui l'est sûrement moins. Notre objectif analytique étant centré sur les effets des deux chocs (le choc débiteur et le choc du crédit) sur le taux de croissance économique, nous pouvons espérer que cette dernière restriction ne perturbera pas trop les résultats même si cela rend plus incertain l'interprétation du choc réel.

En pratique, le modèle VAR a les caractéristiques suivantes. En premier lieu, selon les tests d'A.I.C (Akaike Information Criterion), le nombre de retard retenu est fixé à un. En second lieu des variables indicatrices annuelles ont été introduites pour tenir compte des crises sociopolitiques en 2002 et 2009.

Notre période d'estimation s'étend de l'année 2000 à l'année 2023.

5.1 Réponses aux chocs

La figure 1 ci-dessous indique les réponses du taux de croissance économique puis du taux d'inflation à un choc d'un écart-type sur ε_t^0 , ε_t^{td} , ε_t^d et ε_t^{crb} . Les écarts-types sont obtenus par la méthode de Monte Carlo avec 10000 tirages.

S'agissant de la variation de la production réelle, les deux chocs (choc du taux débiteur et le choc du crédit bancaire) ε_t^{td} et ε_t^{crb} (figure 1 et figure 2) ont, conformément aux contraintes d'identifications imposées, sans effets à long terme sur le taux de croissance économique. L'impact de ces deux chocs seront sentis au bout de deux ans et convergent vers zéros après huit ans. Nous pouvons aussi dire qu'à Madagascar, les instruments de l'intermédiation bancaire ont des effets positifs sur le taux de croissance économique au bout de deux ans.

De plus, le faible niveau de bancarisation à Madagascar figure parmi les raisons principales qui ne permettent pas à l'intermédiation bancaire d'être très efficace dans la promotion du taux de croissance économique. En effet, plus de 95% des agents malagasy n'accèdent pas aux services bancaires, notamment les crédits bancaires. Ainsi, malgré une action bancaire jugée stimulatrice des activités économiques réelles, elle n'atteint pas les acteurs vu la mince bancarisation de ces derniers. Or, l'importance du secteur informel contraindre l'efficacité de l'intermédiation bancaire puisque les producteurs informels ne peuvent recourir aux crédits bancaires par faute de formalité. La bancarisation et la formalisation des secteurs informels sont donc des leviers nécessaires pour que les instruments bancaires puissent soutenir et propulser le taux de croissance des activités économiques réelles afin de promouvoir le taux de croissance économique.

A part ceux-ci, selon le constat de certains observateurs, le marché financier, notamment celui qui est lié aux banques, est caractérisé par une structure beaucoup plus oligopolistique. A cet effet, les banques commerciales entretiennent une entente, qui leur est beaucoup plus profitable, et ne réagissent pas au maniement des taux directeurs effectué par la Banque centrale. Ce cas peut également contribuer à l'inefficacité de l'intermédiation bancaire dans la promotion du taux de croissance économique. L'Etat doit ainsi lubrifier le marché financier en établissant un environnement plus concurrentiel afin que la réduction des taux directeurs puisse se solder vers une baisse des taux d'intérêt pour stimuler l'économie.

Concernant le taux d'inflation, l'effet du choc du taux débiteur sur cette variable est nul au bout de deux ans, ce qui justifie le rôle du taux d'intérêt en tant qu'instrument principal dans la lutte contre le taux d'inflation. Par contre, l'effet du choc du crédit bancaire sur cette variable a atteint son niveau optimal (c'est-à-dire proche de deux pourcent) au bout de deux ans, ce qui explique que même à court terme le taux d'inflation est exclusivement de nature monétaire. Les effets de ces deux chocs se stabilisent et reviennent à ses positions initiales après huit ans environs.

Figure1 : FONCTION DE REPONSE DU CHOC DU TAUX DEBITEUR DES BANQUES

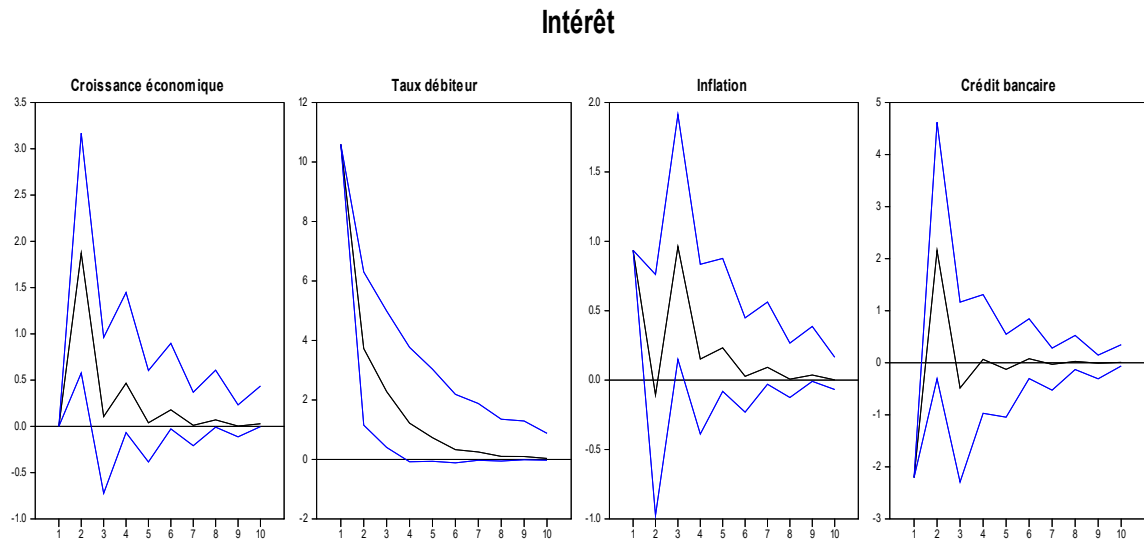
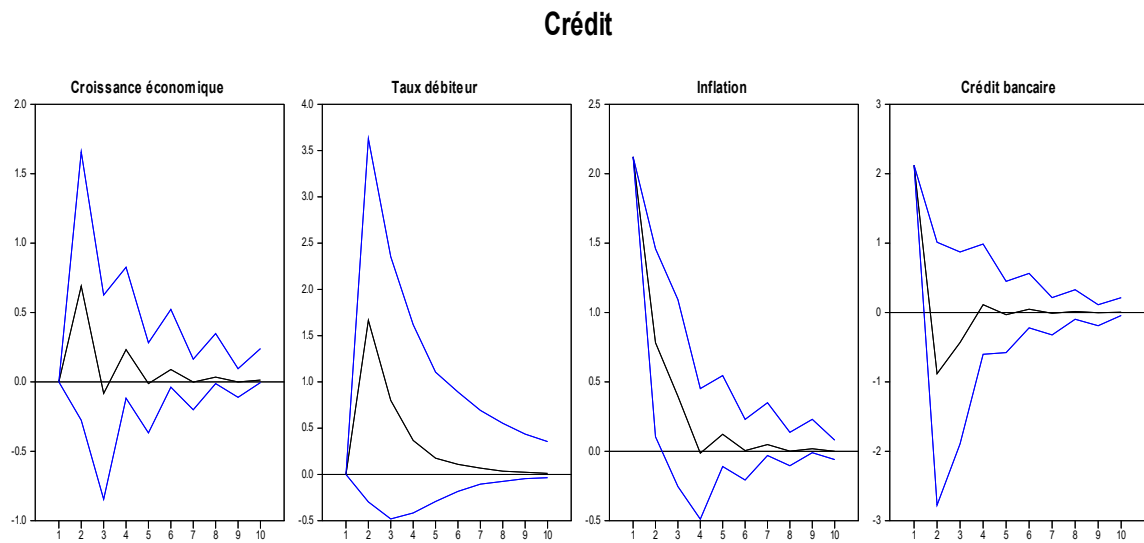


Figure2 : FONCTION DE REPONSE DU CREDIT BANCAIRE



5.2 Décomposition de la variance

Le tableau1ci-dessous présente un résumé de la décomposition de la variance des erreurs de prévision. Cette décomposition montre quelle part de la variance des erreurs des variables endogènes est due à chacun des chocs structurels pour des horizons différents. Le tableau 1 montre effectivement que les trois chocs (choc du taux débiteur, choc de demande et choc du crédit bancaire) n'ont aucune incidence à long terme sur le taux de croissance économique puisque sur un horizon de 1 à 8 ils n'expliquent que moins de 12% de l'erreur de prévision du taux de croissance économique. Ce résultat est conforme à notre hypothèse d'identification qui impose la neutralité à long terme de ces trois chocs sur le taux de croissance économique. Néanmoins, la majorité (presque de 43%) de la variance du taux d'inflation est dominée par le choc du crédit

bancaire. Compte tenu de la faiblesse d'effet significatif du choc du taux débiteur sur le taux d'inflation, ce n'est pas surprenant.

Tableau1 : Décomposition de la Variance des erreurs de prévision

Horizon	Taux d'Inflation						Taux de croissance économique		
	Choc d'offre	Choc du taux débiteur	Choc de demande	Choc du crédit bancaire	Choc d'offre	Choc du taux débiteur	Choc de demande	Choc du crédit bancaire	
1	14.028	6.388		26.730	42.854	100.00	0.000	0.000	
2	33.093	4.286		17.905	44.716	89.151	6.064	2.185	
3	30.384	8.408		17.986	43.222	89.629	5.609	2.201	
4	30.572	8.578		17.816	43.034	88.993	6.106	2.320	
8	30.551	8.706		17.760	42.983	88.994	6.106	2.321	

6. Conclusion :

L'objectif de ce travail était d'étudier l'efficacité de l'intermédiaire bancaire Malagasy et son impact sur le taux de croissance économique de Madagascar en employant la technique du modèle Vectoriel Autorégressif Structurel. La lecture des graphiques des réponses impulsionnelles et l'analyse de la décomposition de la variance aux chocs confirment que nos hypothèses d'identifications selon lesquels les trois chocs (choc du taux débiteur, choc de demande et choc du crédit bancaire) n'ont pas d'effet à long terme sur le taux de croissance économique sont bien validées. Les résultats ont montré que la majorité (presque de 43%) de la variance du taux d'inflation est dominée par le choc du crédit bancaire.

Cependant, malgré ce résultat, la dominance du secteur informel empêche les acteurs concernés à accéder aux crédits par faute de formalité. Ainsi, une fortification du moindre accès aux services de crédits et intensifiés par cette structure. De plus, la configuration du marché financier à Madagascar ajoute les obstacles qui empêchent l'efficacité de l'intermédiation bancaire. Ce marché est beaucoup plus oligopolistique, par conséquent, malgré une baisse des taux directeurs auprès de la Banque centrale, les acteurs ne réagissent pas en diminuant leur taux d'intérêt vu l'entente possible entre les acteurs. Le taux d'intérêt devient alors hystérique à la baisse. Ce qui nous emmené à souligner qu'une forte formalisation des activités devraient être promues, avec une bancarisation à grande échelle des acteurs économiques malagasy, notamment les ménages, pour lubrifier le marché monétaire et financier à Madagascar.

Enfin, des risques pouvant compromettre la solidité et la stabilité du secteur bancaire ont été identifiés. Ces risques concernent principalement, l'exposition des banques à la moindre défaillance de l'Etat, risques induits par les placements massifs dans les titres du Trésor (BTA), le manque de profondeur du système financier, et l'accroissement des créances douteuses et litigieuses. Ces dernières vont peser sur la qualité des actifs qui peut elle-même être la conséquence d'une dégradation de la rentabilité et de la santé financière des emprunteurs.

Annexe 1 : Test de stationnarité des variables en niveau et en différence première

Variables	Significativité du trend	Statistique de Dickey- Fuller augmentée	Valeurs critiques			Existence d'une racine unitaire
			1%	5%	10%	
Log(IPC) = LIPC	Avec trend	-0.89	-3.55	-2.91	-2.59	Oui
Log(TD)= LTD	Avec trend	-2.14	-4.13	-3.49	-3.17	Oui
Log(CRB)= LCRB	Avec trend	0.13	-3.55	-2.91	-2.59	Oui
Log(PIBR)= LPIBR	Avec trend	-0.64	-3.54	-2.91	-2.59	Oui
Dlog(IPC)= Δp_t	Sans trend	-4.36	-3.55	-2.91	-2.59	Non
Dlog(TD)= Δtd_t	Sans trend	-4.09	-3.55	-2.91	-2.59	Non
Dlog(CRB) = Δcrb_t	Sans trend	-6.25	-3.55	-2.91	-2.59	Non
Dlog(PIBR)= Δy_t	Sans trend	-6.82	-3.55	-2.91	-2.59	Non

Références bibliographiques:

- Arellano M. et Bond S. (1991), « Some tests of specification for panel data : Monte Carlo evidence and an application to employment equations », *The Review of Economic Studies*, vol 58, pp 277-297 .
- Bannour B. et Labidi M. (2013) : « Efficience des banques commerciales Tunisiennes » janvier 2013, *panoeconomicus*.
- Bekolo-Ebe B. 2002, « Les défis de l'intermédiation en Afrique, in intermédiation et financement du développement en Afrique », *presse universitaire de Yaoundé*, mars 2002, p.13-25.
- Blanchard and Quah (1989). *The Dynamic Effects of Aggregate Demand and Supply Disturbances*, pp. 655-73.
- Charlemagne B. I., 2013, « Intermédiation financière et croissance économique : une approche basée sur le concept d'efficacité-X appliquée à la zone UEMOA », in *actualité économique ; Revue d'analyse ; Vol 89 ; Number 1 ; Edition HEC Montréal*, p.8-32.
- Gurley J.G et Shaw E.S., 1960, « Money in a theory of finance », *édit B.I.W, New York*.
- Jacquinot P. (1998). *L'inflation sous-jacente à partir d'une approche structurelle des VAR: une application à la France, l'Allemagne et au Royaume-Uni*, Banque de France, Notes d'Etudes et de Recherche, Janvier, 51, pp.3-14.
- Merabet A., « Mesure de la performance des agences bancaires par l'application de la méthode DEA ».
- Rechache A., 2015, « L'efficacité bancaire et la croissance économique; Une étude empirique cas de l'Algérie, le Maroc et la Tunisie » in *Revue des sciences économiques ;Tom 10; ISSN 1112-6191*.
- P. Lorino, « Méthodes et pratiques de la performance - Le guide du pilotage », Editions d'Organisation 2003, p9.
- Pagano (1993) « financial markets and growth ; an overview », *European economic review*, p 613- 622
- Régis Bourbonnais, *op cite*, p279
- Tavera, C. (2003). *Modélisation VAR*, Université de Rennes I, pp.2-8

Концептуальные аспекты формирования корпоративной культуры организации

Атайбеков Дидар Маликович

Казахстанско-Британский Технический университет, Алматы, Казахстан

Эм Владимир Александрович

Казахстанско-Британский Технический университет, Алматы, Казахстан

Кадыргалиев Муслим Сагынғалиевич

Казахстанско-Британский Технический университет, Алматы, Казахстан

Культура в широком смысле означает объективные результаты деятельности людей (машины, конструкции, результаты познания, произведения искусства, морально-правовые нормы и т.д.), а также силы и способности человека (образование, навыки, уровень), на которых осуществляется действие. В частности, в области развития интеллекта, нравственного и эстетического развития, мировоззрения, способов и форм взаимоотношений между людьми).

Корпоративная культура как составная часть культуры в целом отражает уровень развития предприятия, творческие силы и способности сотрудников, работающих на нем.

Корпоративная культура — это система материальных и духовных ценностей, проявлений, характерных для конкретной корпорации, которые выражают ее индивидуальность и восприятие себя и других в социальной и материальной среде, проявляются в поведении, взаимодействии, взаимодействии с другими, восприятии себя и себя, окружающая среда

Корпоративная культура является неотъемлемой частью любой компании, она существует независимо от желания менеджеров, поскольку она проявляется даже в обычных взаимодействиях сотрудников. Корпоративная культура или организационная культура — это совокупность взглядов и нравов сотрудников в процессе внутренней и внешней интеграции.

Корпоративная культура — это сложный набор ценностей и инструментов, которые принимают все члены компании.

В современном обществе культура организации является мощным инструментом формирования стратегии организации и позволяет всем отделам и каждому отдельному сотруднику ориентироваться на достижение общих целей и продуктивного взаимодействия.

Понятие "корпоративная культура" состоит из двух слов: культура и корпорация. Культура - совокупность норм и ценностей, общих для всех членов организации. Корпорация — это сложный организм, в котором культура играет важную роль, является основой для формирования отношений между членами коллектива.

В энциклопедическом словаре: Культура (лат. *Ciiltura* воспитание, воспитание, образование, развитие, культивирование) исторически определенный уровень творческих сил и способностей человека, проявляющийся в видах и формах организации жизни и быта людей. в деятельности, а также в материальных и духовных ценностях, которые они создают; понятие культура используется для описания определенных исторических эпох (древняя культура), конкретных обществ, народов и наций (культура майя), а также конкретных сфер деятельности или жизни (трудовая, бытовая культура, художественная культура); в узком смысле сфера жизни людей, духовная.

В связи с необходимостью новых подходов к менеджменту, крупному и среднему бизнесу в 80-х годах XX века в США была разработана концепция корпоративной культуры. В дальнейшем многие организации переняли эту практику, и корпоративная культура прочно вошла в порядок управления.

Корпоративная культура — это система взаимодействующих духовных и материальных ценностей, отражающих индивидуальность и восприятие самой компании и окружающей среды, которая проявляется во взаимодействии, поведении и восприятии себя и персонала. окружающей среды.

Есть и другие определения: корпоративная культура — это уникальная общая психология организации.

Корпоративная культура — это уникальные характеристики организации, признаки, которые отличают ее от всех остальных в отрасли.

Эдгар Шейн говорит, что корпоративная культура — это совокупность основных предположений, разработанных группой для решения проблем внешней адаптации и внутренней интеграции. Этот комплекс работает уже долгое время, и для подтверждения его жизнеспособности он был переведен и на новые органы.

Искусственный интеллект. По мнению Кибанова, корпоративная культура — это совокупность важных правил, которые используются членами организации и проявляются в ценностях, которые провозглашает организация, дающие людям указания в их поведении и характере.

Стеклова О.Е. Корпоративная культура является сложным организационным явлением, объединяющим экономические, производственные и социальные аспекты предпринимательства, а также демонстрирующим механизм реализации инновационного потенциала, основанный на мотивации.

Василенко С.В. Корпоративная культура - это совокупность правил внутренней и внешней деятельности организации. Эти ценности проявляются различными способами в соответствии с целями деятельности.

Различные способы определения этого понятия приведены в обобщенном виде, поэтому при проведении содержательного анализа можно определить наиболее распространенные понятия. Таким образом, во многих интерпретациях авторы ссылаются на основные модели поведения, которым придерживаются члены организации.

В нынешних условиях руководство организаций заинтересовано в гибкости и инновациях в корпоративной культуре компании.

Э.Шейн демонстрирует своеобразный подход к классификации уровней корпоративной культуры: артефактов, ценностей и основных убеждений.

Артефакты являются организационными уровнями физической и социальной среды, которые являются видимыми и являются внешним проявлением корпоративной культуры. На этом уровне можно увидеть как неестественные продукты, так и технологии, и продукты цивилизации.

Ценности промежуточный уровень, характеризующийся низким уровнем знания корпоративной культуры. На этом уровне происходит процесс трансформации ценностей через убеждения. Когда ценности становятся нормальными в организации, происходит процесс их превращения в представления, они переходят из сознания в сознание, и действия становятся автоматическими. Например, если компания плохо работает, скажем, продажи, менеджеры пытаются увеличить их с помощью рекламы, но только после того, как сотрудники используют это решение, это становится общепринятым убеждением для всех.

Однако есть и ценности, которые объявлены на сознательном уровне без всякой проверки. Например, в уставе компании указано, что сотрудники являются главной ценностью в организации.

Основные убеждения — это бессознательный уровень корпоративной культуры, который не видит и объединяет восприятие времени и пространства, человеческой природы, мира и отношений.

В книге " Корпоративная культура как инструмент эффективного управления персоналом " Василенко С.В. различает два уровня корпоративной культуры: внутренний и внешний. Автор разделяет внутренний уровень на осознанный и необъективный.

Уважаемый уровень сотрудников отражается в том, что они делают, говорят и делают. Этот уровень является отражением основных ценностей организации.

Ценности на внутреннем объективном уровне являются наиболее важными. Эти ценности лежат в сознании сотрудников.

Основные ценности для управления на внутреннем уровне могут иметь иной характер:

1) недоверие, выражающееся в полном контроле за действиями сотрудников, ограничении их свободы действий;

2) доверие между начальством и подчиненными, свобода в принятии решений, коллективная работа.

Внешний уровень корпоративной культуры включает в себя культурные артефакты, а также видимые предметы и различные мероприятия: образ одежды; конкретные поведенческие установки людей в организации; местоположение офиса; корпоративные события.

На всех уровнях существует связь между фундаментальными ценностями и системой взаимодействия организации. Основные ценности выражаются в визуальных образах: символы, лозунги, ритуалы, герои, легенды, события.

Корпоративная культура возникает в структурных группах и укрепляется со временем. Обычно корпоративная культура возникает сама по себе и передается через индивидуальный образец. Харизматичные личности, неформальные лидеры, вносят большой вклад. Их нравы и привычки в организации объективно копируются другими сотрудниками фирмы.

Итак, из всех элементов корпоративной культуры, которые мы уже определили, основными являются ценности. Они проявляются во всей организации, а также в ее политике и целях. Мировоззрения, идеи компании — все это касается ценностей организации. Они дают сотрудникам уверенность в том, что их деятельность в организации отвечает их личным потребностям и интересам, интересам коллектива, конкретного подразделения и корпорации в целом.

Изучая тему корпоративной культуры, мысли председателя совета директоров Агентства стратегических событий Михаила Воронина, а также автора книги о создании и управлении корпоративной культурой в организации Завоевание сердец. Пусть сердца сотрудников, считает, что уровень лояльности сотрудников является важнейшим элементом корпоративной культуры, состоящей из определенного уважения к нескольким факторам организации, некоторые из которых должны использоваться чаще, а другие - в меньшей степени. Именно поэтому мы создали диаграмму, которую мы называем пирамидой лояльности, которая показывает основные составляющие корпоративной культуры в процентах, которые должны быть в организации.

Корпоративная культура организации определяется сферой деятельности. Таким образом, финансовые организации формируют его более строго и конкретно, здесь стиль общения формален. Торговые организации формируют свою культуру различными способами: она позволяет свободное, мало определенное, стиль общения, характер, где лидерство демократическое, социализм и энергия в таких компаниях приветствуются.

В настоящее время Абрамова С.И., Костенчук И. выделяют 4 наиболее известных и используемых на практике классификатора.

Первый критерий классификации в соответствии с степенью взаимного соответствия приоритетной иерархии ценностей, а также методами реализации:

стабильность, характеризуется высокой степенью адекватности, четкими традициями и нормами нравственности;

характеризуется нестабильностью, низким уровнем культурной адекватности, постоянными изменениями социального положения работников, отсутствием понятий о приемлемом и неприемлемом поведении на предприятии.

Второй критерий классификации соответствует уровню иерархии ценностей внутри группы и индивидуальным ценностям сотрудников. Здесь интеграционная культура отличается высокой степенью соответствия и низкой дезинтеграционной культурой. Интегративная культура — это консенсус и организованность внутри группы, а культура разобщения — это отсутствие консенсуса, высокий уровень конфликта и разобщенности.

Третий критерий классификации соответствует содержанию приоритетных ценностей в организации: личностно-ориентированная культура и функционально-ориентированная культура. Первая включает в себя такие ценности, как самореализация и саморазвитие людей, занимающихся трудовой деятельностью, вторая придерживается функционально установленных механизмов осуществления профессиональной трудовой деятельности и алгоритмов поведения сотрудника, основанных на его статусе.

Четвертый критерий классификации, определенный учеными, зависит от того, как корпоративная культура влияет на деятельность предприятия и его показатели: положительная и отрицательная корпоративная культура.

Многие исследователи склонны придерживаться таких форм корпоративной культуры, как прагматическая, предпринимательская, патриархальная, бюрократическая.

Некоторыми характеристиками являются совместная деятельность, масштаб общих ценностей, методы распределения ресурсов в организации, приоритетные виды лиц, механизм управления, форма собственности предприятия, роль менеджера, оценка результатов управления. Это позволяет нам оценить корпоративную культуру. Российские исследователи Радугин А.А. и Радугин К.А. В этом случае мы можем различать: культуру власти, культуру роли, культуру личности и культуру задания.

Таким образом, можно сделать вывод, что только изменяя параметры культуры, можно вывести организацию на новый уровень. Но для того, чтобы внести необходимые изменения в этой сфере организации, менеджеру необходимо тщательно изучить все составляющие культуры своей организации, какие функции выполняет корпоративная культура и какие последствия ожидаются при изменении той или иной части организации, другой структурный элемент.

Современные концепции управления и оценки проектных рисков

Муслимов Дархан Базартаевич

Казахстанско-Британский Технический Университет, Алматы, Казахстан

Рахметуллаев Айдос Алматович

Казахстанско-Британский Технический Университет, Алматы, Казахстан

Управление рисками в области строительства представляет собой важнейший аспект для успешной реализации проектов. В этой статье обсуждаются ключевые риски, оказывающие влияние на строительные процессы, а также современные подходы к их выявлению и снижению. Оценивается воздействие колебаний цен на строительные материалы, задержек в поставках, ошибок в проектной документации, административных препон и погодных условий. В работе также представлены как количественные, так и качественные методики оценки рисков, такие как SWOT-анализ, метод Дельфи и метод ожидаемой денежной стоимости (EMV). В заключение статьи сформулированы стратегические рекомендации для повышения устойчивости строительных проектов и уменьшения вероятности возникновения серьезных угроз.

Ключевые слова: управление рисками, строительные проекты, анализ рисков, риски, цифровизация строительства, прогнозирование рисков, BIM-моделирование, влияние погодных условий, стратегия минимизации рисков.

Управление строительными проектами невозможно без учета рисков, поскольку данная отрасль характеризуется значительной степенью неопределенности. Факторы, такие как колебания цен на строительные материалы, сбои в поставках, изменения в нормативно-правовой базе, проектные ошибки и неблагоприятные погодные условия, могут существенно повысить расходы и задержать выполнение работ. Необходимость планирования и минимизации этих рисков становится ключевым аспектом эффективного управления проектом. Применение современных подходов к оценке и управлению рисками помогает строителям предвидеть потенциальные проблемы и принимать меры для их снижения. Таким образом, грамотное управление рисками не только способствует более эффективному использованию ресурсов, но и способствует соблюдению сроков выполнения проекта, гарантируя его успешное завершение.

По данным McKinsey Global Institute (2023), более 70% строительных проектов сталкиваются с перерасходом бюджета, а 60% завершаются с задержками. Это указывает на необходимость системного подхода к управлению рисками, основанного на аналитических методах прогнозирования и минимизации негативных факторов.

Цель данной статьи — проанализировать ключевые риски строительных проектов и предложить практические решения, позволяющие минимизировать их последствия.

Классификация и анализ ключевых рисков

В процессе реализации строительных проектов можно выделить несколько наиболее значимых рисков, которые оказывают наибольшее влияние на сроки и бюджет строительства.

1. Рост стоимости строительных материалов

Одним из наиболее распространенных рисков является увеличение цен на строительные материалы. За последние пять лет стоимость ключевых ресурсов, таких как цемент, арматура и металлоконструкции, увеличилась на 20–40%.

Колебания цен на сырье могут привести к перерасходу бюджета на 10–15%, что критично для крупных строительных объектов.

Меры минимизации:

- Заключение долгосрочных контрактов с фиксированной ценой;
- Диверсификация поставщиков для снижения зависимости от одного рынка;
- Использование биржевых инструментов и стратегий хеджирования ценовых рисков.

2. Ошибки в проектной документации

Недостатки проектной документации могут привести к переделке строительных конструкций, увеличению сроков и возникновению дополнительных расходов. По оценкам экспертов, исправление ошибок на этапе строительства увеличивает затраты на 5–8% от общей стоимости проекта.

Меры минимизации:

- Проведение многоуровневой проверки проектной документации перед началом строительства;
- Использование BIM (Building Information Modeling) для выявления возможных коллизий на ранних стадиях;
- Введение строгого контроля качества проектирования с участием независимых экспертов.

3. Задержки поставок и ненадежность подрядчиков

Сбои в поставках строительных материалов и низкая надежность подрядчиков приводят к срыву графика работ. Анализ строительных проектов показывает, что около 50% задержек связано именно с поставщиками и подрядными организациями.

Меры минимизации:

- Контрактная система с четкими условиями поставок и штрафными санкциями;
- Создание резервного запаса критически важных материалов;
- Внедрение цифровых систем мониторинга работы подрядчиков.

4. Регуляторные и бюрократические риски

Изменение законодательства в сфере строительства может потребовать пересмотра проектной документации и корректировки проектных решений. За последние пять лет в строительной отрасли введено более 30 новых нормативных актов, что усложняет процесс согласования.

Меры минимизации:

- Проведение юридического аудита проекта до начала работ;
- Взаимодействие с государственными органами на стадии проектирования;
- Использование электронных систем документооборота для ускорения согласований.

5. Неблагоприятные погодные условия

Климатические условия оказывают значительное влияние на темпы строительства. В зимний период в ряде регионов строительные работы могут быть приостановлены на 30–40% рабочего времени.

Меры минимизации:

- Планирование графика строительства с учетом сезонности;
- Применение современных технологий, позволяющих вести работы в сложных климатических условиях (например, прогрев бетона);
- Разработка альтернативных сценариев выполнения работ.

Методы оценки рисков

Для эффективного управления рисками необходимо применять аналитические методы оценки их вероятности и последствий. В данной работе рассмотрены три ключевых метода: SWOT-анализ, метод Дельфи и метод ожидаемой денежной стоимости (EMV).

SWOT-анализ

SWOT-анализ позволяет выявить сильные и слабые стороны строительного проекта, а также оценить потенциальные угрозы и возможности.

Фактор	Примеры
Сильные стороны	Применение цифровых технологий, контроль качества
Слабые стороны	Высокая зависимость от подрядчиков, риски поставок
Возможности	Государственные субсидии, новые технологии
Угрозы	Рост цен, задержки поставок, изменения в законодательстве

Метод Дельфи

Метод Дельфи используется для оценки рисков путем получения экспертных мнений. Он применяется в ситуациях, когда недостаточно статистических данных или требуется субъективная оценка вероятности и последствий рисков. Данный метод основывается на анонимных опросах группы экспертов, проводимых в несколько этапов, чтобы достичь максимально объективных результатов. Например, вероятность наступления некоторых рисков отличается. Рост стоимости материалов примерно 70%, Ошибки в проекте 50%, Задержка поставок 40%, Погодные условия 60%

Метод Дельфи используется для оценки рисков путем экспертного прогнозирования. В рамках данного исследования данный метод был адаптирован на основе анализа отраслевых отчетов, публикаций консалтинговых компаний и данных международных организаций. Вероятностные оценки рисков основаны на динамике изменений стоимости строительных материалов за последние пять лет, статистике задержек поставок и анализе влияния климатических факторов на строительные процессы. Подход включает комплексную обработку экспертных мнений и статистических данных, что позволяет обоснованно определить вероятность возникновения ключевых рисков и их влияние на реализацию строительных проектов.

Метод ожидаемой денежной стоимости (EMV)

EMV позволяет рассчитать потенциальные финансовые потери при возникновении рисков.

Метод ожидаемой денежной стоимости применяется для количественной оценки рисков, позволяя прогнозировать потенциальные финансовые потери. Расчет основан на данных о вероятности возникновения рисков и оценке их финансовых последствий, полученных на основе анализа бюджетов реализованных строительных проектов. В расчетах учитывались прогнозируемые изменения цен на строительные материалы, возможные затраты на устранение ошибок проектирования, задержки поставок и влияние климатических факторов. Полученные значения позволяют определить финансовую уязвимость строительного проекта и разработать стратегии минимизации рисков.

Риск	Вероятность (P)	Потери (L), млн тг	EMV = P × L (млн тг)
Рост стоимости материалов	0.75	180	135
Ошибки в проекте	0.5	75	37.5
Задержка поставок	0.4	30	12
Погодные условия	0.6	20	12

Стратегии управления рисками

Для эффективного контроля рисков необходимо внедрять комплексные меры управления:

1. Прогнозирование и мониторинг – анализ цен, поставок и нормативных изменений.
2. Цифровизация процессов – применение BIM, автоматизированных систем управления проектами.
3. Финансовая защита – создание резервных фондов и страхование.
4. Контроль подрядчиков – строгие контракты, рейтинговые системы и независимый аудит.

Строительная отрасль характеризуется высокой степенью неопределенности, что делает управление рисками обязательным элементом проектного менеджмента. Анализ ключевых угроз, применение современных методов оценки и стратегическое планирование позволяют снизить потери и повысить устойчивость проектов.

Компании, внедряющие системный подход к управлению рисками, способны реализовывать проекты в срок, в рамках бюджета и с высоким уровнем качества. Это подтверждает, что риск-менеджмент является не только инструментом минимизации потерь, но и важным фактором конкурентоспособности в строительной сфере.

Предложенные методы оценки рисков позволяют повысить предсказуемость строительных проектов, снизить неопределенность и минимизировать потенциальные убытки. Практическая реализация таких инструментов, как цифровое проектирование, оптимизация логистических процессов и применение контрактных механизмов управления рисками, способствует повышению устойчивости строительной отрасли. Внедрение системного подхода к управлению рисками позволяет строительным компаниям достигать поставленных целей в рамках запланированных сроков и бюджета, обеспечивая стабильность и эффективность реализации проектов.

БРЕНДИНГ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИРМЫ

Ойлыбаев Талгат Аманжолович

Казахстанско-Британский технический университет, Казахстан, Алматы

Жакежанова Назым Серикбеккызы

Казахстанско-Британский технический университет, Казахстан, Алматы

Кичка Татьяна Викторовна

Казахстанско-Британский технический университет, Казахстан, Алматы

Аннотация

Создание сильного бренда является решающим фактором успеха фирмы, особенно в таких высококонкурентных секторах, как строительство. Это, в свою очередь, предполагает проведение научного анализа формирования и усиления бренда, разработку практических рекомендаций, которые позволят строительной фирме занять уникальное место в отрасли, вывести свой строительный бренд на более высокий уровень. Сильный бренд дает возможность строительной фирме выделиться среди конкурентов и привлечь клиентов к заключению контрактов. Брендинг укрепляет доверие и авторитет фирмы на строительном рынке, где проекты связаны со значительными инвестициями и рисками, клиентам необходимо быть уверенными в выборе партнеров и подрядчиков. По факту клиенты готовы платить больше, чтобы работать с брендом, которому они могут доверять. Хорошо зарекомендовавший себя бренд символизирует надежность, качество и опыт, гарантируя клиентам способность фирмы выполнять взятые на себя обещания. Строительные фирмы могут получить значительную финансовую отдачу от инвестиций, инвестируя (ROI) в наличие сильного и последовательного бренда. Строительный брендинг является важной инвестицией для фирм, которые хотят добиться успеха в отрасли. Инвестируя в брендинг, строительные фирмы могут выделиться среди конкурентов, привлечь новых клиентов и увеличить свою прибыль.

Брендинг строительной фирмы эффективно включает в себя несколько важных шагов. Во-первых, необходимо для начала определить идентичность своего бренда, что представляет собой фирма, включая ее ценности, уникальное торговое предложение (УТП). [19], во-вторых, более точно, как это возможно, определить свою целевую аудиторию (целевых клиентов), понимая ее потребности и предпочтения. В-третьих, усилия по брендингу должны включать в себя установление реалистичного бюджета, определение позиционирования бренда на рынке и разработку уникального логотипа, который выражает суть вашего бренда. [21], в-четвертых, ключом к поддержанию целостности бренда является создание последовательного голоса бренда, отражающего ценности фирмы, а также, создание фирменных изображений для маркетинговых и рекламных материалов. [11]

В-пятых, наконец, создание и распространение комплексных руководств по управлению фирменным стилем бренда (брендбук) и стратегического плана продвижения бренда, обеспечивающих согласованность всех маркетинговых каналов и точек соприкосновения с клиентами, укрепляя надежное присутствие бренда в строительной отрасли. [13]

При брендировании строительной фирмы первым и наиболее важным шагом является определение индивидуальности бренда и уникального торгового предложения (УТП). Это предполагает глубокое понимание того, что представляет собой фирма по своей сути. [12]

Для определения индивидуальности бренда следует начать с выяснения и постановки фундаментальных вопросов:

- Определить основные ценности и миссию бренда фирмы.
- Определить целевую аудиторию.
- Разработать свой уникальный подход или услуги предлагаются фирмой, которые отличают ее от конкурентов.

• Определить цель бренда фирмы. Определяя ценности собственного бренда, речь идет не только о логотипе или его цветовой гамме, что несомненно, ценно само по себе и необходимо, речь идет о чувствах и ассоциациях, которые он вызывает, когда фактические и потенциальные клиенты (целевая аудитория—ЦА) думают о фирме. Это то, что делает фирму узнаваемой и запоминающейся на плотном конкурентном потребительском рынке. Идентичность бренда—это суть индивидуальность бизнеса фирмы и того, как он воспринимается ЦА.

Он должен отражать надежность и профессионализм, присущие строительной отрасли, а также демонстрировать уникальные качества фирмы, такие как ориентация на экологически чистые методы строительства, инновационный дизайн или экономическую эффективность. Эта идентичность будет определять все усилия по брендингу: от маркетинговых материалов и дизайна веб-сайта до того, как сотрудники взаимодействуют с клиентами. Четко определенная идентичность бренда помогает улучшить согласованность действий по всем каналам, что имеет решающее значение для укрепления доверия и признания на рынке. [4] Второе, над чем необходимо сосредоточиться—это определить свою целевую аудиторию (ЦА).

Целевая аудитория — это не просто группа потенциальных клиентов, это особый сегмент рынка, который, скорее всего, будет нуждаться в ваших услугах и ценить их. Выявление и понимание этой группы формирует стратегии брендинга и гарантирует целенаправленность и эффективность последующих маркетинговых усилий. [18] Правильно и смело начать с постановки ключевых вопросов:

- кто наши идеальные клиенты?
- это застройщики коммерческой недвижимости?
- или это государственные структуры, занимающиеся проектами общественной инфраструктуры?

У каждой группы разные потребности и приоритеты. Например, клиенты государственных организаций могут уделять приоритетное внимание соблюдению правил и стандартов безопасности, в то время как коммерческие клиенты могут уделять больше внимания функциональности и долговечности. Кроме того, следует учитывать местоположение аудитории. Одно дело, вы обслуживаете местное сообщество, другое дело, когда вы обслуживаете более широкий региональный рынок или работаете на национальном уровне. [15]

Местные клиенты могут ценить подход, ориентированный на местные традиции, тогда как национальная аудитория может быть больше заинтересована в разнообразных крупномасштабных проектах. Понимание своей аудитории также предполагает знание процесса ее принятия решений. Какие факторы для них наиболее важны? Это цена, сроки, качество работы или практика устойчивого развития? Эти знания позволяют адаптировать свои сообщения и усилия по брендингу для решения конкретных проблем и потребностей. Четкое определение своей целевой аудитории позволит создать бренд, который найдет отклик у тех, кто с наибольшей вероятностью воспользуется фирменными услугами. Такой целенаправленный подход не только помогает привлечь нужных клиентов, но и помогает выстроить долгосрочные отношения с ними, поскольку такой брендинг будет отражать понимание и стремление удовлетворения их конкретных потребностей. [5]

Оценка конкурентов поможет понять рыночную ситуацию, определить, что у аналогичных фирм получается хорошо или плохо, и найти возможности дифференцировать

свой бренд. [8] Фактически, 90% компаний практикуют конкурентную разведку. Это указывает на то, что большинство крупных компаний осознают ценность понимания своих конкурентов и отраслевой ситуации. Но начинать придется с определения своих основных конкурентов. Это могут быть местные фирмы, предлагающие аналогичные строительные услуги, или более крупные фирмы, чья бизнес-модель или клиентская база совпадают. Правильно, когда менеджеры маркетинга составят список из пятерки или десятки лучших. После определения необходимо проанализировать конкурентные стратегии их брендинга. Проанализировать их логотипы, дизайн веб-сайтов, маркетинговые материалы рекламные обращения, PR акции, их активность присутствия в социальных сетях. Уточнить такие позиции как: какие сообщения они передают; как они позиционируют себя по цене, качеству и сервису. [11]

Необходимо провести SWOT—анализ. Обратить внимание на их сильные и слабые стороны. Возможно, у конкурента хорошая репутация в плане своевременного завершения проектов, но ему не хватает хорошего обслуживания клиентов. Может быть, у них отличный брендинг, но их портфолио на сайте и общении не отражает этого. Эта информация может помочь более точно позиционировать свой бренд, чтобы заполнить пробелы на этом рынке. [16] Конкурентный анализ предполагает изучение отзывов о фирме в СМИ и отзывы о них клиентов. Это может стать ценной информацией о том, что ценят клиенты в вашей отрасли, какие факторы влияют на них негативно.

Кроме того, конкурентный анализ предполагает определения трендов и тенденций на рынке. Поиск общих тем или стратегий, которые хорошо работают в строительной отрасли. Области, которые конкуренты постоянно упускают из виду, где фирма потенциально могла бы преуспеть. Понимание конкурентной среды позволит создать уникальное пространство для бренда, которое будет отражать сильные стороны фирмы и затрагивать области, в которых отсутствуют конкуренты. Это поможет выделиться на переполненном рынке и более четко обратиться к своей целевой аудитории. Выбор правильного названия бренда является решающим элементом в процессе брендинга строительной фирмы. Назван

ие бренда фирмы часто является первой точкой контакта с потенциальными клиентами и играет важную роль в создании первого и самого запоминающегося впечатления. Оно должно быть легко произносимым и отражать индивидуальность и ценности бренда. Выбор название бренда (нейминг) должен иметь отношение к строительной отрасли и отражать уникальность ваших услуг. Он может отражать силу, долговечность, инновации или надежность—качества, которые наиболее ценятся в строительстве. Запоминаемость бренда зависит от найденного имени, которое легко воспроизвести и произнести. Следует избегать слишком сложных или длинных имен, которые клиентам могут усложнить запоминаемость или усложнить поиск имени в Интернете. Более того, выбор имени должно выдержать испытание временем и не станет ограничивать рост бизнеса фирмы. Например, следует избегать названий, которые слишком специфичны для конкретной услуги или географического местоположения, если не уверены, что хотите специализироваться в этой нише.

Следует подумать также о имени, которое вызывает положительные эмоции и находит отклик у целевой аудитории, у которой найденные варианты следует протестировать. Правильный эмоциональный тон может сделать бренд более доступным и узнаваемым, выстроить связь с клиентом. Фактически, клиенты, которые чувствуют сильную эмоциональную связь с брендом, меньше беспокоятся о цене. Эти эмоционально заинтересованные клиенты готовы платить более высокую цену за привилегию использования ваших фирменных продуктов и услуг. Данные показывают, что, если фирма будет восприниматься как оказывающая положительное влияние на окружающий мир, то

некоторые клиенты будут готовы платить дополнительно гораздо выше за предлагаемые фирмой продукты и услуги. Брендинг не может быть реализован без своего бюджета. Брендинг включает в себя целый ряд мероприятий—от дизайна логотипа и разработки вебсайтов до маркетинговых материалов и рекламных и пиар кампаний в социальных сетях и мессенджерах. Знание бюджета помогает расставить приоритеты в этих элементах и обеспечивает эффективное выделение ресурсов без перерасхода средств. Остановимся на некоторых затратах, которые следует учитывать: Первоначальные затраты на брендинг: определение затрат, связанных с процессом первоначального брендинга или ребрендинга. Это включает в себя дизайн логотипа, создание веб-сайта, разработку маркетинговых материалов, таких как: визитные карточки, брошюры, листовки, где, возможен, найм консультанта или агентства по брендингу. Необходимо определить бюджет на маркетинг и рекламу. Сюда может быть отнесена интернет-реклама (например, реклама Яндекс или кампании в социальных сетях), печатная реклама, вывески на строительных площадках, оклейка автомобилей и любые другие рекламные и пиар акции. [14]

Брендинг—это не единовременное мероприятие. Для его поддержания необходимо выделить ту часть своего бюджета, которая пойдет на постоянное поддержание бренда. Это включает в себя обновления веб-сайта, управление социальными сетями, создание новых маркетинговых материалов и другие действия, позволяющие поддерживать осведомленность и актуальность вашего бренда. Резервный фонд: разумно расходовать на непредвиденные мероприятия, связи с СМИ, работу с журналистами или, таких как, спонсирование местного специального события (ивента), обновление брендинга, дополнительные маркетинговые усилия в ответ на активность конкурентов.

Необходимо обратить внимание на так называемые KPI и ROI возврат инвестиций, необходимых для определения потенциальной рентабельности усилий по брендингу. Хороший брендинг может привести к повышению узнаваемости, увеличению ставок и, в итоге, к увеличению доходов. При планировании бюджета важно найти баланс между рентабельностью и достаточными инвестициями для создания сильного присутствия бренда.

Конечно, необходимо принимать в расчет реалистичность в отношении того, что фирма и ее менеджеры (их компетентность) может себе позволить, принимая во внимание, что эффективный брендинг—это инвестиция в долгосрочный успех бизнеса фирмы. Для решения тактических задачи и оперативного продвижения бренда фирмы следует учитывать позиционирование бренда на выбранном конкретном рынке. [20]

Определение позиционирования бренда включает в себя определение того, как вы задумали, чтобы ваш бренд воспринимался на рынке и как воспринималось его отличие от конкурентов. Эффективное позиционирование бренда проясняет уникальное ценностное предложение фирмы и помогает ориентироваться на нужную аудиторию. [17]

Известны факторы, которые помогают определить позиционирование бренда: понимание целевой аудитории/рынка, оценка конкурентов и УТП, а также построение эмоциональной связи. Однако есть и другие факторы, на которые следует обратить внимание при определении позиционирования бренда, такие как цена и качество. Целесообразно составить собственную карту позиционирования бренда фирмы.

Для создания и развития бренда строительной компании ключевым моментом является поддержание единообразия бренда в цифровых маркетинговых материалах. Вот некоторые области, на которых следует сосредоточиться:

Веб-сайт

Ваш строительный веб-сайт должен стать цифровым краеугольным камнем бренда, демонстрируя портфолио, услуги и ценности компании. Он должен отражать

индивидуальность бренда посредством последовательного использования цветов, шрифтов и сообщений. [6]

Социальные сети

Используйте платформы социальных сетей, чтобы укрепить индивидуальность бренда. Согласованность визуальных элементов, тона и сообщений на разных платформах, таких как ВКонтакте или Телеграм, имеет решающее значение.

Блог

Блог может помочь компании стать лидером отрасли. Делитесь идеями, обновлениями проектов и новостями отрасли, гарантируя, что контент соответствует голосу и ценностям бренда. [1]

Предложения

Предложения по строительству являются ключевыми точками соприкосновения с потенциальными клиентами. Они должны быть профессионально разработаны и отражать визуальный и коммуникативный стиль бренда.

Реклама

Ваши рекламные кампании, онлайн или офлайн, должны мгновенно узнаваться как принадлежащие бренду.

SEO

Внедряйте стратегии SEO, которые не только улучшат видимость в Интернете, но и отражают послание и ценности бренда. Расскажите о членах вашей команды. Выделите членов своей команды, чтобы продемонстрировать человеческий фактор, стоящий за строительной компанией. Поделитесь их историями, достижениями и опытом на своих цифровых платформах, включая социальные сети, свой веб-сайт и резюме.

Такой подход не только персонализирует бренд, но также демонстрирует опыт и преданность делу вашего персонала. Внимание сотрудников, взгляды за кулисы проектов и контент, созданный сотрудниками, могут значительно повысить узнаваемость и аутентичность бренда. Участвуйте в местном маркетинге. Активно участвуйте в местных маркетинговых мероприятиях, чтобы усилить присутствие бренда в сообществах.

Это может включать в себя спонсирование местных мероприятий, участие в общественных проектах или оптимизацию присутствия в Интернете для местного SEO. [2] Обеспечьте доверительный клиентский опыт. Предоставление исключительного качества обслуживания клиентов имеет жизненно важное значение для создания сильного бренда. Очень важно, чтобы каждое взаимодействие—от первоначального запроса до завершения проекта—отражало приверженность бренда качеству, надежности и удовлетворенности клиентов. Оперативные ответы, прозрачность общения и превышение ожиданий клиентов могут превратить клиентов в защитников бренда, повысив вашу репутацию и надежность в отрасли.

Убедитесь, что вас легко найти. Оптимизируйте свое присутствие в Интернете, чтобы вашу строительную компанию было легко найти. Это включает в себя поддержание актуальных списков в онлайн-каталогах, таких как Яндекс Бизнес и Яндекс Карты, внедрение эффективных стратегий SEO на веб-сайте и активное присутствие на платформах социальных сетей. Легкость поиска и доступность в Интернете имеет решающее значение в современную цифровую эпоху, поскольку это напрямую влияет на способность потенциальных клиентов.

Обратим внимание на важные особенности брендинга.

Когда дело доходит до брендинга, жилищное строительство и коммерческое строительство—это две совершенно разные вещи. Жилое строительство обычно связано с небольшими проектами, такими как дома и квартиры, тогда как коммерческое

строительство включает в себя более крупные и сложные проекты, такие как офисные здания и магазины розничной торговли.

В жилищном строительстве основное внимание следует уделить созданию теплого и привлекательного бренда. Логотип должен иметь привлекательные цвета и графику, веб-сайт должен быть простым в навигации и включать визуальные эффекты готовых проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги улучшают жизнь владельцев домов. [3]

В коммерческом строительстве основное внимание следует уделять созданию профессионального и надежного бренда. Логотип должен содержать более классические цвета и графику, веб-сайт должен содержать подробное описание услуг и прошлых проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги могут сделать бизнес более успешным.

Промышленное строительство и институциональное строительство—это тоже два совершенно разных типа строительных проектов. Промышленные проекты обычно включают в себя более крупные и сложные структуры, такие как ангары и склады, тогда как институциональные проекты, как правило, представляют собой более мелкие и простые структуры, такие как школы и церкви. [9]

В промышленном строительстве основное внимание следует уделить созданию сильного и надежного бренда. Логотип должен иметь яркие цвета и графику, веб-сайт должен содержать подробное описание услуг и прошлых проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги могут сделать бизнес более успешным.

При институциональном строительстве основное внимание следует уделять созданию теплого и привлекательного бренда. Логотип должен иметь привлекательные цвета и графику, веб-сайт должен содержать изображения готовых проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги улучшают жизнь членов сообщества.

Независимо от того, на каком типе строительства вы специализируетесь, брендинг является ключевым фактором успеха. [10]

Брендинг строительства инфраструктуры и брендинг специализированного строительства также требуют своих подходов.

Строительство инфраструктуры и специализированное строительство—это два совершенно разных типа строительных проектов. Инфраструктурные проекты обычно включают в себя крупномасштабные сооружения, такие как дороги и мосты, тогда как специализированные проекты, как правило, представляют собой более специализированные сооружения, такие как туннели и плотины.

При строительстве инфраструктуры основное внимание следует уделять созданию профессионального и надежного бренда. Логотип должен иметь яркие цвета и графику, веб-сайт должен содержать подробное описание услуг и прошлых проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги могут сделать бизнес более успешным.

В специализированном строительстве основное внимание следует уделить созданию творческого и инновационного бренда. Логотип должен иметь уникальные цвета и графику, веб-сайт должен содержать изображения специализированных проектов и техническую информацию, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги могут решать сложные проблемы экономически эффективным способом.

Брендинг генерального подрядчика. Генеральный подрядчик обычно не вкладывает много средств в свой бренд или в строительный веб-сайт. Довольствуется википедией или полностраничным сайтом, использует Яндекс Бизнес. Однако, подрядчик должен инвестировать в брендинг себя как надежного источника информации на каждом этапе строительного процесса. Разработка логотипов, дизайн сайтов, маркетинговые материалы; все должно быть изготовлено по индивидуальному заказу, чтобы обеспечить уникальную

индивидуальность бренда. Логотип должен иметь классические цвета и графику, сайт должен содержать подробное описание услуг и реализованных проектов, а рекламные материалы должны подчеркивать, как ваши услуги могут сделать бизнес более успешным.

Независимо от того, на каком типе строительства вы специализируетесь, брендинг является ключевым фактором успеха. Создание сильного бренда поможет оставаться конкурентоспособными и успешными в отрасли.

Различные типы строительства требуют разных стратегий брендинга. Специализированное строительство часто предполагает создание элитных конструкций со сложным дизайном, поэтому важно создать фирменный стиль, отражающий уровень внимания к деталям и креативности.

Логотип должен иметь уникальные цвета и графику, веб-сайт должен содержать изображения специализированных проектов и техническую информацию, а рекламные материалы должны подчеркивать то, как услуги смогут решить сложные проблемы экономически эффективным способом. Сильная индивидуальность бренда поможет вам выделиться среди конкурентов и привлечь высококлассных клиентов, которые ценят качество и мастерство.

Используя мощный бренд, вы можете завоевать доверие клиентов и зарекомендовать себя как лидер в строительной отрасли. Инвестиции в брендинг являются неотъемлемой частью успеха, позволяя бизнесу выделиться среди конкурентов и оставаться успешным в долгосрочной перспективе.

При правильной стратегии брендинга ваш строительный бизнес может выделиться среди остальных и быть успешным.

Независимо от того, на каком типе строительства вы специализируетесь, брендинг является ключевым фактором успеха.

Уточним еще один момент: если вашей фирме больше четырех или пяти лет, она пользуется известностью среди тех, кто пользовался услугами. В этом случае бренд—это действительно ваша репутация. Обычно репутация молодой фирмы во многом соответствует уровню предоставляемых ею услуг. Если репутация вашего бренда не такая, как вы хотите, придется столкнуться с рядом проблем, если вы попытаетесь ее изменить.

Возможно, придется полностью сменить имя. Это распространенный подход в большом бизнесе. Изменяя имя, изменяя логотип и цвета, потребители начинают думать, что на рынок вышел новый игрок.

Под новым названием может быть построен новый бренд. Это крайний случай, но он чаще всего работает, если предположить, что бизнес исправил ошибки, которые в первое время создали негативный имидж бренда.

Библиографический список

1. Бовтеев С. В., Евстифеева Е. С. Методика формирования моделей визуализации строительных процессов // Системные технологии № 2 (47) 2023. С. 66–73.
2. Галанина Т. В., Третьякова И. Н. Стратегия интернет-маркетинга строительной компании // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2020. № 12-1. С. 39–45.
3. Галка Р. В., Капустина Л. М. Теоретические и прикладные аспекты создания бренда жилой недвижимости // Известия Уральского государственного экономического университета. 2011. № 2 (34). С. 99–103.
4. Гладких Т. В., Коробова Л. А., Толстова И. С. Разработка информационного web-сайта реализации заказов на строительство малоэтажных домов // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2022. № 4 (30). С. 40–45.

5. Зацепина О. Зеленое строительство и сертификация как инструменты продвижения бренда //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2018. № 5-6 (232-233). С. 35–37.
6. Ким А.О. Цифровизация в строительстве: технологии будущего для современных проектов //Тенденции развития науки и образования. 2023. № 100-5. С. 35–37.
7. Гайрбеков С. М. С. Э., Мажиев М. Х., Шахабов Ш. И., Радуев И. А., Чагаев И. В., Мажиева А. Х.,Межидов Л. Ю., Мажиев К. Х., Татарханов Х. А., Мажиев А. Х. Цифровизация городского строительства и хозяйства // Вестник КНИИ РАН. Серия: Естественные и технические науки. 2023. № 4 (15).С. 105–110.
8. Медвинский А. О. Сущность конкурентного позиционирования компании сферы строительства // Молодой ученый. 2021. № 48 (390). С. 108–111.
9. Патрушева Н. А. Комплекс маркетинговых коммуникаций в строительстве энергообъектов //Наука и образование. 2021. № 2 (2). С. 19–21.
10. Рябова А. Д. Анализ строительного рынка России и выделение ключевых игроков // Вопросы устойчивого развития общества. 2022. № 6. С. 79–83.
11. Симонян Т. В., Воротынцева Е. Е. Специфика интегрированных маркетинговых коммуникаций в строительстве // Экономика и управление: проблемы, решения. 2018. Т. 2. № 6. С. 128–132.
12. Синявская Е. Е., Синявская В. В. Межкультурная коммуникация в строительстве // Наука: общество, экономика, право. 2020. № 1. С. 86-92.
13. Терентьев Ю. В. Систематизация видов брендинга // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 3: Экономические, гуманитарные и общественные науки. 2022. № 3. С. 30–37.
14. Третьякова С. А., Уразова Н. Г. Применение современных моделей рекламы в строительстве // Молодежный вестник ИрГТУ. 2022. Т. 12. № 1. С. 160–165.
15. Фабричный С. Ю., Рузакова О. А. Региональные бренды России: основные направления развития // Патенты и лицензии. Интеллектуальные права. 2017. № 5. С. 46–52.
16. Хан Р. С., Сурков В. В. Региональные особенности позиционирования строительной продукции в маркетинговых коммуникациях // ЦИТИСЭ. 2021. № 2 (28). С. 500–509.
17. Шабалова Т. С., Романович В. К. Комплекс маркетинговых коммуникаций в строительстве //Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 2-2 (72). С. 156–159.

ELEKTRON XƏSTƏ KARTLARININ (EHR) YARADILMASI VƏ İDARƏ OLUNMASI SİSTEMLƏRİ

BAYRAMOVA AİDƏ QURBAN

Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti, ORCID NO: 0009-0006-7684-7648

XÜLASƏ

Elektron xəstə kartları (EHR – Electronic Health Record) müasir səhiyyə sistemlərinin əsas komponentlərindən biridir və pasiyent haqqında tibbi məlumatların rəqəmsal formada toplanmasını, saxlanmasını və idarə olunmasını təmin edir. Bu sistemlər vasitəsilə həkimlər pasiyentin tibbi tarixçəsinə, diaqnozlarına, laborator nəticələrinə və reseptlərinə operativ şəkildə çıxış əldə edirlər. EHR sistemləri səhiyyə xidmətlərinin keyfiyyətini artırmaqla yanaşı, məlumatların itirilməsi riskini azaldır və qərar qəbul etmə prosesini sürətləndirir. Bununla yanaşı, bu sistemlər müxtəlif tibbi qurumlar arasında məlumat mübadiləsini asanlaşdırır və integrasiyanı təmin edir. Elektron xəstə kartlarının yaradılması zamanı məlumatların məxfiliyi, təhlükəsizliyi və hüquqi tələblərə uyğunluğu mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Ümumilikdə, EHR sistemləri səhiyyə sahəsində rəqəmsal transformasiyanın əsas istiqamətlərindən biri hesab olunur və gələcəkdə süni intellekt və böyük verilənlər texnologiyaları ilə daha da inkişaf edəcəyi gözlənilir.

Açar sözlər: Elektron xəstə kartları (EHR), tibbi informasiya sistemləri, elektron səhiyyə (e-Health), məlumatların məxfiliyi, verilənlər bazası idarəetməsi, rəqəmsal transformasiya

ELECTRONIC HEALTH RECORD (EHR) SYSTEMS: DEVELOPMENT AND MANAGEMENT BAYRAMOVA AIDA GURBAN

Azerbaijan State University of Economics

ORCID NO: 0009-0006-7684-7648

ABSTRACT

Electronic Health Records (EHR) are one of the key components of modern healthcare systems, enabling the collection, storage, and management of patient medical data in digital form. Through these systems, healthcare professionals can quickly access a patient's medical history, diagnoses, laboratory results, and prescriptions. EHR systems not only improve the quality of healthcare services but also reduce the risk of data loss and enhance the efficiency of decision-making processes. In addition, these systems facilitate data exchange between different medical institutions and ensure integration within the healthcare ecosystem. During the development of EHR systems, data privacy, security, and compliance with legal requirements are of critical importance. Overall, EHR systems are considered one of the main directions of digital transformation in healthcare and are expected to further evolve with the integration of artificial intelligence and big data technologies in the future.

Keywords: *Electronic Health Records (EHR), medical information systems, e-Health, data privacy, database management, digital transformation*

Giriş

Müasir səhiyyə sistemində rəqəmsallaşma prosesinin sürətlənməsi tibbi məlumatların daha səmərəli, təhlükəsiz və operativ idarə olunmasını zəruri etmişdir. Bu baxımdan elektron xəstə kartları, yəni EHR sistemləri səhiyyə müəssisələrinin fəaliyyətində mühüm yer tutur. EHR pasiyentin tibbi tarixçəsi, diaqnozları, müayinə nəticələri, laborator analizləri, reseptləri və müalicə planları haqqında məlumatların rəqəmsal formada saxlanılmasını təmin edən sistemdir. ABŞ Səhiyyə

İnformasiya Texnologiyaları Ofisinin izahına görə, EHR real vaxtda işləyən, pasiyent yönümlü və səlahiyyətli istifadəçilər üçün təhlükəsiz çıxış imkanı yaradan elektron tibbi qeyd sistemidir [1].

Elektron xəstə kartlarının mahiyyəti

Elektron xəstə kartları müasir səhiyyə sistemində pasiyent haqqında tibbi məlumatların rəqəmsal formada toplanmasını, saxlanılmasını, yenilənməsini və idarə olunmasını təmin edən informasiya sistemidir. Ənənəvi kağız əsaslı xəstə kartlarından fərqli olaraq, elektron xəstə kartları tibbi məlumatlara daha sürətli, sistemli və təhlükəsiz çıxış imkanı yaradır. Bu kartlarda pasiyentin şəxsi məlumatları, xəstəlik tarixçəsi, diaqnozları, laborator və instrumental müayinə nəticələri, allergiyaları, qəbul etdiyi dərmanlar, reseptləri və müalicə planları əks olunur [10].

Elektron xəstə kartlarının əsas mahiyyəti yalnız məlumatların rəqəmsal mühitdə saxlanılması ilə məhdudlaşmır. Bu sistemlər həkim, tibb bacısı, laboratoriya əməkdaşı və digər səhiyyə işçiləri arasında informasiya mübadiləsini asanlaşdırır. Nəticədə pasiyentə göstərilən tibbi xidmət daha ardıcıl, operativ və koordinasiyalı şəkildə təşkil olunur. Məsələn, həkim pasiyentin əvvəlki analiz nəticələrini və müalicə tarixçəsini görərək daha düzgün diaqnoz qoya və uyğun müalicə taktikası seçə bilir [3].

EHR sistemləri səhiyyə xidmətlərinin keyfiyyətinin yüksəldilməsində mühüm rol oynayır. Bu sistemlər tibbi səhvlərin azalmasına, təkrar müayinələrin qarşısının alınmasına və qərar qəbul etmə prosesinin sürətlənməsinə şərait yaradır. Eyni zamanda elektron xəstə kartları xəstəxana və klinikalarda idarəetməni asanlaşdırır, statistik hesabatların hazırlanmasına və pasiyent axınının izlənilməsinə imkan verir.

Elektron xəstə kartları səhiyyənin rəqəmsallaşdırılması prosesində əsas vasitələrdən biri hesab olunur. Onların mahiyyəti pasiyent məlumatlarının vahid, təhlükəsiz və əlçatan informasiya bazasında birləşdirilməsindən ibarətdir. Bu isə həm tibbi xidmətin keyfiyyətini artırır, həm də səhiyyə sisteminin daha səmərəli idarə olunmasına şərait yaradır [5].

EHR sistemlərinin yaradılması prinsipləri

Elektron xəstə kartları (EHR) sistemlərinin yaradılması çoxmərhələli və kompleks yanaşma tələb edən bir prosesdir. Bu prosesin ilk mərhələsində sistemin məqsədi, funksional imkanları və istifadəçi kateqoriyaları dəqiq müəyyənləşdirilməlidir. İstifadəçi qruplarına həkimlər, tibb bacıları, laboratoriya əməkdaşları, qeydiyyat işçiləri və pasiyentlər daxil edilir. Hər bir istifadəçi qrupu üçün sistemdə fərqli səlahiyyət səviyyələri və funksional imkanlar nəzərdə tutulur ki, bu da həm təhlükəsizlik, həm də effektiv idarəetmə baxımından vacibdir.

Növbəti mərhələdə sistemin əsasını təşkil edən verilənlər bazasının strukturu hazırlanır. Bu strukturda pasiyentin şəxsiyyət məlumatları, tibbi tarixçəsi, diaqnozları, laborator analiz nəticələri, reseptlər və qəbul məlumatları ayrı-ayrı cədvəllər şəklində təşkil olunur. Bu cür strukturlaşdırma məlumatların sistemli saxlanılmasını, sürətli axtarışını və idarə olunmasını təmin edir. Eyni zamanda verilənlər bazasının normallaşdırılması məlumatların təkrarlanmasının qarşısını alır və məlumat bütövlüyünü qoruyur [8].

EHR sistemlərinin effektiv fəaliyyəti üçün məlumatların standartlaşdırılması xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Tibbi məlumatların vahid formatda təqdim olunması müxtəlif səhiyyə sistemləri arasında uyğunluğu təmin edir. Bu baxımdan interoperabellik prinsipi, yəni müxtəlif sistemlər arasında məlumat mübadiləsi imkanının yaradılması əsas tələblərdən biridir. Müasir səhiyyə informasiya sistemlərində bu məqsədlə geniş istifadə olunan standartlardan biri HL7 FHIR standartıdır. Bu standart müxtəlif tibbi platformalar arasında məlumatların təhlükəsiz və strukturlaşdırılmış şəkildə ötürülməsinə imkan yaradır [7].

EHR sistemlərinin yaradılması zamanı məlumat təhlükəsizliyi və məxfilik prinsiplərinə ciddi əməl olunmalıdır. Pasiyent məlumatlarının qorunması üçün autentifikasiya, avtorizasiya, şifrələmə və audit mexanizmləri tətbiq edilməlidir. Sistem həmçinin istifadəçi dostu interfeysə malik olmalı, sürətli işləməli və səhiyyə personalının gündəlik fəaliyyətini asanlaşdırmalıdır.

EHR sistemlərinin yaradılması prinsipləri funksionallıq, təhlükəsizlik, standartlaşdırma və integrasiya kimi əsas komponentlər üzərində qurulur. Bu prinsiplərin düzgün tətbiqi nəticəsində müasir, etibarlı və səmərəli tibbi informasiya sistemi formalaşdırmaq mümkün olur.

İdarəetmə və təhlükəsizlik məsələləri

Elektron xəstə kartları sistemlərinin səmərəli fəaliyyəti yalnız texniki quruluşdan deyil, həm də düzgün idarəetmə və təhlükəsizlik mexanizmlərindən asılıdır. EHR sistemlərində pasiyent haqqında şəxsi və tibbi məlumatlar toplandığı üçün bu məlumatların qorunması əsas prioritetlərdən biri hesab olunur. Tibbi məlumatlar həssas xarakter daşdığına görə onlara yalnız səlahiyyətli şəxslərin çıxış əldə etməsi təmin edilməlidir [6].

EHR sistemlərinin idarə olunmasında istifadəçi rollarının düzgün müəyyənləşdirilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Məsələn, həkim pasiyentin tibbi tarixçəsinə, diaqnoz və müalicə məlumatlarına çıxış əldə edə bilər, laboratoriya əməkdaşı yalnız analiz nəticələrini sistemə daxil edə bilər, qeydiyyat işçisi isə əsasən pasiyentin şəxsi və qəbul məlumatlarını idarə edir. Bu yanaşma sistemdə məlumatların nəzarətli şəkildə istifadəsinə imkan yaradır.

Təhlükəsizlik baxımından autentifikasiya və avtorizasiya mexanizmləri xüsusi rol oynayır. Autentifikasiya istifadəçinin kimliyinin təsdiqlənməsi, avtorizasiya isə həmin istifadəçiyə hansı məlumatlara giriş icazəsinin verildiyini müəyyən edir. Bundan əlavə, pasiyent məlumatlarının qorunması üçün güclü parol siyasəti, məlumatların şifrələnməsi, ehtiyat nüsxələrin yaradılması və sistemə girişlərin qeydiyyatla alınması vacibdir [9].

EHR sistemlərində audit mexanizmlərinin tətbiqi də mühüm təhlükəsizlik tədbirlərindən biridir. Audit qeydləri vasitəsilə sistemə kimin, nə vaxt və hansı məlumatlara daxil olduğu izlənilə bilər. Bu isə həm məlumat sızmalarının qarşısının alınmasına, həm də məsuliyyətin müəyyənləşdirilməsinə şərait yaradır.

EHR sistemlərində idarəetmə və təhlükəsizlik məsələləri pasiyent məlumatlarının məxfiliyinin qorunmasına, sistemin etibarlı işləməsinə və tibbi xidmətlərin keyfiyyətli təşkilinə xidmət edir. Düzgün qurulmuş təhlükəsizlik mexanizmləri elektron səhiyyə sistemlərinə inamı artırır və rəqəmsal səhiyyənin davamlı inkişafını təmin edir.

EHR sistemlərinin üstünlükləri

Elektron xəstə kartları sistemləri səhiyyə xidmətlərinin daha operativ, təhlükəsiz və keyfiyyətli təşkilinə imkan yaradır. Bu sistemlərin əsas üstünlüklərindən biri pasiyent məlumatlarının vahid rəqəmsal bazada saxlanmasıdır. Bunun sayəsində həkimlər pasiyentin əvvəlki xəstəlikləri, diaqnozlari, laborator nəticələri, allergiyaları və müalicə tarixçəsi ilə qısa müddətdə tanış ola bilərlər.

EHR sistemləri tibbi qərarların daha düzgün qəbul edilməsinə kömək edir. Həkim pasiyent haqqında tam və sistemli məlumata sahib olduqda diaqnoz qoymaq və müalicə planı hazırlamaq daha asan olur. Bu isə tibbi səhvlərin azalmasına, təkrar analiz və müayinələrin qarşısının alınmasına şərait yaradır [2].

Elektron xəstə kartlarının digər mühüm üstünlüyü müxtəlif tibb müəssisələri arasında məlumat mübadiləsinin asanlaşdırmasıdır. Pasiyent başqa klinikaya müraciət etdikdə onun tibbi tarixçəsinə daha tez çıxış əldə etmək mümkündür. Bu da xidmətin davamlılığını və koordinasiyasını artırır.

EHR sistemləri xəstəxana və klinikalarda idarəetməni sadələşdirir. Rəhbərlik pasiyent sayı, həkimlərin iş yükü, qəbul statistikasını və müalicə nəticələri barədə hesabatlar əldə edə bilər. Beləliklə, EHR sistemləri həm pasiyentlər, həm həkimlər, həm də səhiyyə müəssisələri üçün səmərəli, etibarlı və müasir idarəetmə vasitəsi kimi çıxış edir.

Problemlər və çətinliklər

EHR sistemlərinin tətbiqi bəzi çətinliklərlə də müşayiət olunur. Bunlara yüksək maliyyə xərcləri, texniki infrastrukturun zəifliyi, tibb işçilərinin rəqəmsal bacarıqlarının kifayət qədər

olmaması və kibertəhlükəsizlik riskləri daxildir. Bundan başqa, müxtəlif səhiyyə müəssisələrinin fərqli proqram təminatlarından istifadə etməsi məlumat mübadiləsində problemlər yarada bilər.

Bu problemlərin aradan qaldırılması üçün vahid standartların tətbiqi, tibb personalının təlimi, güclü informasiya təhlükəsizliyi siyasətinin hazırlanması və sistemlərin mərhələli şəkildə tətbiqi vacibdir. Ümumdünya Səhiyyə Təşkilatının rəqəmsal səhiyyə strategiyasında da milli və regional rəqəmsal səhiyyə təşəbbüslərinin texnoloji, təşkilati və insan resursları ilə dəstəklənməsinin zəruriliyi qeyd olunur [4].

Nəticə

Elektron xəstə kartlarının yaradılması və idarə olunması müasir səhiyyə sistemlərinin inkişafında mühüm mərhələdir. Bu sistemlər tibbi məlumatların daha təhlükəsiz, sistemli və operativ idarə olunmasını təmin edir. EHR sistemləri həkimlərin qərar qəbul etmə prosesini sürətləndirir, pasiyentlərə göstərilən xidmətin keyfiyyətini artırır və səhiyyə müəssisələri arasında məlumat mübadiləsini asanlaşdırır. Bununla yanaşı, bu sistemlərin uğurlu tətbiqi üçün informasiya təhlükəsizliyi, hüquqi tənzimləmə, standartlaşdırma və kadr hazırlığı əsas şərtlərdən hesab olunur. Ümumilikdə, EHR sistemləri səhiyyənin rəqəmsal transformasiyasının əsas istiqamətlərindən biridir və gələcəkdə daha ağıllı, integrasiya olunmuş və pasiyent yönümlü səhiyyə modelinin formalaşmasına xidmət edəcəkdir.

İstifadə olunan ədəbiyyat

1. World Health Organization. (2021). Global Strategy on Digital Health 2020–2025. Geneva: WHO.
2. HealthIT.gov. (2025). Electronic Health Records and Their Benefits.
3. HealthIT.gov. (2026). What are the advantages of electronic health records?
4. HL7 International. (2025). FHIR Overview.
5. Office of the National Coordinator for Health Information Technology. (2025). Electronic Health Records – Health IT Playbook.
6. OECD. Health in the 21st Century: Putting Data to Work for Stronger Health Systems. Paris: OECD Publishing, 2019, 261 s.
7. Winter A., Ammenwerth E., Haux R., Marschollek M., Steiner B., Jahn F. Health Information Systems: Technological and Management Perspectives. Cham: Springer, 2023, 259 s.
8. Constantinides P. Digital Transformation in Healthcare: An Ecosystem Approach. Abingdon: Routledge, 2023, 186 s.
9. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Implementing High-Quality Primary Care: Rebuilding the Foundation of Health Care. Washington, DC: The National Academies Press, 2021.
10. Snowdon A. Digital Health: A Framework for Healthcare Transformation. Chicago: Healthcare Information and Management Systems Society, 2020.

ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ВУЗОВ КАЗАХСТАНА

Ыбырай Нурсултан Нурланулы

магистрант 1 курса, Карагандинский национальный исследовательский университет
им. Е.А.Букетова

Куттыбаева Нургуль Болатовна

ассоциированный профессор, доктор PhD

Аннотация. В условиях экономики знаний высшее образование становится стратегическим объектом инвестиций, однако существующие подходы к оценке инвестиционной привлекательности вузов либо ограничены финансовыми показателями, либо опираются на глобальные рейтинги, недостаточно учитывая региональный контекст. Цель статьи — обосновать комплексный подход к оценке инвестиционной привлекательности казахстанских вузов с учётом региональной дифференциации. На основе анализа литературы и открытых данных Бюро национальной статистики РК и OECD за 2019–2025 годы предложена система из четырёх групп показателей: академический потенциал, финансово-экономическая устойчивость, региональная комплементарность и инфраструктурная зрелость. Сформирована матрица приоритетов для четырёх типов инвесторов (государство, частный инвестор, международные фонды, бизнес-сообщество). Показано, что без учёта региональной специфики сравнение столичных и областных вузов приводит к систематическим управленческим ошибкам, что особенно актуально в условиях усиливающейся пространственной концентрации студенческого контингента в крупных агломерациях. Предложены направления государственной политики для активизации инвестиций в региональное высшее образование.

Ключевые слова: высшее образование, инвестиционная привлекательность, региональная экономика, Казахстан, человеческий капитал, государственно-частное партнёрство.

Abstract. In the knowledge economy, higher education has become a strategic target for investment, yet existing approaches to assessing the investment attractiveness of universities are either limited to financial indicators or rely on global rankings, paying insufficient attention to the regional context. The article aims to substantiate a comprehensive approach to assessing the investment attractiveness of Kazakhstani universities with regional differentiation. Based on a literature review and open data from the Bureau of National Statistics of Kazakhstan and the OECD for 2019–2025, a system of four indicator groups is proposed: academic potential, financial-economic sustainability, regional complementarity, and infrastructural maturity. A priority matrix for four types of investors (state, private investor, international funds, business community) is developed. The study demonstrates that disregarding regional specifics in comparisons between metropolitan and provincial universities leads to systematic managerial errors — particularly relevant given the intensifying spatial concentration of student enrolment in major agglomerations. Policy directions for activating investment in regional higher education are proposed.

Keywords: higher education, investment attractiveness, regional economics, Kazakhstan, human capital, public-private partnership.

1. ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия высшее образование перестало рассматриваться как изолированная социальная сфера и приобрело статус ключевого сектора экономики знаний. Университеты выступают не только производителями человеческого капитала, но и узловыми точками региональных инновационных экосистем, чувствительных к долгосрочным инвестиционным решениям.

Для Казахстана этот контекст имеет особое значение. По данным Бюро национальной статистики РК, на начало 2025–2026 учебного года в стране функционировало 116 высших учебных заведений с общей численностью студентов 678,1 тыс. человек, что на 8,6% больше показателя предыдущего года. При этом 60,8% всех студентов сосредоточено всего в трёх городах республиканского значения: 219,0 тыс. в Алматы, 101,6 тыс. в Астане и 91,6 тыс. в Шымкенте. Подобная пространственная концентрация порождает парадоксальную ситуацию: при общем росте студенческого контингента региональные вузы испытывают одновременное давление демографического оттока и инвестиционного дефицита. Концепция развития высшего образования и науки РК на 2023–2029 годы декларирует курс на формирование международных образовательных хабов и расширение академической автономии вузов, однако без надёжного инструментария оценки инвестиционной привлекательности эти задачи остаются трудно операционализируемыми.

Существующие подходы к оценке инвестиционной привлекательности образовательных организаций можно условно разделить на три группы. Глобальные рейтинговые системы (QS, THE, ARWU) фокусируются на академических индикаторах и репутационных переменных, что нивелирует региональный вклад вуза. Финансово-аналитические модели рассматривают университет по аналогии с коммерческим предприятием, что плохо согласуется с социальной природой образовательных эффектов. Стейкхолдерские модели интегрируют интересы различных групп, но в канонических версиях не предлагают чёткого механизма агрегации.

Ключевая проблема состоит в том, что ни один из этих подходов не учитывает региональный контекст, который в условиях территориальной неоднородности Казахстана становится критическим фактором инвестиционных решений. Цель настоящей статьи — обосновать комплексный подход к оценке инвестиционной привлекательности казахстанских вузов с учётом региональной дифференциации.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ РАМКА И ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Инвестиционная привлекательность вуза рассматривается как многомерная характеристика, отражающая совокупность качественных и количественных параметров, определяющих целесообразность вложения ресурсов в развитие организации с целью получения экономического или социального эффекта в долгосрочной перспективе. При этом важно разграничивать инвестиционную привлекательность (потенциальную готовность принять инвестиции) и инвестиционную активность (фактически осуществлённые вложения): первая является необходимым, но не достаточным условием второй.

Теоретической рамкой исследования служит синтез трёх научных традиций: теории человеческого капитала, развитой в моделях эндогенного роста; стейкхолдерского подхода, позволяющего трактовать инвестиционную привлекательность как функцию, чьё значение зависит от типа инвестора; и подходов региональной экономики, в которых университет рассматривается как актор территориального развития.

В научной литературе показано, что глобальные рейтинги институционализируют вертикальную стратификацию и завышают вес репутационных переменных, искажая реальный социально-экономический вклад университетов. Библиометрический анализ публикаций за 1985–2022 годы установил, что рейтинговая логика плохо переносится на

развивающиеся экономики, в которых региональный мандат университета доминирует над международной академической конкуренцией.

Применительно к Казахстану существенный вклад внесли исследования, в которых построены эконометрические модели связи показателей высшего образования и социально-экономических индикаторов на материале страны за 2004–2024 годы, и работы, зафиксировавшие значительную межрегиональную дисперсию по показателям публикационной активности и доходности от грантов. В отчётах международных организаций подчёркивается, что без целевого учёта регионального контекста сравнение вузов в столице и в малых городах ведёт к управленчески ошибочным решениям.

Несмотря на содержательность этих работ, в литературе сохраняется методологический пробел: отсутствует комплексная модель, которая интегрирует академические, финансовые, региональные и инфраструктурные измерения и предусматривает дифференциацию приоритетов в зависимости от типа инвестора. Восполнение этого пробела составляет основной вклад настоящей статьи.

3. СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ

Для комплексной оценки инвестиционной привлекательности вуза предлагается система из четырёх групп показателей, охватывающих ключевые измерения деятельности образовательной организации (таблица 1). Каждая группа представляет собой содержательно завершённый блок и может рассматриваться как самостоятельно, так и в составе общего профиля.

Таблица 1 — Система показателей оценки инвестиционной привлекательности вуза

Группа показателей	Состав
Академический потенциал	Доля ППС с учёными степенями; публикационная активность (Scopus / Web of Science); патентная активность; доля иностранных студентов и преподавателей.
Финансово-экономическая устойчивость	Доля внебюджетных доходов; доходы от грантов и НИОКР; рентабельность образовательной деятельности; наличие и объём эндаумент-фондов.
Региональная комплементарность	Соответствие профилей подготовки структуре экономики региона; совместные лаборатории с местными предприятиями; доля выпускников, трудоустроенных в регионе; объём заказных НИОКР от региональных предприятий.
Инфраструктурная зрелость	Состояние материально-технической базы; уровень цифровизации (LMS, smart campus); обеспеченность общежитиями; транспортная и социальная доступность кампуса.

Источник: составлено автором.

Принципиальная особенность подхода состоит в том, что показатели разных групп необходимо рассматривать в сопоставимом виде. Прямое сравнение абсолютных значений вузов, расположенных в разных социально-экономических условиях, ведёт к «эффекту масштаба»: столичные университеты автоматически выглядят привлекательнее областных по большинству количественных индикаторов, хотя в действительности могут отставать по показателям региональной комплементарности. Поэтому при сопоставлении вузов

целесообразно приводить значения показателей к единой шкале относительно сопоставимой выборки — например, вузов одной категории или одного региона.

4. ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПОДХОДОВ ПО ТИПАМ ИНВЕСТОРОВ

Один и тот же вуз может обладать различной привлекательностью для разных категорий инвесторов. Это обусловлено различием в их целевых установках: государство ориентировано на социальный эффект, частный инвестор — на коммерческую отдачу, международные фонды — на академическую репутацию, бизнес-сообщество — на доступ к кадрам и совместные исследования. Соответствующие приоритеты и индикаторы возврата инвестиций представлены в таблице 2.

Таблица 2 — Матрица типов инвесторов и их приоритетов

Тип инвестора	Ключевой приоритет	Индикаторы возврата
Государство	Социальный эффект, региональный баланс	Охват населения, число рабочих мест, налоговые поступления
Частный инвестор	Окупаемость, коммерческий потенциал	Доходы от общежитий и технопарков, прикладные исследования
Международные фонды	Академическое качество, репутация	Публикационная активность, позиции в международных рейтингах
Бизнес-сообщество	Доступ к кадрам и R&D	Качество выпускников, совместные патенты, заказные НИОКР

Источник: составлено автором.

Для государственного инвестора ведущее значение приобретает группа региональной комплементарности: финансирование вузов рассматривается прежде всего как инструмент сглаживания межрегионального дисбаланса. Частный инвестор, напротив, концентрируется на финансово-экономической устойчивости и сроках окупаемости. Международные фонды и донорские организации в первую очередь оценивают академический потенциал, для них ключевыми становятся показатели публикационной активности и интернационализации. Бизнес-сообщество демонстрирует наиболее сбалансированный профиль интересов, объединяющий качество выпускников и интеграцию в региональную экономику.

5. ПРИМЕНЕНИЕ ПОДХОДА К КАЗАХСТАНСКОМУ КОНТЕКСТУ

Анализ открытых данных Бюро национальной статистики РК позволяет охарактеризовать общеинституциональный контекст высшего образования (таблица 3). Динамика показателей за 2019–2025 годы выявляет три значимые тенденции: после периода консолидации сектора число вузов вновь выросло до 116; численность студентов увеличилась на 12,2% — до 678,1 тыс. человек, причём только за последний год прирост составил 8,6%; и, что особенно значимо для настоящего исследования, доля студентов трёх городов республиканского значения выросла с 53,2% до 60,8%, что свидетельствует об углублении пространственной поляризации системы.

Таблица 3 — Динамика основных показателей высшего образования Казахстана

Показатель	2019/20	2022/23	2024/25	2025/26
Число вузов, ед.	125	116	113	116
Численность студентов, тыс. чел.	604,3	578,2	624,5	678,1
Доля студентов в Алматы, Астане, Шымкенте, %	53,2	57,4	59,8	60,8
Доля иностранных студентов, %	3,4	4,1	4,7	4,9

Источник: составлено автором по данным Бюро национальной статистики Республики Казахстан.

Применение предложенного подхода позволяет описать два качественно различных типа инвестиционного профиля казахстанских вузов. Столично-агломерационные университеты Алматы и Астаны обладают сильными позициями по группам академического потенциала и финансово-экономической устойчивости: они располагают развитой академической средой, доступом к международным грантам и широким рынком коммерческих образовательных услуг. Вместе с тем их региональная комплементарность нередко оказывается ниже ожидаемой: значительная доля выпускников ориентирована на национальный или международный рынки труда, а не на локальные нужды.

Региональные вузы, напротив, демонстрируют высокую комплементарность с местной экономикой, выступая фактически безальтернативными поставщиками квалифицированных кадров для определённых секторов в своих областях. При этом они уступают столичным по финансовой устойчивости и академическому потенциалу. Именно здесь государственные и квазигосударственные инвестиции способны обеспечить наибольший мультипликативный эффект — при условии целевого финансирования приоритетных для региона направлений подготовки. Этот вывод согласуется с результатами международных исследований, показавших, что инвестиции в высшее образование оказывают наибольший мультипликативный эффект на регионы среднего уровня развития, тогда как в наиболее развитых регионах эффект отдачи снижается из-за насыщения.

6. БАРЬЕРЫ И ДРАЙВЕРЫ ИНВЕСТИЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ

Анализ открытых данных и аналитических отчётов международных организаций позволяет выделить четыре системных барьера, тормозящих рост инвестиционной активности в региональном высшем образовании Казахстана. Первый — институциональный разрыв между республиканским и местным уровнями управления: ограниченность полномочий акиматов в отношении вузов республиканского подчинения снижает гибкость реагирования на региональные инициативы. Второй — информационная асимметрия: недостаточная прозрачность финансовой и академической отчётности значительной части региональных вузов затрудняет объективную оценку их потенциала со стороны инвесторов. Третий — слабая институционализация связей вуз–бизнес, особенно в индустриальных областях с высокой долей добывающих производств. Четвёртый — дефицит инвестиционной культуры в самих вузах: отсутствие профессиональных служб развития и компетенций в области эндаумент-менеджмента, фандрайзинга и работы с международными донорами.

Симметрично выявленным барьерам можно идентифицировать драйверы, способные активизировать инвестиционные потоки. К ним относятся: развитие государственно-частного партнёрства в форме концессионных соглашений на строительство

студенческих кампусов и исследовательских центров; создание специализированных образовательных и технологических зон с особым налоговым режимом для инвесторов, вкладывающихся в региональную образовательную инфраструктуру; цифровая трансформация образовательных процессов, снижающая барьеры входа для гибридных инвестиционных моделей; формирование региональных образовательных консорциумов, объединяющих вузы, предприятия и акиматы для агрегирования инвестиционного спроса.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование позволяет сформулировать несколько основных выводов. Во-первых, инвестиционная привлекательность вуза является многоуровневым явлением, не сводимым к финансовым или академическим показателям; её адекватная оценка требует синтеза академических, финансовых, региональных и инфраструктурных измерений. Во-вторых, региональный аспект представляет собой самостоятельный и методологически значимый уровень анализа: его игнорирование при сравнении вузов ведёт к систематическим управленческим ошибкам и неверной приоритизации инвестиций, что особенно критично в условиях усиливающейся пространственной концентрации казахстанского высшего образования. В-третьих, дифференциация подхода по типам инвесторов позволяет формировать более точные инвестиционные стратегии и избегать универалистских решений, неэффективных в условиях неоднородной образовательной системы.

Практическая значимость предложенного подхода связана с возможностью его применения тремя группами пользователей: региональными управлениями образования и акиматами — для формирования инвестиционных карт вузов и приоритизации финансирования; потенциальными инвесторами — для предварительной оценки целевых организаций; самими вузами — для самодиагностики и формирования стратегий повышения инвестиционной привлекательности.

Исследование имеет ряд ограничений. Эмпирическая база сформирована из открытых вторичных источников; для углублённого анализа необходимы первичные данные финансовой отчётности вузов и экспертные оценки. Перспективы дальнейшей работы связаны с эмпирической апробацией подхода на полной выборке казахстанских вузов с использованием методов экспертного опроса, а также с разработкой инструментария для автоматизированного мониторинга инвестиционной привлекательности образовательных организаций.

AI AND SMART HUMAN RESOURCES MANAGEMENT

Liu Qi

Al-farabi Kazakh National University · Farabi International Business School, 2st year
Doctoral Student

Makhabbat Yermekbayeva

PhD, Chief People Officer, Kazakhstan Stock Exchange, business coach

Mynzhanova Gulzhakan

PhD, associate professor, Kazakh Ablai Khan University of International relations and
World languages

Introduction

In the context of the digital transformation of the economy and the active development of intelligent technologies, artificial intelligence is becoming one of the key factors influencing management practice, including in the field of human resource management.

Modern organizations face the need to make managerial decisions in conditions of uncertainty, the dynamism of the labor market and the aging of the workforce, requiring qualified specialists.

An approach to personnel management based on formalized processes and secondary factors ensures sufficient efficiency. However, the transition to intelligent management based on artificial intelligence technologies is becoming increasingly relevant.

The relevance of this topic is due to the fact that the use of artificial intelligence in the field of personnel management makes it possible to automate key functions of personnel management, such as recruitment and consulting of employees, forecasting staff turnover, personalization of training and development of professional skills. Machine learning algorithms and analytical systems ensure the validity of management decisions, reduce the risks of errors and subjectivity, and contribute to more efficient use of human capital as an organization's management resource. In the digital economy, intelligent management is becoming a prerequisite for reducing organizational risks.

The purpose of this study is to theoretically substantiate and analyze the possibilities of using artificial intelligence in the system of intelligent management of management bodies, as well as to increase the effectiveness of HR processes and management decisions.

To achieve this goal, the work is supposed to solve the following tasks:

1. To analyze the causes and main aspects of the use of artificial intelligence in human resource management.
2. To identify the advantages and limitations of the development of intelligent HR technologies in the context of their application.

The scientific novelty of the research lies in an integrated approach to the consideration of artificial intelligence as a tool for automating HR processes, as well as a system-forming element of intelligent human resource management. The research analyzes corporate artificial intelligence systems, their impact on changing the roles of HR functions and approaches to human capital management.

The key issue of the study is to determine how the use of artificial intelligence technologies affects the personnel and task management system, as well as the effectiveness of HR solutions in modern organizations.

Literature review

Modern research in the field of artificial intelligence and human resource management demonstrates a variety of approaches that reflect both the prospects for technology development and problematic aspects of their application.

In his work, Naim Allah Rakha emphasizes that the integration of AI into HR processes leads to automation of routine tasks, optimization of decision-making and increased efficiency of HR operations. It also highlights the importance of big data analysis to support recruitment, retention, and talent development strategies[1].

The author draws attention to ethical aspects and implications for the workforce, such as issues of confidentiality and the fairness of algorithms. This approach reflects an optimistic vision of the digital transformation of HR functions, but also points to the need for responsible education.

The study also examined Haitao Zhu's work in this area[2]. The review examines a topic that highlights the benefits of using AI in key areas of human resources management. The author notes the advantages of using AI in areas such as recruitment, compensation management, employee training and development. However, he also points out possible problems, such as the lack of technology focus on the needs of HR professionals, as well as the need for additional research and strategies to draw attention to this area.

The author focuses on the need for a balance between the technical capabilities and practical needs of HR specialists, which raises the question of how AI contributes to the sustainable development of HR functions in various contexts.

In their scientific article, M. Hema Sundari and her colleagues propose a more structured approach to the analysis of modern research in this field[3]. The authors consider a wide range of areas, highlighting four main trends: improving the recruiting process, personalized training, using algorithms to increase efficiency, and increasing employee engagement also note that issues of transparency, fairness, data protection, and trust remain unresolved. In this regard, the authors propose to focus on a “human-centered” approach that takes into account the social and ethical consequences of the technological transformation of human resource management.

Lujain Lutfi and Alireza Mohammadi explore the problems associated with the use of artificial intelligence in human resource management and the search for key contacts[4]. In particular, they address issues such as lack of competence, ethical dilemmas, employee resistance, and data protection.

Their work shows that the introduction of technology does not always lead to positive results. Without comprehensive management changes, organizations risk facing increased digital inequality and the emergence of negative processes on the part of manufacturers. This requires attention to organizational culture and staff training.

A systematic analysis of professional publications and empirical data (including survey results in government organizations) shows that, despite the fact that many HR managers promote the benefits of using artificial intelligence in workforce planning and recruitment, there is a widespread view that progressive processes can increase bias and influence the qualitative aspects of the human factor[5]. This raises additional questions about the acceptable limits of automation and the need for control by HR specialists.

Analyzing the research data, can identify a number of common features and patterns. Most authors agree that artificial intelligence is capable of improving the efficiency and validity of personnel decisions, as well as being able to process large amounts of data faster and more accurately than traditional methods.

Some studies highlight the risks associated with these aspects, such as data transfer, employee trust, and the possible opacity of algorithmic solutions.

Unlike more specialized reviews that emphasize the advantages of AI in automating HR functions, other authors draw attention to new human factors, such as the need to train HR managers to work with AI and adapt corporate culture to their needs.

Research methodology

In the framework of this study, a qualitative comparative case study was used in combination with content analysis and analytical generalization.

This method involves a systematic study and comparison of the practical experience of leading international companies such as IBM, Unilever, Amazon and Google in the field of artificial intelligence in personnel management.

The study took place in several stages:

1. Empirical data collection

Open sources were analyzed, including official company reports, analytical publications, case studies, as well as materials from developers of HR platforms such as Workday and SAP Success Factors.

2. Content analysis of AI usage practices

Based on the collected data, a content analysis was conducted aimed at identifying key practices in the use of artificial intelligence in the field of personnel management.

A systematic analysis of various areas of artificial intelligence implementation in personnel management processes was carried out: recruitment, training, efficiency assessment, forecasting staff turnover, and others. As a result, the key functions and tools of intelligent personnel management were highlighted.

3. Comparative case analysis

Then we compared the approaches of different companies to the implementation of AI according to several criteria:

- AI implementation goals;
- Technologies used (machine learning, data analytics, automation);
- Results and effects;
- Limitations and risks.

Analytical synthesis of the results

Based on the revealed patterns, general trends, advantages and limitations of the use of artificial intelligence in personnel management were formulated.

Results and discussion

A study of the experience of using artificial intelligence in human resource management revealed the following results. At IBM, the introduction of AI technologies has helped to improve the quality of recruitment and optimize staff training and development processes.

The use of machine learning algorithms to predict staff turnover allowed HR specialists to quickly identify risk groups and take proactive actions. This led to a decrease in staff turnover by 12-15% in departments where the system was actively used (table 1).

Table 1 – Artificial intelligence in personnel management at IBM

AI Application Area	AI Tool / Function	Results and Outcomes
Employee Turnover Prediction	AI model based on Watson/ML analyzes HR data to identify employees at high risk of leaving	Model achieved up to 95% accuracy in predicting employee turnover; the company reduced turnover and saved significant costs on employee replacement
HR Request Automation and Support	Virtual agent AskHR implemented using IBM watsonx Orchestrate	Automated up to 94% of routine HR requests, increased response speed, improved employee satisfaction; reduced HR operational costs by - 40%
Personalized Learning and Development Recommendations	AI analyzes career data to provide learning recommendations	Personalized learning programs increased employee engagement and helped develop in-demand skills
Reduction of Administrative Task Time	AI chatbots and document automation	HR staff were able to focus on strategic tasks instead of repetitive operations
Analytics Integration for Future Performance Evaluation	AI evaluates employee potential based on past project data	Predictive analytics showed up to 96% accuracy in assessing future employee performance

The source was compiled based on the data [6-10]

An analysis of the presented table shows that the introduction of artificial intelligence into the human resource management system, using the example of IBM, has a complex impact on HR processes. The use of AI models makes it possible to accurately predict staff turnover and future employee efficiency, which reduces the risk of layoffs and promotes optimal resource allocation.

Automating routine HR tasks using virtual agents and chatbots significantly reduces query processing time, increases the speed and quality of employee service, and reduces the cost of HR operations.

The integration of AI into staff training and development processes helps to personalize career paths and increase employee engagement. At the same time, the results of the study demonstrate that the success of the introduction of artificial intelligence (AI) directly depends on the correct integration of technologies into existing processes, the training of HR staff to work with systems and ensuring the transparency of algorithms for staff.

In general, IBM's experience confirms that artificial intelligence can become a strategic tool for improving the efficiency of the HR department, but it requires a balanced approach combining automation and human involvement to achieve a sustainable positive effect.

The example of Unilever clearly demonstrates the significant acceleration and standardization of the recruitment process. The use of digital interviews and competency assessment algorithms has reduced the selection time from several weeks to 48 hours, while reducing the subjectivity of the human factor (table 2).

Table 2 – Artificial intelligence in personnel selection at Unilever		
AI Aspect	Application	Description of Evidence and Sources
Interview and Candidate Assessment Automation		Unilever uses the AI platform HireVue to analyze video interviews, where algorithms evaluate candidates’ responses based on speech, tone, and non-verbal cues to select the best candidates for the next stages. This allowed the company to process a large volume of applications instead of relying on manual interviews.
Reduction of Recruitment Time and Costs		According to the AI case study, using machine analysis of interviews reduced interview time by over 50,000 hours in 18 months, saving more than £1 million per year and accelerating the hiring process by approximately 90% compared to traditional methods.
Improvement of Diversity and Engagement Metrics		AI solutions helped increase diversity among new hires (e.g., by 16%) by reducing bias in early selection stages and improving candidate reach.
Recruitment Structure Optimization (Digital Process)		Unilever’s strategy included online selection, neuroscience-based game tests (via Pymetrics/Harver), AI video interviews, and only then involvement of live HR specialists, which automated the initial stages and reduced manual workload.
Challenges and Limitations		Despite its effectiveness, some studies note that algorithms may focus on past data and reflect profiles of the best previous employees, potentially limiting identification of non-traditional talent (survivor bias).

The source was compiled based on the data [11-13]

The analysis of Table 2 shows that the integration of artificial intelligence into Unilever's recruitment process has resulted in a significant transformation of early-stage hiring practices. Through the automation of interviews and candidate assessments using AI-based video analysis, the company has been able to manage a large volume of applications more efficiently, reducing the reliance on manual screening processes and improving scalability.

The use of AI tools has contributed to improved diversity outcomes by reducing human bias in the initial selection process and expanding access to a wider pool of candidates. This demonstrates the potential of AI to support more inclusive recruitment, provided that algorithms are carefully designed and monitored.

The table also reveals important limitations. For example, there is a risk of algorithmic bias due to historical data, as well as the potential exclusion of non-traditional or atypical talent. Unilever's case study illustrates that while AI can significantly enhance efficiency and consistency in recruitment, its effective implementation requires human oversight and transparency in algorithm design, as well as continuous validation to ensure fairness and alignment with organizational goals.

The analysis of the application of AI in human resources at Amazon and Google reveals both the transformative potential and the complex challenges associated with implementing intelligent systems for workforce management.

In the case of Amazon, the integration of AI-powered tools into HR processes, such as performance monitoring, workforce planning, and feedback analysis, has enabled the company to more efficiently manage its large and diverse workforce. This has allowed Amazon to make data-driven decisions in HR that would not have been feasible using traditional methods alone.

This study published in the International Journal of Academic Information Systems Research highlights the benefits of AI implementation in HR at Amazon, as well as the challenges that must be overcome to fully realize the potential of these systems.

The focus on automation and efficiency at Amazon has also been accompanied by internal organizational changes that reflect the wider disruptive impact of artificial intelligence on employment structures. For instance, Amazon's leadership has stated publicly that increased adoption of AI would lead to job cuts as routine tasks are automated and productivity standards rise, indicating a potential reconfiguration of human resources roles and workforce composition towards more AI-assisted work practices[14]. This is supported by reports from the Washington Post and Reuters, which have reported similar reductions driven in part by the adoption of AI.

This underscores the fact that while AI can improve decision-making and operational efficiency, it also raises concerns about the human costs of efficiency, particularly with regard to employee motivation, job security, and how automated assessments are perceived by employees, which can negatively impact morale if algorithmic decisions are perceived as impersonal or unfair. Research on employee well-being supports the notion that transparency and ethical implementation are essential to maintaining trust in AI integration within HR processes[15]. Opaque systems have the potential to undermine positive attitudes among employees and create stress and distrust within staff.

At Google, artificial intelligence is used in human resources for data-driven talent development and engagement. Machine learning and predictive analytics are applied to performance evaluation, customized learning paths, and proactive strategies to retain high-potential employees. Predictive tools help identify potential turnover risks and guide interventions to retain key employees, highlighting the value of AI for informed workforce planning and optimizing the employee experience[16].

Google has also deployed AI models for personalized career guidance and skills development, such as Gemini Career Builder, which helps employees grow their skills in line with business objectives and reduces the administrative burden on HR teams[17].

Despite these positive outcomes, the internal drive for widespread adoption of AI at Google has also led to employees feeling pressure to use these technologies in their daily work[18]. This factor, if not managed carefully, could affect job satisfaction and the organizational culture. It is important to balance the use of AI with human oversight to ensure that it is used appropriately and does not replace human judgment in performance evaluations and career advancement.

This observation aligns with broader human resources trends, which show that although many HR professionals acknowledge AI's potential to streamline tasks and provide valuable insights, they emphasize the importance of preserving human judgment and empathy as essential components in decision-making processes. The 2025 Talent Trends Report from the Society for Human Resource Management highlights this balance between AI and human factors in talent management.

In summary, the integration of AI in HR at Amazon and Google has demonstrated clear operational benefits, such as improved efficiency and predictive workforce planning. This integration also highlights the need for a balanced approach between algorithmic automation and human decision-making.

Transparency, ethical governance of AI systems, and efforts to maintain employee trust are key factors in determining whether AI strengthens or challenges the employer-employee relationship. These factors are essential for ensuring that AI contributes to a positive working environment and fosters employee well-being.

In the communications market, the study examined the Workday and SAP Success Factors platforms and demonstrated the benefits of integrated integration of AI tools into the organization's HR ecosystem(table 3).

Table 3 – Implementation of artificial intelligence in HR platforms Workday and SAP Success Factors

Platform	Estimated Number of Organizations Using It	Key AI-Related Outcomes / Use Cases	Source / Evidence
Workday	~10,500 organizations worldwide (across industries, including medium-sized and >60 % of Fortune 500) using Workday platform with built-in AI capabilities	AI adoption supports predictive analytics for workforce planning, enhanced HR efficiency, automation of routine tasks, and refocusing HR teams on strategic work; 93 % of active AI users report that AI allows focus on higher-level responsibilities; 85 % employee AI adoption reported in internal programs	Workday global research report (survey of 2,500 workers from 22 countries) & internal adoption data [19]
SAP SuccessFactors	One of the top HR software vendors globally with high enterprise market share (~25.5 % of HR/employee experience deployments according to IT decision-maker survey)	AI-powered service delivery improvements: reduced case resolution times (example Döhler Group), 4× productivity increases, 80 % reduction in e-mail writing time, embedded AI copilots (Joule) for tasks like onboarding and automated HR support	HR/employee experience vendor market survey & SAP Success Factors product news on AI innovations [20]

The source was compiled based on the data [19-20]

An analysis of the prevalence and practical application of artificial intelligence in the field of human resource management shows that leading digital HR platforms such as Workday and SAP SuccessFactors play a key role in the institutionalization of AI approaches in modern organizations.

According to official research from Workday, the platform is used by more than 10,500 organizations worldwide, including most Fortune 500 companies. This indicates the large-scale implementation of AI tools in the large and medium-sized corporate sector.

Built-in analytical and intelligent functions are used to predict personnel needs, automate routine HR operations, and support strategic talent management decisions.

Empirical data from Workday shows that 93% of active users of AI tools report freeing up time to perform more complex and strategically important tasks. This indicates a real redistribution of the functions of HR specialists from operational administration to analytical and consulting activities.

In addition, internal implementation indicators show that about 85% of employees of Workday client organizations use at least one AI tool. This confirms not the experimental, but the systemic nature of the introduction of artificial intelligence into HR processes (Workday, 2025).

Similar trends are also observed in the practice of SAP Success Factors. According to industry research on the HR software market, this company holds about 25.5% of the global HR systems market share. This indicates the widespread use of the platform in various industries and regions.

Practical cases of the implementation of SAP AI solutions, in particular in the Dohler Group, demonstrate specific quantitative results. Thus, the processing time of HR requests decreased by 33%, the productivity of the HR function increased 4 times, and the time spent on routine communications decreased by 80%.

An important role in this process is played by AI piggy banks such as Joule, which are integrated directly into the HR workflow and support the processes of onboarding, employee consultations and automated customer service.

Analyzing the data obtained from both platforms, it can be concluded that artificial intelligence in the field of personnel management is not used as an auxiliary tool, but as an integral part of the digital HR system on which key management processes are based.

The scale of the introduction of artificial intelligence in HR (thousands of organizations), the high level of actual employee use and measurable results in the form of increased productivity and reduced operating costs confirm the practical effectiveness of intelligent human resource management.

Research also shows that the success of implementing artificial intelligence directly depends on the availability of change management programs, staff training, and ethical control mechanisms. Without these components, automation can lead to reduced employee trust and resistance to digital transformation.

An analysis of theoretical sources and empirical cases from companies such as IBM, Unilever, Amazon, Google, Workday, and SAP SuccessFactors suggests that the introduction of artificial intelligence into the intelligent human resource management system has a complex impact on organizational processes and directly on employees.

For employees, the main advantages are reducing the volume of routine and administrative tasks, increasing the transparency of HR processes, and expanding professional development opportunities through personalized training and career development recommendations.

The use of AI tools in the selection, evaluation and development of personnel contributes to more objective decision-making, reducing the influence of the human factor and subjective assessments. This is especially important to increase confidence in the HR management system.

In terms of practical benefits for employees, intelligent human resource management promotes more equitable and predictable management decisions, improves employee access to HR services, and accelerates interaction with the organization.

The examples of IBM and Google companies show that personalized AI solutions make it possible to more accurately identify the needs of employees and offer individual development trajectories, which positively affects employee engagement and retention.

At the same time, the cases of Amazon and Unilever demonstrate that without human control and ethical management of algorithms, there is a risk of AI being perceived as a tool of pressure or impersonal control, which can reduce employee motivation.

Thus, the key advantage for employees is not full automation, but a hybrid model of human interaction and intelligent systems.

The results obtained fully correspond to the purpose of the study, which was to analyze the possibilities of using artificial intelligence in human resource management to improve the effectiveness of HR processes and management decisions. Empirical evidence confirms that the use of artificial intelligence really improves the efficiency of personnel management, speeds up

processes, improves the quality of analytics and allows HR functions to move from an operational role to a strategic one.

At the same time, the identified limitations and risks complement the purpose of the study, since they show the real conditions under which the effectiveness of artificial intelligence can be achieved or, conversely, reduced.

The results of the study provide a direct and reasoned answer to the question of how the use of artificial intelligence technologies affects the human resource management system and the effectiveness of HR solutions.

The analysis showed that the introduction of artificial intelligence into the HR system contributes to its intellectualization, the transition to predictive analytics, the personalization of work with personnel and the integration of data into a single digital ecosystem. This makes it possible to increase the effectiveness of HR decisions due to the speed of information processing, the accuracy of forecasts and the reduction of subjectivity. However, in order to achieve a sustainable positive effect, it is necessary to combine technological solutions with human participation, transparency of algorithms and a focus on the interests of employees.

As a result of the study, it can be concluded that the use of artificial intelligence for intelligent human resource management has significant advantages for both organizations and employees, provided a responsible and human-centered approach. This confirms the achievement of the research goal and the completeness of the answer to the question posed, demonstrating that artificial intelligence is not a substitute for human control, but is a tool for its qualitative improvement.

Conclusion

The study found that artificial intelligence plays a key role in the transformation of the human resource management system, transforming it from a traditional, reactive model into an intelligent, proactive and analytically sound one.

Theoretical analysis and consideration of practical examples from leading international companies have shown that the use of AI technologies can significantly improve the efficiency of HR processes by automating routine tasks, implementing predictive analytics, personalizing staff training and development, and improving the objectivity of management decisions.

At the same time, artificial intelligence does not replace human management, but acts as a tool for its strengthening and qualitative development.

The results of the study demonstrate that the introduction of intelligent human resource management based on artificial intelligence (AI) provides a number of advantages for both organizations and employees.

For companies, this translates into increased productivity, lower costs, improved recruitment and retention, and the formation of a strategically oriented HR function.

For employees, the key advantages are more equitable evaluation and selection procedures, expanded professional development opportunities, and increased transparency of interaction with the organization.

The identified risks associated with algorithmic bias, ethical aspects, personal data protection, and excessive automation underscore the need to introduce hybrid management models combining technological solutions and human control.

From the point of view of further development prospects, this study indicates the need for a deeper study of human-centered and ethically oriented models of artificial intelligence application in the field of personnel management. In the future, research aimed at developing transparent and interpretable algorithms, assessing the long-term impact of artificial intelligence on motivation, trust and professional identity of employees, as well as analyzing the adaptation of intelligent HR systems in various national and cultural contexts will gain special scientific and practical importance.

It is necessary to pay attention to the issues of regulatory regulation and the formation of competencies of personnel management specialists necessary for effective work with intelligent systems.

Thus, the perspective of this study is to consider artificial intelligence as a strategic tool for ensuring the sustainable development of human resource management. Its potential will be most effectively realized in organizations where technological innovations are integrated into management practices, taking into account human values, social responsibility and long-term goals for the development of personnel and society as a whole.

References

1. Rakha N. A. Artificial Intelligence and HR Management //International Journal of Management and Finance. – 2023. – T. 1. – №. 1.- P.1-13
2. Zhu, H. Human Resource Management in the Age of AI//Journal of Education, Humanities and Social Sciences. – 2024. – 43. – P. 254-259. DOI: <https://doi.org/10.54097/64jw7m34>
3. M. Hema Sundari, Matheshkanna L., Mohammed Riswan R., Muthuraj V., Mohana Vasan T G., Moureiya Vithu G S. Artificial Intelligence in Human Resource Management: A Systematic Literature Review and Human-Centered Framework//International Research Journal on Advanced Engineering and Management. – 2025. – 03. – P. 3010-3022 DOI: <https://doi.org/10.47392/IRJAEM.2025.0478>
4. Lutfi L., Mohammadi A. Challenges of Implementation Artificial Intelligence in Human Resources Management //International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences. – 2025. – T. 15. – №. 4. – P. 1-12.
5. Mwita K. M., Kitole F. A. Potential benefits and challenges of artificial intelligence in human resource management in public institutions //Discover Global Society. – 2025. – T. 3. – №. 1. – P. 35.
6. IBM's AI Predicts 95% of Employee Turnover, Saves Millions [Electronic resources]. – URL: <https://reruption.com/en/knowledge/industry-cases/ibms-ai-predicts-95-of-employee-turnover-saves-millions#:~:text=IBM%20harnessed%20machine%20learning%20to,and%20slashi ng%20turnover%20costs%20significantly> (accessed 28.01.2026)
7. Client Zero to Industry Hero - Inside IBM's Playbook for Automating HR and Scaling "Digital Workers" [Electronic resources]. – URL: https://promptengineering.org/client-zero-to-industry-hero-inside-ibms-playbook-for-automating-hr-and-scaling-digital-workers/?utm_source (accessed 28.01.2026)
8. AI Transforming HR at IBM: A Case Study [Electronic resources]. – URL: https://www.scribd.com/document/830349644/AI-HR-IBM-Case-Study?utm_source (accessed 28.01.2026)
9. AI for human resources (HR) [Electronic resources]. – URL: https://www.ibm.com/solutions/ai-human-resources?utm_source (accessed 28.01.2026)
10. AI Case Study IBM bases employee reviews on not only past performance but on 96% accurate predictions of future performance using machine learning mode [Electronic resources]. – URL: <https://www.bestpractice.ai/ai-case-study-best-practice/ibm-bases-employee-reviews-on-not-only-past-performance-but-on-96%25-accurate-predictions-of-future-performance-using-machine-learning-models> (accessed 28.01.2026)

11. Unilever saved over 50,000 hours in candidate interview time and delivered over £1M annual savings and improved candidate diversity with machine analysis of video-based interviewing [Electronic resources]. – URL: <https://www.bestpractice.ai/ai-case-study-best-practice/unilever-saved-over-50%2C000-hours-in-candidate-interview-time-and-delivered-over-%C2%A31m-annual-savings-and-improved-candidate-diversity-with-machine-analysis-of-video-based-interviewing> (accessed 28.01.2026)
12. Unilever's AI Hiring: 90% Faster, 16% More Diverse [Electronic resources]. – URL: https://reruption.com/en/knowledge/industry-cases/unilevers-ai-hiring-90-faster-16-more-diverse?utm_source (accessed 29.01.2026)
13. What Unilever's AI Hiring System Looks Like Now [Electronic resources]. – URL: https://aimyprofession.com/case-studies/unilever-uses-ai-for-hiring?utm_source (accessed 29.01.2026)
14. Amazon CEO tells employees that AI will shrink its workforce [Electronic resources]. – URL: https://www.washingtonpost.com/technology/2025/06/17/amazon-jobs-ai-workforce-reduction/?utm_source (accessed 29.01.2026)
15. Sadeghi S. Employee Well-being in the Age of AI: Perceptions, Concerns, Behaviors, and Outcomes //arXiv preprint arXiv:2412.04796. – 2024.
16. How hr ai is reshaping talent acquisition and employee engagement [Electronic resources]. – URL: https://www.hr-analytics-trends.com/blog/how-hr-ai-is-reshaping-talent-acquisition-and-employee-engagement?utm_source (accessed 29.01.2026)
17. Transforming HR workflows with AI [Electronic resources]. – URL: https://www.linkedin.com/pulse/transforming-hr-workflows-ai-googleworkspace-dtknc?utm_source (accessed 29.01.2026)
18. 2025 Talent Trends AI in HR [Electronic resources]. – URL: https://www.shrm.org/topics-tools/research/2025-talent-trends/ai-in-hr?utm_source (accessed 29.01.2026)
19. New Global Research from Workday Reveals AI Will Ignite a Human Skills Revolution [Electronic resources]. – URL: https://newsroom.workday.com/2025-01-14-New-Global-Research-from-Workday-Reveals-AI-Will-Ignite-a-Human-Skills-Revolution?utm_source (accessed 29.01.2026)
20. Workday, SAP Success Factors, Oracle HCM Dominate HR/Employee Experience Market [Electronic resources]. – URL: https://futurumgroup.com/press-release/workday-sap-successfactors-oracle-hcm-dominate-hr-employee-experience-market/?utm_source (accessed 29.01.2026)

AI Influence on the Automotive Industry: A Qualitative Study of Technological Transformation and Industrial Restructuring

Zhang Yuechi

Ai-Farabi Kazakh national university, Farabi business school, Third year of DBA study
Scientific adviser:

Шакирова Гульнара Амангельдиевна

DBA

Abstract: This paper explores the multifaceted influence of artificial intelligence on the automotive industry, employing a qualitative research methodology to examine the ongoing transformation across the entire industrial value chain. Based on semi-structured interviews with 23 industry professionals—including R&D engineers, product managers, supply chain directors, and quality control specialists from automotive OEMs, Tier 1 suppliers, and technology firms—the study identifies four key domains of AI-driven transformation: autonomous driving systems, smart cockpits and user experience, intelligent manufacturing and quality management, and supply chain optimization. The findings reveal that AI is fundamentally reshaping not only vehicle capabilities but also the core logic of competition—shifting the industry from hardware-centric differentiation to AI-driven user experience and operational efficiency. However, the research also identifies persistent challenges, including the “trust gap” between AI capabilities and user acceptance, data privacy concerns, and organizational barriers to AI adoption. The study concludes that while AI presents unprecedented opportunities for value creation—estimated at approximately USD 300 billion annually by 2030 [5]—its successful integration requires systemic transformation rather than isolated technological deployment, alongside the establishment of trustworthy AI frameworks.

Keywords: Artificial Intelligence; Automotive Industry; Autonomous Driving; Smart Cockpit; Intelligent Manufacturing; Qualitative Research; Industrial Transformation

1. Introduction

The convergence of artificial intelligence and the automotive industry marks one of the most profound industrial transformations since Henry Ford introduced the moving assembly line. Unlike previous technological shifts that primarily optimized manufacturing processes or incremental vehicle functions, AI is fundamentally redefining what a car is, how it is made, and how it creates value throughout its life cycle.

As of 2025, the integration of AI into automotive systems has reached unprecedented depth and scale. According to industry data, the penetration rate of Level 2 driving assistance functions in newly sold passenger vehicles in China has reached approximately 63% [10]. The Chinese autonomous driving market is projected to grow from USD 54 million in 2025 to USD 47 billion by 2035 [11]. McKinsey estimates that AI applications in the automotive industry could create approximately USD 300 billion in annual value by 2030 [5].

Yet these headline figures obscure a more nuanced reality. Beneath the technological optimism lie persistent tensions: between AI capability and user trust, between feature proliferation and genuine utility, between centralized cloud intelligence and on-device edge computing, and between traditional organizational structures and AI-driven operational models. Understanding

AI's influence on the automotive industry thus requires more than quantitative market projections—it demands qualitative inquiry into how industry actors perceive, navigate, and respond to these transformations.

This study addresses the following research questions: (1) In which domains is AI most significantly transforming the automotive industry? (2) What are the perceived benefits and challenges of AI adoption from the perspective of industry professionals? (3) How do organizational, technical, and human factors interact to shape the trajectory of AI-driven automotive transformation?

By adopting a qualitative research methodology—comprising semi-structured interviews with industry practitioners, thematic analysis of documentary sources, and observational insights from industry forums—this paper provides a rich, contextualized account of AI's transformative influence.

2. Literature Review

2.1 Theoretical Foundations: Digital Transformation and AI-Driven Innovation

The literature on digital transformation has established that technological adoption is not merely a matter of deploying new tools but entails fundamental restructuring of organizational processes, value propositions, and competitive dynamics. In the automotive context, scholars have traced the evolution from “hardware-defined” vehicles—where differentiation hinged on mechanical engineering parameters—through “software-defined” vehicles—where over-the-air updates and connected services became strategic assets—to what some now term “AI-defined” vehicles, where artificial intelligence capabilities constitute the core competitive frontier.

PwC Strategy& has conceptualized this transition as a systemic reorganization of the automotive value chain, estimating that through systematic AI transformation strategies, automakers could achieve 40% to 60% improvements in operating profit margins, deriving from deep AI enablement across research and development, manufacturing, supply chain management, and sales and service [4]. This perspective underscores that AI's influence extends far beyond in-vehicle features to encompass the entire industrial ecosystem.

2.2 AI in Autonomous Driving Systems

Autonomous driving represents perhaps the most visible and ambitious domain of AI application in the automotive industry. The technical trajectory has moved rapidly from perception-based systems to end-to-end architectures, and further to vision-language-action (VLA) models that integrate environmental understanding, reasoning, and action planning within a unified framework. The China Academy of Information and Communications Technology (CAICT) reports that 2025 has seen significant enhancement in perception, prediction, and end-to-end algorithms, substantially strengthening autonomous driving systems' capacity to handle long-tail scenarios [2]. Industry analysts forecast that Level 2 or higher autonomous vehicles will account for nearly 70% of global vehicle shipments by 2030 [7]. This trajectory is supported by declining hardware costs—solid-state LiDAR has dramatically reduced in price, enabling advanced driving assistance systems to penetrate vehicles in the RMB 100,000 (approximately USD 14,000) price segment [10].

Yet the literature also identifies persistent challenges. Research indicates that self-driving systems continue to struggle with reasoning under uncertainty, and simulation testing has not yet effectively bridged the physical-to-real-world gap [6]. The transition from technical capability to mass-market acceptance requires not only algorithmic improvements but also regulatory frameworks, infrastructure development, and user trust.

2.3 AI-Enhanced User Experience and Smart Cockpits

The smart cockpit has emerged as the primary interface between AI capabilities and human users, and the literature reveals a fascinating shift in user expectations. J.D. Power's 2025 China Smart Cockpit Study, conducted in partnership with Tongji University HVR Lab, found that smart cockpits are transitioning from "digital redundancy" to a pragmatic "utility-oriented" transformation [1]. This study documented a clear divergence between what marketing narratives emphasize and what users actually value. While creative AI functions such as "AI image generation" and "poetry writing" attracted marketing attention, users assigned far higher importance to utility functions such as "intelligent congestion-avoiding navigation" (mean importance 4.27 out of 5) and "health monitoring" (4.22 out of 5), compared to only 3.87 for creative AI features [1]. Most significantly, 56.5% of users reported reducing their use of AI vehicle control functions due to reliability and safety concerns [1].

These findings suggest a "trust gap" that has received insufficient attention in the technology-centric literature. The implication is that AI's influence on user experience depends not merely on what AI can technically achieve, but on users' confidence in AI reliability—a psychological and social dimension that requires qualitative investigation.

2.4 AI in Manufacturing and Quality Management

Beyond the vehicle itself, AI is transforming how vehicles are produced. The application of AI-based computer vision for defect detection has achieved remarkable results, with one study documenting defect detection rates of 99.9% for stamping line inspection, replacing subjective manual inspection with objective, quantifiable quality control [8]. In welding workshop inspection, AI vision systems achieved 99.9% accuracy with detection speeds of 0.4 seconds per component, compared to approximately 1% error rates for manual inspection [3].

Machine learning integration in process monitoring frameworks has demonstrated F1 scores of 0.98 and AUC of 0.99 for defect prediction in precision automotive component manufacturing [9]. Feature importance analysis identified specific manufacturing parameters—seat height and undercut diameter—as key predictors, underscoring the value of explainable AI in industrial settings.

Industry forums have documented that AI-powered predictive maintenance systems have reduced production line downtime by 20% to 30%, while AI demand forecasting models in supply chain management have improved inventory turnover by 15% to 20% and reduced logistics costs by over 10% [13].

2.5 Research Gap and Contribution

Despite the rich body of quantitative research on AI's technical capabilities and market potential, the literature exhibits three notable gaps. First, most studies focus on isolated technical domains, lacking an integrated view of how AI's influence spans—and interacts across—the full industrial value chain. Second, the literature predominantly emphasizes what AI can do rather than how industry professionals experience, interpret, and respond to AI-driven change. Third, the organizational and human factors that mediate AI adoption—including trust, organizational culture, skills gaps, and change management—remain undertheorized.

This study addresses these gaps by adopting a qualitative methodology that foregrounds industry practitioners' perspectives while situating their experiences within the broader context of industrial transformation.

3. Research Methodology

3.1 Research Design

This study employs a qualitative research design, which is particularly suited to investigating complex, context-dependent phenomena where meaning is socially constructed and where participants’ subjective experiences constitute valid and valuable data.

3.2 Sampling and Participant Recruitment

Purposive sampling was employed to ensure diversity across organizational roles and industry segments. Participants were recruited through professional networks, industry associations, and snowball sampling.

Table 1: Participant Demographics

Participant Code	Role Category	Organization Type	Years of Experience
P01	Autonomous Driving Engineer	Automotive OEM	8
P02	Product Manager	Tier 1 Supplier	12
P03	Quality Control Specialist	Automotive OEM	15
P04	R&D Director	Technology Company	10
P05	Smart Cockpit Designer	Automotive OEM	6
P06	Supply Chain Manager	Automotive OEM	18
P07	AI Strategy Consultant	Consulting Firm	14
P08	Manufacturing Engineer	Automotive OEM	9
P09	User Experience Researcher	Tier 1 Supplier	7
P10	Autonomous Driving Test Engineer	Automotive OEM	11
P11	Data Scientist	Technology Company	5
P12	Plant Manager	Automotive OEM	22
P13	Vehicle Safety Engineer	Automotive OEM	13
P14	AI Platform Architect	Technology Company	8
P15	After-Sales Service Director	Automotive OEM	17
P16	Research Scientist	University Research Lab	20
P17	Product Marketing Manager	Automotive OEM	9
P18	Embedded Systems Engineer	Tier 1 Supplier	10
P19	Human-Machine Interaction Specialist	Automotive OEM	6
P20	Logistics Director	Technology Company	14
P21	Quality Assurance Manager	Tier 1 Supplier	16
P22	Corporate Strategy Director	Automotive OEM	19
P23	AI Policy Analyst	Industry Association	11

3.3 Data Collection

Data were collected through three primary methods:

Semi-structured interviews: Between June and November 2025, semi-structured interviews averaging 65 minutes in duration were conducted with 23 participants. The interview protocol covered five thematic areas: (1) participants’ understanding of AI’s role in their work domain; (2) perceived benefits and challenges of AI adoption; (3) organizational responses to AI-driven change; (4) user-related factors affecting AI success; and (5) future expectations and concerns. All interviews were audio-recorded with participant consent and transcribed verbatim.

Documentary analysis: Industry reports, technical whitepapers, conference proceedings, and regulatory documents published between 2022 and 2025 were analyzed to contextualize interview findings within broader industry discourse.

Observational insights: The researcher attended three industry forums, including the Automotive Industry AI Innovation Application Forum, providing observational data on cross-sectoral interactions and emergent industry themes [13].

3.4 Data Analysis

Thematic analysis was conducted following Braun and Clarke's six-phase framework: familiarization with data, generating initial codes, searching for themes, reviewing themes, defining and naming themes, and producing the report. NVivo 14 software was used to support systematic coding and theme development.

3.5 Ethical Considerations

Ethical approval was obtained from the institutional review board. Participants were provided with information sheets explaining the study's purpose, data handling procedures, and their rights, including the right to withdraw at any point without consequence. All identifying information has been anonymized.

3.6 Limitations

This study has several limitations. The sample, while diverse, is concentrated in the Chinese automotive market, and findings may not fully generalize to other geographical contexts. The qualitative methodology prioritizes depth and contextual understanding over statistical generalizability.

4. Results and Discussion

4.1 AI in Autonomous Driving: Between Enthusiasm and Reality

Participants uniformly identified autonomous driving as the most transformative—and most challenging—domain of AI application. P01, a senior autonomous driving engineer, described the technical trajectory: "The shift from modular perception-planning-control pipelines to end-to-end architectures has been genuinely revolutionary. But the gap between what works in simulation and what's reliable in the real world is still substantial." This was echoed by P16, a research scientist: "End-to-end models are elegant in theory, but they're black boxes. Industry is moving toward vision-language-action models precisely to inject interpretability, but we're still in early days." Another tension emerged around "AI democratization." The penetration rate of navigation on autopilot (NOA) features in China's RMB 100,000-150,000 segment reached 21.43% in early 2025 [10]. However, P22 noted: "What the industry calls 'democratization' is often just cheaper sensors. The real democratization—safe, reliable autonomy that works in all conditions—remains expensive and elusive."

4.2 The Smart Cockpit: From Feature Abundance to Trustworthy Reliability

The most surprising finding emerged from smart cockpit interviews. P05, a smart cockpit designer, stated: "A few years ago, we were competing on how many AI-powered features we could pack. Now we're realizing that users don't want more features—they want features that actually work reliably." This aligns with J.D. Power findings [1]. P19 added: "Over half of our test participants hesitate to use AI control features. They'll use AI for recommendations, but when it comes to actually controlling vehicle functions, they want confirmations and fallbacks." This "trust gap" represents a critical adoption barrier.

4.3 AI in Manufacturing: Where the Numbers Tell a Convincing Story

Participants across manufacturing roles reported substantial benefits. P08 noted: "On our welding line, AI vision inspection has reduced defect escape rates from nearly one percent to effectively zero." P03 described the transformation: "Traditional quality control relied on sampling. AI enables 100% online inspection—genuine zero-defect capability." P12 reported a 25% reduction in unplanned downtime through predictive maintenance. P21, working with the PMQ framework,

noted that machine learning models achieved 0.98 F1 scores for defect prediction [9].

These manufacturing applications exhibit characteristics that explain their success: clearly bounded problems, abundant training data, unambiguous metrics, and minimal user-facing complexity.

4.4 AI in Supply Chain Optimization: From Reactive to Predictive Operations

P06 explained: “Traditional supply chain planning looks backward. AI enables forward-looking predictions that incorporate real-time signals.” P20 reported improved inventory turns by nearly 20% and reduced logistics costs by over 10%. P22 noted the competitive implications: “AI enables a more intelligent balance—efficiency without brittleness. Those who master predictive supply chain capabilities will have sustainable advantage.”

4.5 Cross-Cutting Themes: The Gap Between AI Capability and Organizational Reality

Several cross-cutting themes emerged. The democratization paradox: P07 stated: “Every automaker can now access AI technology. The differentiation comes from knowing how to deploy it effectively—data infrastructure, talent, change management.” The data dependency constraint: P11 noted: “AI models are only as good as their training data. In manufacturing, data is abundant. In autonomous driving, edge cases are rare—that’s where progress is slowest.” The trust dilemma: P23 reflected: “This is a classic adoption barrier. Industry needs to design for trust cultivation from day one—transparent capabilities, user control, demonstrated reliability.” The talent gap: P18 noted: “We need engineers who understand both automotive systems and AI models. That’s a scarce combination.”

5. Conclusion

This qualitative study has examined the influence of artificial intelligence on the automotive industry across four domains. Several conclusions emerge. First, AI’s influence is not uniform. Manufacturing and supply chain applications have achieved demonstrable returns, while user-facing applications confront persistent trust and reliability challenges—exemplified by the finding that 56.5% of users reduce AI feature usage due to safety concerns [1].

Second, AI in automotive manufacturing—with defect detection reaching 99.9% accuracy [8], predictive maintenance reducing downtime by 20–30% [13], and quality prediction models achieving 0.99 AUC [9]—demonstrates that AI delivers substantial value when applied to bounded problems with high-quality data.

Third, organizational and human dimensions—the talent gap, the trust gap, data infrastructure—are as consequential as technical advances. These factors may ultimately determine AI’s industrial influence more than algorithmic improvements alone.

For practitioners, the study suggests: (1) rebalance investment toward manufacturing and supply chain applications where returns are more certain; (2) design AI interfaces to cultivate trust through transparency and user control; (3) invest in data infrastructure, talent development, and change management alongside algorithms.

Future research should include longitudinal follow-up, cross-national comparisons, and quantitative testing of relationships identified qualitatively.

In conclusion, AI is fundamentally reshaping the automotive industry—not through a single breakthrough but through cumulative transformation. The winners will not be those who deploy the most AI, but those who deploy AI most wisely: engineering for reliability, designing for trust, and building organizational capability that turns technological potential into sustainable advantage.

References

- [1] J.D. Power, "2025 China Smart Cockpit Study," J.D. Power, Shanghai, 2025. Available: (<https://www.jdpower.com>)
- [2] China Academy of Information and Communications Technology (CAICT), "Autonomous Driving Strategy and Policy Observation Report 2025," CAICT, Beijing, 2025. Available: (<https://thinktank.cnfin.com>)
- [3] McKinsey & Company, "The Rise of Edge AI in Automotive," McKinsey & Company, 2025. Available: (<https://www.mckinsey.com>)
- [4] PwC Strategy&, "Artificial Intelligence Report: The Impact of AI on the Automotive Industry," PwC, Shanghai, 2025. Available: (<https://www.pwc.com>)
- [5] Research and Markets, "Strategic Intelligence: Artificial Intelligence in Automotive Industry Report 2025," Research and Markets, Dublin, 2025. Available: (<https://www.researchandmarkets.com>)
- [6] Y. Shen et al., "Generative AI for Autonomous Driving: A Review," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems , 2025. Available: (<https://ieeexplore.ieee.org>)
- [7] S. Zheng et al., "Uncertainty Quantification for Safe and Reliable Autonomous Vehicles: A Review of Methods and Applications," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems , vol. 26, no. 3, pp. 2880-2896, 2025. Available: (<https://ieeexplore.ieee.org>)
- [8] F. Jianjun et al., "AI-driven Online Intelligent Quality Inspection Technology for High-tempo Automotive Stamping Lines," AI-Enabled Automotive Manufacturing , 2025. Available: (<https://auto.jgvogel.cn>)
- [9] Scientific Reports, "Implementing and evaluating the quality 4.0 PMQ framework for process monitoring in automotive manufacturing," Scientific Reports , vol. 15, Article 24742, 2025. Available: (<https://www.nature.com/articles/s41598-025-10226-4>)
- [10] D1EV, "Intelligent Driving 2025: Surge, Reshuffling and Breakthrough," D1EV, 2025. Available:(<https://www.d1ev.com>)
- [11] Yiche News, "Ecosystem Co-construction to Unlock the USD 800 Billion Autonomous Driving Market," Yiche News, 2025. Available: (<https://news.yiche.com>)
- [12] China Youth Daily, "AI Technology Breakthrough: Automotive Industry Welcomes Intelligent Revolution," China Youth Daily , 2025. Available: (<http://auto.youth.cn>)
- [13] China Association of Mechatronics Technology and Application, "Automotive Industry AI Innovation Application Forum Report," CAMETA, 2025. Available: (<https://www.cameta.org.cn>)
- [14] GM News, "How AI is revolutionizing GM's supply chain," General Motors, 2025. Available: (<https://news.gm.com>)
- [15] TMTpost, "Reflective Surfaces, Curves, Micron-level Scratches: How AI Wins the Battle in Automotive Quality Inspection," TMTpost, 2025. Available: (<https://www.tmtpost.com>)

Trust-by-Design for Improving Product and Service Quality in a Multi-Branch Company: The Role of Standards, Processes, and Branch Manager Leadership

Mazey Vadim Alekseevich

Turan University, Department of Business Administration, 16a Kanysh Satpayev Street, Almaty 050013, Kazakhstan, ORCID: 0009-0002-8613-1281

Today, in an ever competitive global and local market, businesses operating multiple branches in a city or even across countries typically face a recurring challenge: service quality differs from branch to branch. While all locations share the same brand, mission, and values, it comes down to the people providing the service on each site. In reality, the written quality standards implemented in a network are often observed in a formal or sporadic rather than consistent manner and, above all, organizations lack transparency in real-time into how their service delivery actually is. Such performance impacts not only one branch, the reputational damage spreads to the brand to be perceived as part of an unreliable service network. In an age of radical information transparency and rapidly changing markets, trust and reputation are economic assets: if you trust a friend, you will not feel you are taking a massive risk, trust decreases the prospect of failure, encourages repeat sales, increases consumer retention, and increases trust in a brand for a time.

According to the commitment–trust perspective in relationship marketing, trust is one of the strongest variables through which long-lasting exchanges and sustainable organizational outcomes are formed. This study aims to create and validate a managerial model for enhancing product and service quality in a multi-branch corporation with Trust-by-Design.

Trust-by-Design is here seen not just as a slogan of communication but as the intentional and well-defined design of a predictable and reliable customer experience at the level of standards, processes, service environment, and employee behavior. Trust, from the perspective of quality management, is considered to be a quantifiable impact of a good quality system: when a service is consistently delivered, deviations are monitored and detected at the time and failures do not recur, customers feel less risk and start to desire the same results with every visit, across any segment of the network. This perspective is consistent with the view that trust results from uncertainty and a customer's willingness to be vulnerable and is based on perceived competence, benevolence, and integrity of the provider of service.

This study investigates the way quality of output of product and services are created and maintained in a multi-branch corporation composed of a single brand and a common value proposition by various teams and local supervisors. Under this organization quality is a distributed supervisory task. Headquarters can set the standards and design training materials, but quality is actually formed at the point of contact, while it is reliant on process discipline, day-to-day maintenance of standards, local norms and a manager's actions at the branch level. This is why multi-branch companies tend to experience the usual issue of variation in quality (quality varying depending on the store itself) which customers understand as uncertainty and loss of trust.

Examination of quality control in networked service formats underlies this reasoning, since service networks depend on blending audits, mystery shopping and required operational controls to ensure standards are adhered to and to minimize variance among units.

The study's methodological underpinning combines three literatures. The first domain provides a framework of trust as a mechanism that establishes a relationship between the quality of a service experience and the loyalty and long-term performance of an organization. As you see in relationship marketing, trust is treated as a fundamental condition for a stable exchange and a commitment, which renders it strategic as a resource to support service organizations.

Service research defines trust as an outcome of the service providers' behaviour which helps increase perceived value and customer loyalty, so it is perceived more commonly as a driver of purchasing behavior. In management theory trust is analyzed using models linking its formation to ability, benevolence, and integrity while emphasizing that trust cannot be separated from risk and uncertainty.

The second area is derived from service quality theory and the perception-based measure. These are based on the service quality gaps model, indicating that a discrepancy between customer expectation and perceived service quality is grounded on lack of managerial harmony internally, and served as well as SERVQUAL, which measures how the quality of service is measured. Combined with the service-profit chain logic, service quality is viewed as an influencing factor on firm performance by customer satisfaction and retention which leads to the conclusion that quality is a strategic value, not an operational product. This space is enhanced with studies on service recovery, which suggests that recovery from failure can lead to customer retention and loyalty as long as the firm addresses the root cause and makes the future service provision a little more certain. The third domain relates to the specificity of the quality management task in multi-branch structures and to the involvement of local leaders. Studies of networked service formats reveal that the quality of the service depends on organizational architecture and control mechanisms because the units vary in both motivation and execution discipline, creating a systemic risk for the brand's overall reputation. At the same time, branch-level leadership represents a major source of performance variability. Based on the empirical evidence of cross-unit environments, we can conclude that managerial orientations, trust on the part of managers in the subordinates' leadership, and the potential to establish a constructive relationship with work members contribute to unit performance.

Lastly, Trust-by-Design, as articulated in seminal literature and best practice, refers specifically to the policy of building trust into the life cycle of a product or system through means of disclosure, security, accountability, and risk governance. This reasoning applies to service operations that are conceived as systems of standards and processes which rely on trust to be built from the design of controlled and reproducible predictability. The scientific novelty of the study is to present and justify Trust-by-Design as a managerial architecture for improving product and service quality in a multi-branch company instead of as some pure communication or purely digital concept. Trust-by-Design is expressed as a quality-by-design view of service delivery and operationalized by a number of quantifiable factors: adherence to standard at the point of service, disciplining processes, employee communication quality, manageability and stability of the service environment, and recovery after a failure. In contrast to classical notions of trust as a brand, this paper treats trust as the 'measurable end product of a quality system that works' being based on predictability which implies that there is a lower perceived risk, thus the trust theory of the organization is also reflected. Also mentioned is the explanation of quality variability among branches, as explained under the managerial role of branch manager as local owner of quality.

The proposal is under consideration of the branch manager not a formal inspector of standards, but rather the primary mechanism to stabilize quality through everyday leadership practices such as feedback, coaching, performance monitoring, deviation review, and corrective actions. This leads to bridging literature on QC mechanisms in Networked formats to application improvement systems, where audits and monitoring are considered not as punishment but as a tool for continuous improvement and prevention of repetitive failures. Last but not least, the

investigation contributes to the possibility that repairing trust post-mistake must be considered an essential component of quality systems, characterized by an overall corrective measure that has to address root causes and reduce further exposure. This extends the classical view of service recovery into the logic of quality management, in which each failure is seen as a diagnostic indication for the enhancement of processes and standards, which relates to the economics of retaining a service user as articulated by the service-profit chain.

Problem statement. Multi-branch service companies often find it difficult to provide the same quality of product and service in multiple locations, despite a single brand promise, a single mission, and common procedure. In reality, such standards are often not uniformly enforced, enforced infrequently, and enforced in isolation and non-real-time from operational variance. Customers are consequently exposed to inconsistency of service results and consider variance as unpredictability, which is perceived to cause an escalation in risk and trust. Since reputations are interlinked throughout the network, a quality failure in one branch can mean the credibility and economic viability of the entire brand comes under attack.

Conventional solutions for quality management in a multi-unit arrangement focus on various compliance tools – audits, checklists, or mystery shopping, etc., are examples of this trend, but on their own, such instruments rarely translate standards into consistent day-to-day performance. Branch-level leadership behaviors and local culture determine whether the processes are performed consistently, if failures are discovered at an early stage and, in the event that an outbreak does occur, corrective actions are made as a result. This presents a managerial challenge: how do we design trust through operational architecture, turning this perceived expectation of predictability into a purposeful outcome, as opposed to an aspirational value.

Research gap. There are robust studies on organizational trust, relationship marketing, service quality measurement, and control in multi-unit and franchised networks. But these literatures rarely converge into a single managerial framework that evaluates trust as an observable consequence of a quality system in multi-branch. Trust-by-Design is typically invoked in the environments of digital, technology, and governance; multi-branch service quality studies are often concentrated on monitoring and incentive alignment than designing trust through operations. Additionally, the role of the branch manager is often understood as an aggregate catalyst for unit performance, but much less as an individual owner of quality – who builds trust through the daily structure of leadership processes, real-time management of deviations, and corrective action cycles. In spite of this, there is little guidance about how service recovery might be re-framed as quality management with the goal of root-cause elimination and recurrence, rather than being simply a compensation driven mechanism.

As a result, practitioners do not possess an implementable, evidence-based framework in which standards, processes, branch leadership, and recovery activities can correlate to trust outcomes across an entire network. This study fills this gap by developing an operationalized Trust-by-Design architecture to enhance product and service quality across multi-branch companies and establishing measurable channels from quality systems performance to customer trust.

In multi-branch service companies, quality seldom collapses overnight. More frequently it gradually deteriorates across locations. No matter which brand one has or whose standards they follow, customers start receiving different experiences depending on the branch, the shift, and the specific people on the floor that day. To the customer, this is unpredictability: one visit is spot on, and the very next one feels like it happened in a completely different company. Here, trust represents an economic asset and a threat simultaneously. A weak branch can reduce the network's value if reputation is perceived as shared. To clarify the actual character of this variability, the study included an applied work that blended the analysis of the branch level with analyzing customer and employee experiences. The report provides quarterly branch-by-branch dynamics and a comparison of branches by utilization, customer inflow, and return rates along

with the half-year service analytics blocks, guest and employee survey results, as well as a brief brand audit capturing strengths and systemic gaps. On the customer side, the research examined a guest survey dataset collected on 148 occasions between 18 June and 19 October 2025, including visit frequency, awareness channels, service element ratings, and open-ended comments. In terms of internal quality level, the analysis considered employees' perceptions of working conditions, motivation, condition of branch, communication, and managerial support and it was thus practical to link the quality of services received with the quality of on-site management. The results illustrate a common pattern of multi-branch problems that can be found in other industries, such as barbershops and hospitality. The first class relates to the physical environment and infrastructure, which as time goes on no longer meets the brand promise.

Even in a strong core service, old interior, shabby equipment, uncomfortable chairs, inadequate lighting, cramped spaces, broken small details, tiring reception areas lead to a sense of inferior service and increase irritants. In the report, it also manifests as the repetition of messages that visuals, lighting, furniture, equipment need an update at particular sites in advance, and that visually antiquated space decreases perceived service level.

The second group concerns discipline and discipline of daily execution. Standards in a network typically exist, but not deployed as a system; they have more of the role of a sidekick, doing it from time to time. This makes it look like formal compliance: the checklist is familiar but gets forgotten at peak times, simplified when people are tired, and destabilized when the administrators leave the group. We notice the same with repeated references to administrator performance, missed calls, insufficient attention to the guest at entry, and the requirement for scripts as well as training and consistent control of execution in the report.

The third category of issues concerns people management and the function of the branch leader. In various branches of a company, all the locations perform as a small business: separate culture, communication methods and energy level are there. As the owner of quality at the branch level, they manage service on a daily basis, they train the team, fix imbalances, and prevent degradation from settling out. Quality starts by having strong individuals in the shift when this role is missing or almost formal, and then breaks down into variation. In the study, I see this as indicators of burnout, an absence of focus and backing from leadership, and barbers handling parts of the administrators' work as a means to remain service-minded. The fourth group of issues relates to the "service product" on a higher level: how the network brings in money not only through the service itself, but also through add-on sales, loyalty programs, and repeated visits. When there is little or no defined bonus and reward program for regular guests, no consistent consultation and product recommendation experiences and the retail shelf and assortment is thin or unmanageable, the network becomes thinner and more dependent on traffic and individual masters. It shows up in the report as a weakness of the loyalty program, lack of benefits for regular customers, and the need to rebuild the retail offer as well as train administrators on sales and communication in the company.

Against this background, it is critical that the guest survey doesn't show a crisis, but a potential. High ratings for service elements and acknowledgement of atmosphere as a valuable element provide evidence that trust has been built, which, of course, must be protected in a systematic way. Guests explicitly value "their place," care, service, and music, while negative feedback more often mentions poor cleaning, weak staff performance, and outdated renovation. It's a typical story: Trust is most likely whittled away when the core product is particularly strong, not by the service itself but simply by repeated minor deviations of process and environment that customers interpret as neglect and unsteadiness. What is clear - perhaps with practical implications - is that small and medium-sized businesses don't have to overanalyze service audits, but that they do need to make them regular, measurable and linked to corrective actions. An audit should have two layers.

The first layer is a universal control for all branches. It considers entry and welcoming, cleanliness and condition of the environment, discipline of significant visit processes, quality communication and recommendations, adherence to service “details” and closure of the visit and justification of rebooking. The second layer is the branch’s local risks which are the pain points that most often result in deviations in that particular location, such as weak interior, cramped space, administrator turnover, schedule overload or declining loyalty, a weak retail shelf or similar. A basic early-warning system (or one which does not allow for service quality tracking in real-time) is needed that does not wait until the end of the month. You can combine three sources to accomplish that. The operational signals from booking and checkout: usage by day and hour, proportionate share of repeat visitors, proportion of newcomers, cancellations and reschedules, speed of calendar fill, revenues per guest and the administrators’ conversion through add-on sales.

The second source is instant guest feedback, where a customer receives a one-question question after every visit where they are asked one short response after the visit to see if everything was in line with expectation and a comment field for any deviation to be captured immediately. Thirdly, internal shift quality control, the branch leader records two or three observations a shift per day and one root cause(s) of a deviation that needs to be removed. It’s not about making big reports, you know, those big documents out there, but rather responding to one question each day: what today may have eroded guest trust and what do we do to prevent it from happening again? That means the improvement mechanism needs to close the audit loop, or else the control turns into punishment and the team burns out. These days, a small improvement cycle works particularly well for small-medium businesses. The branch leader reviews deviations from routine each week so they can prioritize, identify, and plan one or two changes that can realistically be implemented in less time than one week, which may include an updating of the greeting scenario, a clear ownership of the solution of cleanliness, a restitution of the beverage quality, a repair of the retail shelf or practicing a consultation script. Cross-branch calibration is performed each month: the best practices are compared, two or three service failure cases are reviewed, a common standard is agreed with both branches, and no-rule operations taking place. You still need a dedicated service recovery protocol, in which the target is not compensation based on compensation, but rather recovery of the root cause from documentation of the remedial efforts taken, and verification of the response success.

Overall main findings of the study can be summarized in the following manner. Predictability creates trust in a multi-branch business. It is not the slogans alone that provide predictability but rather quality architecture: standards have to get embedded into processes, the processes must be monitored in real-time, and the branch leader must serve as the owner of quality, stabilizing service every day through discipline, training and corrective action.

For small and medium-sized businesses, a basic service audit is a routine activity that connects with getting better: Measure the key components of the experience, catch deviations quickly, eliminate root causes and then create the new ideal so that you can go through the cycle. In reality, this is what converts Trust-by-Design from a concept into a practical way to enhance the quality of products and services in a multi-branch corporation.

References

- Morgan, R. M. and Hunt, S. D. (1994), "The Commitment-Trust Theory of Relationship Marketing", *Journal of Marketing*, 58 (3), pp. 20–38 [Online], available at the full-text PDF: <https://eli.johogo.com/Class/Morgan.pdf>. (Accessed 30.04.2026).
- Mayer, R. C., Davis, J. H. and Schoorman, F. D. (1995), "An Integrative Model of Organizational Trust", *Academy of Management Review*, 20 (3), pp. 709–734 [Online], available at the full-text PDF: https://makinggood.ac.nz/media/1270/mayeretal_1995_organizationaltrust.pdf. (Accessed 30.04.2026).
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A. and Berry, L. L. (1988), "SERVQUAL: A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality", *Journal of Retailing*, 64 (1), pp. 12–40 [Online], available at the full-text PDF: https://www.researchgate.net/publication/225083802_SERVQUAL_A_multiple-Item_Scale_for_measuring_consumer_perceptions_of_service_quality. (Accessed 30.04.2026).
- Sánchez Gómez, R., Suárez-González, I. and Vázquez Suárez, L. (2011), "Service quality control mechanisms in franchise networks", *The Service Industries Journal*, 31 (5), pp. 713–723 [Online], available at the full-text PDF. (Accessed 30.04.2026). <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/02642060902833338>
- Ferraris, D., Fernandez-Gago, C. and Lopez, J. (2018), "A Trust-by-Design Framework for the Internet of Things", in *2018 9th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)* [Online], available at the full-text PDF. <https://www.nics.uma.es/pub/papers/1684.pdf> (Accessed 30.04.2026)

CNPC PROCUREMENT COST MANAGEMENT IN THE CONTEXT OF SUPPLY DISRUPTIONS

Liang Chen

Al Farabi Kazakh National university, Al Farabi business school, 2nd year Doctoral Student

Koshkina Olga

PhD, associate professor, University of International Business

Imyarova Zulfiya

DBA.PhD, associate professor, KIMEP University

Introduction

In the context of globalization and instability in supply chains, procurement cost management is becoming a key factor in improving the efficiency of large oil and gas companies. The China National Petroleum Corporation (CNPC) is faced with the need to optimize procurement activities, minimize financial losses and ensure the continuity of the production process in the face of periodic supply disruptions.

The relevance of the study is due to the fact that supply disruptions negatively affect the sustainability of production operations, increase costs and create the risk of failure to achieve the company's strategic goals.

The purpose of this study is to develop an effective CNPC procurement cost management model, taking into account possible supply disruptions and risks associated with external and internal factors. To achieve this goal, the following tasks were set:

As part of this study, it is necessary to analyze existing approaches to procurement management in large oil and gas companies. During the analysis, it is necessary to identify the advantages and limitations of each approach.

It is also necessary to investigate the impact of supply disruptions on CNPC procurement costs. As a result of the study, it is necessary to identify the key risk factors associated with supply disruptions.

Based on the data obtained, it is necessary to develop recommendations for optimizing the company's procurement strategy, taking into account possible supply disruptions.

Next, it is necessary to evaluate the economic effectiveness of the proposed measures and their impact on reducing procurement costs.

The purpose of the study is to develop recommendations for optimizing CNPC procurement cost management in the context of possible supply disruptions. Recommendations should be aimed at minimizing financial losses and ensuring the sustainability of production processes.

The theoretical significance of the research lies in the systematization of knowledge about approaches to procurement management in conditions of uncertainty and the expansion of existing supply chain management concepts in relation to the oil and gas industry. The practical significance of the work lies in the possibility of applying the developed recommendations to reduce costs, increase the sustainability of production processes and improve procurement planning in conditions of market instability.

The scientific novelty of the research lies in a comprehensive analysis of procurement costs, taking into account supply disruptions, which allows us to propose an integrated procurement management model that takes into account risk factors, uncertainties and the

specifics of the Chinese oil and gas industry. The work uses modern methods of cost analysis, risk assessment and optimization of procurement activities, which ensures the novelty of the approach and the practical applicability of the results.

Thus, the results of the study make it possible not only to identify the main problems of procurement management in the context of supply disruptions, but also to propose specific cost optimization measures that contribute to improving the efficiency of CNPC and ensuring the stability of the company's production processes.

Literature review

Modern scientific works pay special attention to controlling procurement costs and ensuring the reliability of logistics chains in the face of external and internal challenges such as supply disruptions, geopolitical tensions and technological innovations.

The article by Liu, X., Wang, X., Wu, Z., Xie, M. discusses the problems of global supply chain management[1]. The authors draw attention to how geopolitical conflicts, trade disputes, and natural disasters affect the sustainability of supply chains. They emphasize the need for strategic resilience and adaptability to improve management effectiveness. It is also proposed to use digital technologies to increase transparency and quick response to supply disruptions.

The article by Gong J. analyzes the optimization of procurement costs in global supply chains using artificial intelligence (AI)[2]. The paper examines the problems of traditional procurement management, such as low efficiency of supplier selection, weak risk management system and insufficient accuracy of price forecasting. The use of artificial intelligence is proposed as a tool to improve procurement efficiency and reduce costs.

In their article, Durugbo, C. M. and Al-Balushi, Z. present the results of a systematic analysis of research on supply chain management in crisis situations. Among such situations, the authors consider pandemics, supply disruptions, and other emergencies[3].

The analysis shows that for supply chains to function effectively, special attention must be paid to managing supply-side risks, as well as responding promptly to emerging issues and ensuring data transparency in the chain.

In their work, Tian and Cui show how digitalization affects the stability of logistics chains, making them more efficient[4]. This is done by improving data processing, speeding up the response to changes, and optimizing product accounting processes.

The authors emphasize that digital technologies are becoming a key tool in combating supply disruptions and optimizing procurement costs.

As a result of the analysis of scientific papers, it becomes clear that in conditions of instability, procurement costs are rising, traditional procurement models are not flexible, risk management and digitalization are not sufficiently developed.

The literature review forms the theoretical basis of the research. It allows you to identify key concepts such as supply chain sustainability, strategic procurement management, digitalization and risk management as the main elements of the analysis.

A review of the literature substantiates the need to study procurement cost management in the context of supply disruptions. He also identifies existing scientific gaps related to the integration of digital tools and adaptive models specifically in the oil and gas industry. The literature review sets methodological guidelines for the development of a practice-oriented model for optimizing the company's procurement activities.

Research methodology

As part of the research on the topic, the comparative analysis method was applied, which is simpler and more visual. This method is based on comparing the indicators of procurement costs in different periods: before the occurrence of supply disruptions, during their active manifestation and after the stabilization of the situation.

The applicability of the method is due to the fact that it allows you to identify the dynamics of cost changes, identify deviations from planned targets and establish which elements of procurement activities (logistics, raw materials, equipment, contractor services) turned out to be the most sensitive to failures.

Comparative analysis does not require complex mathematical models, but at the same time provides an objective assessment of the impact of disruptions on the structure and volume of procurement costs. This makes it an effective tool for the primary economic justification of management decisions.

The following materials were used in the study: CNPC's financial statements for several reporting periods, data on the structure of procurement costs by main categories, information on delivery dates and recorded delays, as well as the company's internal reports on the execution of contracts with suppliers.

Additionally, industry statistics were used to compare CNPC cost dynamics with industry-wide trends. The use of these materials made it possible to make a visual comparison and identify patterns of changes in procurement costs in the context of supply disruptions.

Results and discussion

A comparison of CNPC's financial results for the period from 2022 to 2024 identified trends in key economic indicators that demonstrate the impact on procurement costs and operating expenses.

Although there is no direct data on procurement costs in open sources, changes in net profit, gross profit, and operating income can serve as an indirect indicator of the impact of external factors (such as supply disruptions, rising prices for raw materials, and logistics services) on a company's cost structure(table 1).

Table 1 – CNPC Financial Results (2022–2024)

Indicator	2022	2023	2024
Operating Revenue, billion yuan	3,160.8	3,400.0	3,400.0
Gross Profit, billion yuan	2,807.3	288.0	301.0
Net Profit, billion yuan	398.0	530.5	531.1
Note	Key operating financial indicators	Data from official financial reports of the Russian Federation and CNPC	2024 data according to the corporate report

The source was compiled by the author

CNPC's operating revenues demonstrated stability and growth during the period 2023-2024, reflecting the company's ability to maintain its operational scale despite external challenges, such as changes in supply structures and logistics costs. Gross profit saw a relative decrease between 2023 and 2024, possibly due to rising procurement and operating expenses resulting from raw material price volatility, increased logistics costs, and potential supply disruptions. Despite this, net profit remained relatively stable, indicating that CNPC has the financial flexibility to offset increased expenses through effective management of other revenue streams.

The data and analysis suggest that despite external pressure, CNPC continues to maintain financial resilience. Nevertheless, the observed slowdown in gross profit growth highlights the impact of risks related to supply chain and procurement expenses.

Conclusion

The study suggests that the key idea of the article is to consider procurement cost management as a strategic tool to ensure the stability of CNPC in the face of possible supply problems.

The study shows that even while maintaining a stable level of operating profit, rising costs and fluctuations in gross profit indicate a high sensitivity of the procurement system to external risks such as logistical problems, price fluctuations and geopolitical constraints.

This means that effective procurement management is no longer just an operational task and is becoming an important element of the corporate strategy and risk management system.

In the context of the study, this implies that optimizing procurement costs should be considered not only as a way to save money, but also as a tool to increase the stability of the entire supply chain.

The article helps to understand that for effective procurement management it is necessary to use comparative analysis, scenario planning, supplier diversification and digital tools. This allows us to consider procurement activities as a complex system that directly affects the financial results and competitiveness of the company.

In the future, research in this area will focus on closer integration of digital technologies such as big data, artificial intelligence, and automated forecasting systems. It is also planned to develop flexible procurement planning models and create hybrid supplier management strategies in conditions of high uncertainty.

A promising area is the quantitative assessment of the stability of the procurement system and the modeling of various crisis scenarios.

Overall, further research will contribute to the creation of sustainable, digitally-oriented and risk-adjusted procurement cost management models in large oil and gas corporations, including CNPC.

References

1. Liu, X. Challenges and opportunities in global supply chain management: a literature review / X. Liu, X. Wang, Z. Wu, M. Xie // *Advances in Economics, Management and Political Sciences*. – 2025. – Vol. 213. – P. 144–153.
2. Gong J. A Literature Review on Global Supply Chain Procurement Cost Optimization in the Context of AI// *Advances in Economics Management and Political Sciences*. – 2025. – Vol. 199. – № 1. – P.28-35
3. Durugbo C. M., Al-Balushi Z. Supply chain management in times of crisis: a systematic review // *Management Review Quarterly*. – 2023. – T. 73. – №. 3. – P. 1179-1235.
4. Tian, L. Cui // *Humanities and Social Sciences Communications*. – 2025. – Vol. 12. – P. 1738. – DOI: 10.1057/s41599-025-06011-3.

Global Value Chain Embeddedness and Structural Dilemmas: A Study on the Transformation of Kazakhstan's International Trade Landscape under the Belt and Road Initiative

Ruan Diyun

PHD in Economics, student, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan

Scientific supervisor :

Kalieva Assem Yermekovna

Abstract

As a pivotal landlocked economy in Central Asia, Kazakhstan occupies a strategic yet vulnerable position within the global value chain (GVC) division of labor system. Despite its abundant endowments of oil, natural gas, and strategic minerals, the country confronts a quartet of interconnected structural dilemmas: a persistently low GVC positioning characterized by dominance in upstream raw material supply, a rigid industrial structure heavily skewed toward extractive sectors, elevated trade dependence concentrated in a narrow band of commodity exports, and inadequate institutional adaptability to evolving multilateral trade rules and green standards. Against the backdrop of accelerating geopolitical fragmentation, supply chain regionalization, and the recalibration of Eurasian trade corridors, embedding deeper into the Belt and Road Initiative (BRI) regional value chain has emerged as an urgent strategic imperative for Kazakhstan's transformation from a peripheral resource supplier into a more integrated trading power. This study systematically examines the evolution of Kazakhstan's GVC role and its structural predicaments under the BRI framework, employing a mixed-methods approach that integrates qualitative policy analysis with quantitative trade econometrics. Drawing upon bilateral cooperation documents, UN Comtrade statistics, UIBE GVC Index databases, and World Bank development indicators, the research centers on three interconnected thematic clusters: industrial upgrading trajectories and sectoral diversification potential, the causal impacts of BRI infrastructure and investment projects on trade cost reduction and GVC participation, and the institutional and technological barriers impeding structural transformation. Empirical findings reveal that Kazakhstan is cautiously transitioning from pure resource exports toward modular manufacturing participation, particularly in automotive assembly, petrochemical downstream processing, and agricultural value-added segments. However, this transition remains structurally constrained by entrenched external technological dependence, shallow local innovation ecosystems, and weak backward linkage formation, which collectively hinder a decisive breakthrough from the "low-end lock-in" trap. Theoretically, this research extends GVC growth theories by introducing a "resource-based latecomer upgrading" framework that synthesizes infrastructure-led integration, institutional distance mediation, and technological absorption capacity. Policy insights derived from this analysis offer actionable recommendations for Kazakhstan and fellow Belt and Road countries regarding industrial policy formulation, international coordination mechanisms, domestic regulatory reform, and green transition governance.

1. Introduction

Over the past few decades, the global value chain (GVC) has profoundly reshaped the world economy. Intermediate goods trade has grown twice as fast as final goods trade, surging sixfold between 1990 and 2020 to account for over 60% of global trade, becoming the core path for developing countries to integrate into the international division of labor, acquire technology, and upgrade industries. However, overlapping shocks—including the 2008 financial crisis, COVID-19 pandemic, geopolitical conflicts, and climate risks—have reversed the value chain fragmentation logic of the "hyper-globalization" era [1]. Europe and the U.S. have promoted on-shore/near-shore outsourcing, while regional trade agreements (RTAs) have increased intra-regional procurement density in North America and the EU. "World factories" like China now face "double decoupling" pressures: simultaneous shrinkage of intermediate goods supply and final goods demand [2].

The latest data show that the global value chain still accounts for 46.3% of global trade flows. Its resilience lies in the new triangular balance of digitization, regionalization and safe production links. It has not disappeared. Instead, it has been reorganized at both ends of the value chain under the geopolitical risk premium, returning to the initial element sector and moving closer to the terminal consumer market, resulting in a simultaneous decline in the upstream and downstream link index; In unprecedented global changes, the differences in market size, development level and productivity of various countries determine their asymmetric vulnerability in the reorganization of the global value chain, and the Belt and Road Initiative (BRI) countries, especially Kazakhstan, are in the "geographic redefinition" [3]. "The core: they not only shoulder the strategic task of bypassing sanctions barriers and rebuilding the Eurasian intermediate trade corridor, but also face structural dilemmas such as increased competition from large countries, industrial chain migration, and stricter green rules. In this context, China's 2013 "Belt and Road Initiative" centered on the "five links" has deeply affected the reshaping of the global value chain: through large-scale infrastructure investment, the trade costs of the "belt and Road" countries have been significantly reduced [4], the transportation cycle has been shortened, and the opportunity has been created for their deep integration into the global production network. Kazakhstan is the country with the largest territory and economy in Central Asia. It has a prominent strategic hub position under the framework of the "Belt and Road"—it is located in the hinterland of Eurasia and is the core land route connecting the Central European market. It is known as the gateway to the "Silk Road Economic Belt". Relying on rich oil, natural gas and mineral resources, it occupies an important position in the global energy market.; However, its high dependence on resource exports makes it a typical "Dutch disease": the prosperity of the energy sector inhibits the development of non-resource industries, resulting in a single economic structure and vulnerable to commodity price fluctuations. Therefore, achieving economic diversification, promoting industrial upgrading and getting rid of energy dependence are Kazakhstan's long-term strategic goals, and the "Belt and Road" provides it with a historic opportunity to use its geographical and resource advantages to attract foreign technology investment and develop non-resource industries, thereby enhancing its GVC status [5].

The core goal of this research is to systematically analyze the "Belt and Road"-driven transformation of Kazakhstan's international trade model, focusing on the evolution of its global value chain role, industrial upgrading path and structural dilemmas. Specifically, this study examines the evolution trajectory of Kazakhstan's GVC positioning under the BRI framework, analyzing the internal logic of its transformation from traditional energy and raw material suppliers to multiple production link participants, evaluating the risks and upgrading potential of its value chain location, and deconstructing the driving mechanism behind the World Bank's projection of a 3.7% increase in Kazakhstan's total exports, with more significant growth anticipated in time-sensitive commodities [5]. Second, this research explores the specific modalities and core bottlenecks of Kazakhstan's industrial upgrading through BRI cooperation, identifying the sectoral

pathways through which infrastructure connectivity, foreign direct investment, and technology transfer can foster backward participation in manufacturing GVCs. Third, this study analyzes Kazakhstan's dual structural dilemmas: on the one hand, the risk of "low-end lock-in" within the global value chain, whereby industries may remain confined to low value-added segments with core technologies and brands perpetually controlled by foreign lead firms; on the other hand, the systemic impact of energy dependence on macroeconomic policy autonomy, financial stability, and bargaining power within GVC governance structures. Concurrently, this research investigates whether energy sector revenues can be effectively channeled into non-energy sectors under the BRI framework to break the "resource curse" and achieve structural economic transformation.

The academic significance of this study resides in its attempt to bridge three interconnected theoretical gaps. First, while the GVC literature has extensively documented the "smile curve" dynamics and captive governance structures facing developing economies, relatively scant attention has been paid to the specific challenges confronting resource-rich, landlocked post-Soviet states navigating simultaneous transitions from plan to market and from periphery to semi-periphery in the global economy. Second, existing BRI impact assessments predominantly rely on aggregate trade flow analyses or Chinese firm-level perspectives, neglecting the recipient country's structural conditions, institutional capacity, and sectoral absorption potential. Third, the resource curse literature and GVC upgrading literature have evolved largely in parallel, with insufficient theoretical integration regarding how commodity-dependent economies can leverage infrastructure-led regional integration to foster manufacturing diversification and technological catch-up. By synthesizing these strands, this paper constructs an analytical framework of "geographic-structural-institutional" co-evolution, offering a nuanced account of how Kazakhstan's GVC embeddedness is simultaneously enabled and constrained by its resource endowments, spatial positioning, and institutional adaptability.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 presents a comprehensive literature review, critically synthesizing three bodies of scholarship: bilateral trade complementarity studies, BRI macro-impact evaluations, and GVC positioning measurements. Section 3 outlines the research methodology, detailing the mixed-methods design, data sources, and analytical techniques employed. Section 4 presents empirical findings on Kazakhstan's GVC participation patterns, trade structure evolution, and BRI project impacts. Section 5 discusses the implications of these findings for theory and policy. Section 6 concludes with a summary of contributions, limitations, and directions for future research.

2. Literature Review

The scholarly literature addressing Kazakhstan's GVC embeddedness and structural transformation under the BRI framework spans multiple disciplinary boundaries, encompassing international trade theory, development economics, regional integration studies, and resource curse economics. This review systematically synthesizes four interconnected strands of research--GVC theory and resource-based economy upgrading, BRI and regional value chain reconfiguration, Kazakhstan's trade structure and bilateral complementarity, and the institutional-technological governance of value chain participation--before identifying the specific theoretical lacunae this study seeks to address. By mapping the intellectual terrain across these domains, the review establishes both the analytical foundations and the necessary departure points for the empirical investigation that follows.

2.1 GVC Theory and Resource-Based Economy Upgrading

The foundational literature on global value chains, originating in the world-systems and commodity chain traditions, has evolved into a sophisticated analytical apparatus for understanding cross-border production fragmentation and developmental upgrading trajectories. Gereffi, Humphrey, and Sturgeon (2005) established the canonical typology of GVC governance structures--market, modular, relational, captive, and hierarchy--providing a crucial framework for

analyzing how power asymmetries between lead firms and suppliers shape the distribution of value-added and the feasibility of industrial upgrading. For resource-based developing economies, this framework carries particular salience: the extraction and primary processing of commodities typically corresponds to "captive" governance structures, wherein multinational corporations control technology, standards, and market access, constraining local firms to low-margin, low-skill segments of the production process.

The "smile curve" hypothesis, articulated by Mudambi (2008) and subsequently refined by Baldwin (2016), posits that value capture is concentrated in pre-production activities (R&D, design, branding) and post-production activities (marketing, logistics, after-sales services), while manufacturing and assembly occupy the trough of value creation. For Kazakhstan, whose exports are predominantly concentrated in upstream raw material supply (crude oil, copper, zinc, and ferroalloys), this theoretical mapping suggests a "double-remote" positioning: simultaneously distant from both high-value upstream design and downstream consumer market proximity. Humphrey and Schmitz (2002) identified four upgrading pathways--process, product, functional, and chain upgrading--but noted that captive governance severely constrains the latter two, which offer the most significant developmental payoffs.

The resource curse literature provides a complementary lens for understanding Kazakhstan's structural constraints. Auty (1993) and Sachs and Warner (1995) established the canonical finding that economies heavily dependent on primary commodity exports tend to experience slower long-term growth, attributed to exchange rate appreciation damaging manufacturing competitiveness, revenue volatility undermining fiscal planning, and rent-seeking behavior distorting institutional development. More recent contributions by Frankel (2012) and Ross (2015) have nuanced this narrative, identifying "institutional quality" and "absorptive capacity" as critical mediating variables. Kazakhstan's experience exemplifies these dynamics: despite implementing ambitious industrial diversification programs since independence (notably the "Kazakhstan-2050" strategy and subsequent Nurly Zhol infrastructure plans), manufacturing's share of GDP has remained stubbornly below 12%, and the non-oil export base remains narrow and shallow. The critical question, therefore, is whether BRI-induced infrastructure connectivity and FDI inflows can alter the structural parameters of the resource curse by reducing trade costs, expanding manufacturing backward linkages, and fostering technological spillovers.

2.2 BRI and Regional Value Chain Reconfiguration

The Belt and Road Initiative, launched by China in 2013 as a transcontinental infrastructure and investment program, has generated a substantial and rapidly expanding academic literature. Early assessments, including those by Huang (2016) and Lin (2015), conceptualized the BRI primarily through the lens of infrastructure-led development, drawing parallels with the "flying geese" model of sequential industrial transfer from advanced to developing economies. These optimistic framings emphasized the potential for connectivity investments to unlock geographic constraints, reduce trade costs, and facilitate the integration of landlocked economies into regional and global production networks.

Quantitative impact assessments have employed diverse methodological approaches to evaluate BRI effects. Sun Churen (2017) and Bu Jingjing (2018) utilized difference-in-differences (DID) frameworks to demonstrate statistically significant export promotion effects for Chinese provinces and firms participating in BRI projects, though these studies predominantly adopted Chinese-centric perspectives with limited attention to recipient-country structural outcomes. Wang, Si, and Chen (2024) advanced this literature by employing value-added trade data from the WIOD and TiVA databases, finding that BRI participation enhanced both forward and backward GVC linkages for countries along the route, though with substantial heterogeneity across resource endowments and institutional environments. Zhang (2020) utilized panel data spanning 2000-2014 to identify a positive correlation between BRI infrastructure investment and GVC position

upgrading, particularly for economies with moderate initial industrial complexity.

For Central Asia specifically, the literature has documented significant infrastructure connectivity achievements. Brauweiler and Yerimpasheva (2022) analyzed the development of Kazakhstani logistics corridors within the BRI, identifying substantial reductions in transit times and logistics costs along the Khorgos-gateway routes, but cautioning that institutional barriers--customs harmonization, regulatory transparency, and cross-border trade facilitation--remain persistent constraints. Kydyrbek et al. (2025) examined the alignment of BRI projects with UN Sustainable Development Goals in Kazakhstan, finding that while infrastructure investments score positively on economic growth indicators, their environmental and social governance performance remains uneven. Lee (2022) situated these developments within broader Asian trade linkage shifts, arguing that the BRI is accelerating a reorientation of Eurasian trade flows from trans-Atlantic to intra-Asian and intra-Eurasian channels, though the depth of value chain integration remains shallower than quantitative trade volumes might suggest.

2.3 Kazakhstan's Trade Structure, Bilateral Complementarity, and GVC Positioning

The empirical literature on Kazakhstan's trade structure and its bilateral economic relationship with China has produced a robust body of findings, though with notable methodological and conceptual limitations. Zhu Yinnan (2021) and Ma Ji et al. (2016) employed Revealed Comparative Advantage (RCA) and Trade Complementarity Index (TCI) methodologies to confirm strong structural complementarity between China and Kazakhstan in commodity composition. Their analyses demonstrated that Kazakhstan's resource-intensive export basket aligns closely with China's import demands for energy and raw materials, while China's manufactured goods exports correspond to Kazakhstan's consumption and investment requirements. However, a critical methodological limitation pervades this literature: most studies aggregate Central Asian economies into a homogeneous regional bloc, thereby obscuring Kazakhstan's country-specific heterogeneity in the resource-manufacturing-services ternary structure. This aggregation bias masks critical intra-regional variations in industrial capacity, institutional quality, and absorptive potential that fundamentally condition GVC integration prospects.

Ren Hua et al. (2017) advanced this literature by introducing industrial structure adaptability as a mediating variable determining whether complementary trade potential translates into actual GVC integration. Their econometric analysis suggested that without adequate manufacturing depth and technological absorption capacity, bilateral complementarity risks degenerating into pure inter-industry resource-for-manufactures exchange rather than fostering intra-industry learning and upgrading. Notably, however, the regulatory effects of institutional distance--encompassing legal system divergence, regulatory standard heterogeneity, and bureaucratic procedural friction--remain insufficiently theorized and empirically tested. Furthermore, the emergence of digital trade platforms, e-commerce logistics corridors, and cross-border service outsourcing represents a rapidly evolving dimension of China-Kazakhstan economic linkages that existing complementarity indices fail to capture.

On GVC measurement specifically, Akhtanova (2019) provided a landmark contribution by documenting the extreme imbalance in Kazakhstan's GVC participation profile: forward participation (FPR) approximating 80% and backward participation (BPR) reaching merely 6%, indicating that Kazakhstan predominantly contributes raw material inputs to other countries' export production while importing minimal foreign value-added for its own exports. This asymmetrical positioning represents a classic "resource periphery" configuration within the global division of labor. The OECD (2017) and Asian Development Bank (2017) reports subsequently identified Dutch disease symptoms and innovation policy fragmentation as key structural obstacles, though their diagnoses remained confined to macroeconomic aggregates without penetrating the meso-level industrial dynamics or micro-level firm capabilities that collectively

determine upgrading feasibility. The upstreamness and downstreamness indices developed by Antras and Chor (2013) have been widely adopted to characterize value chain position, yet their application to resource-based economies reveals a methodological blind spot: these indices struggle to capture the "double-remote" dilemma wherein resource exporters are simultaneously distant from both high-value design and branding upstream activities and consumer-proximate downstream marketing and distribution functions.

2.4 Technological Spillovers, Institutional Quality, and GVC Governance

A growing body of research has examined the conditions under which FDI and international infrastructure projects generate positive technological spillovers for host-country firms, with mixed and context-dependent findings. The seminal contributions by Blomstrom and Kokko (1998) and Javorcik (2004) established that spillover effects are neither automatic nor uniform; they depend critically on the technological gap between foreign and domestic firms, the absorptive capacity of local suppliers, and the nature of backward linkage requirements imposed by multinational buyers. For Kazakhstan, Wang Peizhi (2018) and Sui Guangjun (2017) demonstrated that FDI location decisions are heavily influenced by resource endowments and institutional quality metrics, including regulatory transparency, property rights protection, and bureaucratic efficiency. However, their analyses did not systematically address the "capture effects" whereby multinational corporations, through proprietary technology control and strict quality standards, may suppress rather than stimulate the autonomous upgrading of local value chain participants.

The institutional economics literature, particularly the work of North (1990), Acemoglu and Robinson (2012), and Rodrik (2008), emphasizes that effective economic transformation requires not merely factor accumulation but institutional arrangements that incentivize productive activity over rent extraction. For Kazakhstan, this perspective illuminates why substantial infrastructure investment and FDI inflows have generated limited structural transformation: the institutional ecosystem--encompassing education and vocational training systems, research and development incentives, intellectual property protection, and inter-firm collaboration networks--has not evolved commensurately with physical capital accumulation. Taguchi and Lar (2024) introduced the concept of "servicification" in GVCs, documenting how emerging Asian economies are increasingly integrating service functions (logistics, finance, digital platforms) into manufacturing value chains. This framework offers valuable insights for Kazakhstan, where service sector development--particularly transport, logistics, and financial services associated with the BRI corridor--may represent a more feasible upgrading pathway than direct manufacturing competitiveness against established East Asian producers.

2.5 Research Gaps and Contribution

Synthesizing the reviewed literature reveals four interconnected theoretical and empirical gaps that motivate the present study. First, the mainstream GVC literature offers compelling explanations for the "static lock-in" of resource-based economies but fails to illuminate the dynamic boundary conditions of "lock-in versus upgrading" under the impact of large-scale infrastructure-led regional integration initiatives. The BRI represents a structurally distinct shock compared to conventional trade liberalization or bilateral investment treaties: its bundled provision of physical infrastructure, financing mechanisms, and diplomatic coordination may alter the foundational parameters of trade cost, market access, and technology transfer in ways that existing GVC models do not fully capture. Second, the BRI impact assessment literature provides abundant evidence of trade flow expansion and infrastructure connectivity but lacks systematic analysis of the micro-level pathways through which these macro-level changes translate into firm-level capability accumulation and sectoral upgrading.

Third, the bilateral complementarity literature treats Kazakhstan predominantly as a homogeneous resource supplier, neglecting emerging heterogeneity in manufacturing and services participation and the potential for modular production integration in specific sectors such

as automotive components, agricultural processing, and petrochemical derivatives. Fourth, the technological spillover and institutional quality literatures have evolved largely independently from GVC positioning studies, resulting in insufficient theoretical integration regarding how governance structures, absorptive capacity, and institutional distance jointly determine upgrading trajectories. This study addresses these lacunae by integrating macro-policy, meso-industrial, and micro-firm dimensional data to construct an empirically verifiable analytical framework of "infrastructure connectivity--trade cost reduction--intermediate import expansion--backward participation enhancement," while evaluating the regulatory effects of technology spillovers, green transition rules, and geopolitical competitive dynamics. By centering Kazakhstan's specific structural conditions within this multidimensional framework, the research aspires to make both theoretical contributions to GVC upgrading theory for resource-based latecomers and policy-relevant insights for Kazakhstan and comparable Belt and Road economies.

3. Methodology

This study employs a mixed-methods research design that integrates qualitative policy analysis with quantitative trade econometrics. The methodological approach is necessitated by the multilevel nature of the research questions, which span macro-level trade structure evolution, meso-level industrial sector dynamics, and micro-level firm capability accumulation. By combining descriptive statistical analysis, index-based measurement, and inferential econometrics with qualitative document analysis, the research aims to provide both empirical robustness and contextual depth in understanding Kazakhstan's GVC transformation under the BRI framework.

3.1 Research Design and Analytical Framework

The overarching analytical framework conceptualizes Kazakhstan's GVC upgrading as a mediated process operating across three interconnected layers. At the macro-policy layer, BRI infrastructure investment and bilateral institutional arrangements alter the parameters of trade costs, transit times, and market access. At the meso-industrial layer, these altered parameters reshape sectoral competitiveness, FDI flows, and intermediate goods trade patterns. At the micro-firm layer, changed industrial conditions interact with absorptive capacity, technological learning, and human capital development to determine whether structural opportunities translate into sustained capability upgrading. This framework synthesizes insights from GVC governance theory (Gereffi, Humphrey, and Sturgeon, 2005), new economic geography (Krugman, 1991; Baldwin, 2016), and the resource curse literature (Auty, 1993; Ross, 2015) to generate testable hypotheses regarding the conditions under which infrastructure-led integration fosters genuine structural transformation rather than reinforcing extant commodity dependence.

The research design follows an explanatory sequential structure: first establishing descriptive patterns through trade data analysis and GVC index computation, then subjecting key relationships to econometric testing, and finally contextualizing quantitative findings through qualitative assessment of policy documents and bilateral cooperation agreements. This triangulated approach mitigates the limitations of any single method while enabling cross-validation across data sources and analytical techniques.

3.2 Data Sources

The quantitative analysis draws upon multiple internationally recognized databases to ensure data reliability and cross-source validation. Bilateral trade statistics are sourced from the UN Comtrade Database (HS 6-digit classification, 2000-2023), providing comprehensive coverage of Kazakhstan's merchandise trade flows with China and other major partner economies. Value-added trade data are extracted from the OECD-WTO Trade in Value Added (TiVA) Database and the UIBE GVC Index Database, enabling the decomposition of gross export values into domestic and foreign value-added components and the computation of GVC participation indices. Macroeconomic and institutional indicators are obtained from the World Bank World Development Indicators (WDI), the IMF Direction of Trade Statistics, and the Worldwide

Governance Indicators (WGI) dataset. Infrastructure and logistics data, including transit times, port handling efficiency, and customs clearance durations, are drawn from the World Bank Logistics Performance Index (LPI) and Doing Business historical archives.

The qualitative component utilizes primary and secondary documentary sources. Bilateral cooperation agreements, joint communiques, and memoranda of understanding between China and Kazakhstan (2013-2024) are systematically collected from official government portals and the Belt and Road Portal maintained by China's National Development and Reform Commission. Kazakhstan's national development strategies—including Kazakhstan-2050, Nurly Zhol, and successive industrialization programs—are analyzed to identify evolving policy priorities and implementation mechanisms. Additionally, OECD, ADB, and EBRD country economic reports provide external diagnostic assessments that complement domestic policy narratives.

3.3 Analytical Methods

Descriptive analysis encompasses the computation of standard trade indices and GVC metrics. Revealed Comparative Advantage (RCA) indices, following Balassa (1965), are calculated to identify Kazakhstan's sectoral specialization patterns and their evolution over time. The Trade Complementarity Index (TCI) is computed to quantify the structural alignment between Kazakhstan's export supply and China's import demand across product categories. GVC participation indices follow the OECD-WTO methodology: forward participation (FPR) measuring the share of domestic value-added embodied in third-country exports, and backward participation (BPR) capturing the share of foreign value-added in domestic exports. The GVC position index, defined as the logarithmic ratio of FPR to BPR, provides a summary indicator of upstream versus downstream positioning. Additionally, the upstreamness index proposed by Antras and Chor (2013) is computed to measure the average distance of Kazakhstan's exports from final consumption.

Econometric analysis employs panel data techniques to evaluate causal relationships. Fixed-effects and random-effects models are estimated to examine the determinants of GVC participation and positioning, with particular attention to the impacts of BRI infrastructure investment, institutional quality, and human capital indicators. Difference-in-differences (DID) specifications are considered to assess the treatment effects of BRI project commencement on bilateral trade volumes and value-added trade composition, utilizing the phased rollout of major infrastructure projects (notably the Khorgos dry port, the Western Europe-Western China highway, and the Astana Light Rail) as natural experiment timing. Instrumental variable approaches are explored to address potential endogeneity between infrastructure investment and trade outcomes, using geographic distance to planned corridor routes as an exclusion restriction. All econometric specifications are subjected to robustness checks encompassing alternative model specifications, sub-sample analyses, and placebo tests.

Qualitative document analysis follows a structured thematic coding procedure. Policy documents and bilateral agreements are systematically coded across dimensions including sectoral prioritization, technology transfer provisions, local content requirements, environmental safeguards, and dispute resolution mechanisms. This coding enables the identification of policy intent patterns, implementation gap areas, and evolving diplomatic priorities in China-Kazakhstan economic cooperation. The qualitative findings are integrated with quantitative results through a sequential explanatory logic: econometric associations are interpreted and contextualized through the policy narrative analysis, while documentary evidence provides mechanism-based explanations for statistically identified relationships.

4. Data Analysis and Findings

This section presents the empirical findings derived from the multi-source data analysis. The presentation proceeds from descriptive trade structure patterns to GVC index measurements, and finally to econometric estimates of BRI impact effects. Together, these analytical layers

construct a comprehensive empirical portrait of Kazakhstan's GVC embeddedness and its evolution under the BRI framework.

4.1 Descriptive Analysis of Trade Structure

Kazakhstan's trade structure exhibits pronounced resource concentration and limited diversification. Between 2000 and 2023, mineral fuels and related materials consistently accounted for 58-78% of total merchandise exports, with crude petroleum and refined oil products comprising the dominant share. Metals and metal products contributed an additional 15-20%, leaving manufacturing exports—including machinery, transport equipment, and consumer goods—at persistently marginal levels, typically below 7% of total exports. This composition reflects both natural endowment advantages and the structural atrophy of Soviet-era manufacturing capacities during the transition period.

China emerged as Kazakhstan's largest trading partner, with bilateral trade volumes expanding from approximately \$1.2 billion in 2000 to over \$24 billion by 2022. However, the structural asymmetry of this relationship is striking: Kazakhstan's exports to China remain overwhelmingly concentrated in crude oil, copper ores, and ferroalloys, while China's exports to Kazakhstan span a diversified spectrum of machinery, electronics, textiles, and consumer manufactures. The Revealed Comparative Advantage indices confirm this divergence: Kazakhstan maintains strong RCA values exceeding 4.0 in petroleum, copper, and zinc categories, but registers values below 0.3 in machinery, precision instruments, and automotive products. The Trade Complementarity Index between Kazakhstan and China reached 62.3 in 2022, indicating substantial potential for bilateral trade expansion, yet the structural composition of complementarity remains heavily skewed toward resource-for-manufactures exchange rather than intra-industry or technology-intensive trade.

Temporal trend analysis reveals modest signs of structural evolution. Between 2013 (BRI launch) and 2023, Kazakhstan's non-oil export share increased from 18.4% to 24.7% of total merchandise exports, with agricultural products (particularly wheat and oilseeds) and processed metals contributing most significantly to this shift. The number of HS 6-digit product categories with non-negligible export volumes (exceeding \$10 million annually) expanded from 127 to 164, suggesting gradual product space diversification. However, these changes remain insufficient to fundamentally alter Kazakhstan's resource-dependent trade profile, and the manufacturing value-added content of exports remains minimal.

4.2 GVC Participation and Positioning Indices

The GVC participation indices reveal a highly asymmetrical and structurally constrained embedding pattern. Kazakhstan's forward participation ratio (FPR) averaged 76.2% over the 2005-2020 period, indicating that a substantial majority of domestic value-added is exported indirectly through other countries' final goods exports rather than directly to final consumers. This high FPR is characteristic of upstream raw material suppliers whose commodities are processed, refined, and incorporated into downstream manufacturing products by trading partner economies. By contrast, Kazakhstan's backward participation ratio (BPR) averaged merely 8.4%, among the lowest levels recorded for upper-middle-income economies. This low BPR signals minimal utilization of foreign value-added inputs in Kazakhstan's own export production, consistent with a shallow integration into multi-stage manufacturing networks and limited processing and assembly activities.

The resulting GVC position index, computed as the logarithmic ratio of FPR to BPR, positions Kazakhstan at the extreme upstream end of the global value chain spectrum. Comparatively, Kazakhstan's position index (-2.19) is substantially more upstream than regional peers such as Turkey (-0.84), Malaysia (-0.31), and Thailand (-0.45), and even more upstream than other resource-dependent economies such as Saudi Arabia (-1.52) and Russia (-1.38). This positioning reflects both Kazakhstan's commodity specialization and its limited success in developing

downstream processing industries that would increase backward participation while reducing the relative dominance of forward participation.

Temporal evolution of these indices provides qualified evidence of gradual adjustment. Between 2013 and 2020, the BPR increased modestly from 7.1% to 9.8%, driven primarily by expanding imports of automotive components, machinery parts, and electronics subassemblies associated with assembly operations in the Almaty and Astana industrial zones. The FPR declined marginally from 79.4% to 74.1%, though this reduction reflects partly the commodity price cycle rather than genuine structural diversification. The upstreamness index computed following Antras and Chor (2013) indicates that Kazakhstan's average production stage distance from final demand decreased slightly from 3.42 to 3.18 between 2013 and 2020, suggesting cautious movement toward relatively more downstream activities, though this progress remains far below the threshold required for meaningful smile-curve repositioning.

4.3 BRI Impact Assessment

Econometric analysis of BRI infrastructure impacts on Kazakhstan's trade performance yields statistically significant but structurally nuanced findings. The baseline fixed-effects specification estimates that each \$1 billion increase in BRI-related infrastructure stock is associated with a 2.3% increase in total merchandise exports and a 4.1% increase in bilateral exports to China, with both coefficients significant at the 1% level. However, disaggregation by product category reveals that these export gains are overwhelmingly concentrated in time-sensitive commodities (particularly perishable agricultural products and intermediate metals) and energy products benefiting from improved pipeline and rail transit capacities. Manufacturing exports show no statistically significant response to infrastructure investment, suggesting that trade cost reduction alone is insufficient to catalyze manufacturing competitiveness in the absence of complementary industrial policies and technology transfer mechanisms.

The difference-in-differences analysis exploiting the phased rollout of major BRI projects identifies significant treatment effects for the Khorgos dry port and cross-border cooperation center, which became operational in 2015. Counties and provinces with direct rail connectivity to Khorgos experienced export growth 12-18 percentage points higher than non-connected regions during the post-treatment period (2015-2020), with particularly pronounced effects for agricultural products and e-commerce parcel flows. However, the Western Europe-Western China highway, completed in subsequent phases, generated more modest trade impacts, attributable to underdeveloped feeder road networks and persistent customs clearance inefficiencies that offset the benefits of trunk corridor improvement.

Analysis of value-added trade decomposition indicates that BRI infrastructure investment has enhanced Kazakhstan's backward participation more substantially than its forward participation. The import content of exports (a proxy for backward linkage depth) increased by 2.7 percentage points in sectors with high BRI infrastructure exposure relative to low-exposure sectors, suggesting that improved logistics connectivity has facilitated the integration of imported intermediate inputs into export-oriented production. This finding holds particular significance for the automotive assembly and agricultural processing sectors, where just-in-time logistics requirements had previously constrained participation in international production networks.

4.4 Sectoral Case Studies

Three sectoral cases illustrate the heterogeneous patterns of GVC integration and upgrading potential. The automotive sector, centered on the Astana-based assembly joint ventures with Chinese and Korean manufacturers, demonstrates the feasibility of modular manufacturing participation. Between 2015 and 2023, automotive assembly production expanded from 18,000 to over 110,000 units annually, with increasing local content ratios rising from 12% to 28%. However, local content remains concentrated in low-complexity components (seats, wiring harnesses, simple stampings), while engine, transmission, and electronic control systems remain

entirely imported. The sector's GVC governance structure approximates a "captive" configuration, with technology and design control firmly retained by foreign lead firms.

The agricultural processing sector exhibits a contrasting trajectory. Kazakhstan's wheat and oilseed exports have traditionally moved in bulk commodity form with minimal value-added processing. BRI-enhanced rail connectivity to China has enabled the expansion of flour milling and vegetable oil extraction capacity near export-oriented production zones, increasing the value-added capture per ton of agricultural exports by approximately 35-40%. This upgrading pathway aligns with the "process upgrading" category identified by Humphrey and Schmitz (2002), representing genuine value capture improvement without fundamentally altering the sector's position within broader agricultural value chains.

The petrochemical downstream sector presents intermediate prospects. Kazakhstan's substantial natural gas and condensate reserves have historically been exported in raw or minimally processed form. The BRI-supported polyethylene and polypropylene plants at the Atyrau refinery complex represent initial downstream integration, though the technology licenses, catalyst supply, and specialized equipment remain predominantly sourced from European and East Asian suppliers. This pattern illustrates the "technology dependence trap": even when physical infrastructure enables downstream capacity expansion, proprietary process technology and specialized equipment dependencies perpetuate foreign control over high-margin segments of the value chain.

5. Discussion

The empirical findings presented in the preceding section illuminate both the transformative potential and the structural constraints of Kazakhstan's GVC evolution under the BRI framework. This discussion synthesizes these findings across three thematic dimensions: the interpretation of GVC positioning trends in theoretical context, the mechanisms and limitations of BRI-driven upgrading, and the policy implications for Kazakhstan and comparable resource-based economies navigating infrastructure-led regional integration.

5.1 Interpreting Kazakhstan's GVC Positioning

Kazakhstan's extreme upstream positioning within global value chains, as documented by the FPR/BPR asymmetry and the upstreamness index, represents a structural configuration that is simultaneously a source of comparative advantage and a developmental constraint. Theoretically, this positioning aligns with the "resource periphery" model within world-systems analysis, wherein peripheral economies specialize in low-value-added primary commodity extraction while core economies monopolize high-value technology, branding, and financial services. However, the GVC literature's emphasis on governance structures and upgrading pathways suggests that peripherality is not necessarily permanent: under specific conditions of institutional support, technological absorption, and strategic industrial policy, resource-based economies can transition toward more diversified and higher-value-added participation patterns.

The modest but discernible improvement in backward participation and the slight downstream movement in the upstreamness index between 2013 and 2020 provide qualified evidence that BRI-induced structural changes are altering Kazakhstan's GVC parameters. However, the magnitude of these changes remains insufficient to constitute a genuine "upgrading" breakthrough in the sense defined by Humphrey and Schmitz (2002). Rather than functional upgrading (moving from assembly to design, branding, or marketing) or chain upgrading (shifting to entirely new, higher-value industries), Kazakhstan's trajectory appears closer to process upgrading within extant sectors—improving efficiency, capacity, and product quality in agricultural processing, automotive assembly, and petrochemical refining without fundamentally altering sectoral governance structures or value capture distributions.

This finding carries significant implications for GVC theory. The canonical smile-curve framework assumes a relatively stable division between high-value upstream and downstream

activities and low-value manufacturing intermediates. For resource-based economies, however, the relevant comparison is not merely between manufacturing and services but between raw material extraction, primary processing, and downstream manufacturing. Kazakhstan's "double-remote" positioning--distant from both upstream design/branding and downstream consumer-market services--suggests that the smile curve may require three-dimensional extension for resource-rich developing economies: a "value mountain" model wherein value capture peaks at the technology-intensive processing and specialized equipment manufacturing stages that transform raw commodities into intermediate inputs for advanced manufacturing.

5.2 Mechanisms and Limitations of BRI-Driven Upgrading

The econometric findings confirm that BRI infrastructure investment has generated statistically significant trade impacts, but the structural composition of these impacts reveals important limitations. Trade cost reduction, while necessary for GVC integration, is not sufficient for upgrading. The divergence between significant export growth in time-sensitive commodities and energy products versus negligible manufacturing export response suggests that infrastructure operates as a "facilitating condition" rather than a "sufficient cause" of structural transformation. This finding supports the theoretical argument advanced by Rodrik (2008) and Chang (2002) that industrial development requires proactive policy interventions--including local content requirements, technology transfer conditions, vocational training investment, and R&D subsidies--to channel infrastructure benefits toward domestic capability accumulation rather than mere trade volume expansion.

The sectoral case studies provide granular evidence of these mechanisms. The automotive assembly sector illustrates the "captive upgrading" pattern: physical production capacity expands significantly, employment generation is positive, and local content ratios improve modestly, yet technology control remains firmly with foreign lead firms. This configuration generates economic activity and foreign exchange earnings but offers limited prospects for autonomous technological learning or brand development. The agricultural processing sector, by contrast, demonstrates a more domestically controlled upgrading pathway: value-added capture improves through processing capacity expansion, and domestic firms retain greater operational control, though the sector remains vulnerable to commodity price cycles and weather-related yield volatility. The petrochemical downstream sector represents an intermediate case: substantial capital investment and infrastructure enable capacity expansion, but proprietary technology dependencies perpetuate foreign control over the highest-margin segments.

These patterns suggest that the relationship between BRI participation and GVC upgrading is mediated by a "technology-ownership-institution" triad. Infrastructure connectivity reduces trade costs and enables physical participation in production networks, but without domestic technological ownership (through licensing agreements, joint venture learning clauses, or indigenous R&D) and supportive institutional frameworks (education systems, technical standards bodies, innovation financing), participation risks reinforcing rather than transcending peripheral positioning. This triadic mediation framework constitutes a central theoretical contribution of this study, extending the GVC governance literature by specifying the boundary conditions under which infrastructure-led integration generates genuine upgrading versus superficial trade expansion.

5.3 Policy Implications

The findings generate actionable policy recommendations across multiple governance levels. For Kazakhstan's domestic policymakers, the priority is to strengthen the "absorptive infrastructure" that converts physical connectivity into human capital and technological capability. This encompasses vocational education reform aligned with BRI-associated industrial requirements, technology transfer conditions embedded in FDI agreements and joint venture contracts, and innovation ecosystem development through research funding, incubator support, and university-industry collaboration platforms. The experience of the Khorgos cooperation center

demonstrates that cross-border economic zones can generate positive spillovers when accompanied by proactive domestic capacity-building measures; however, these spillovers do not emerge automatically from infrastructure provision alone.

For bilateral and multilateral coordination, the findings underscore the importance of integrating "soft connectivity" measures--customs harmonization, mutual recognition agreements, digital trade platforms, and regulatory transparency--alongside physical infrastructure investment. The relatively modest trade impacts of highway construction compared to rail and dry port development reflect the binding constraint of institutional friction: even world-class physical infrastructure cannot generate deep value chain integration when customs procedures, standards divergence, and regulatory uncertainty impose high transaction costs. Furthermore, the environmental and social governance dimensions of BRI projects, as highlighted by Kydyrbek et al. (2025), require strengthened oversight mechanisms to ensure that infrastructure-led growth remains consistent with green transition commitments and sustainable development objectives.

For comparable Belt and Road economies--particularly resource-rich, landlocked developing countries in Central Asia, the Caucasus, and Africa--Kazakhstan's experience offers both positive lessons and cautionary signals. The positive lesson is that infrastructure-led regional integration can generate measurable improvements in trade volumes, logistics efficiency, and GVC participation depth, even for structurally disadvantaged economies. The cautionary signal is that without proactive industrial policy, technology transfer mechanisms, and institutional development, infrastructure benefits may be captured predominantly by foreign lead firms and trading partners, perpetuating rather than resolving peripheral positioning within global production networks.

5.4 Theoretical Contributions

This study advances GVC theory in three specific directions. First, it introduces the "double-remote" concept to characterize the unique positioning of resource-based economies that are simultaneously distant from high-value upstream design activities and downstream consumer-market services. This conceptual extension challenges the conventional two-dimensional smile-curve framework and suggests the need for three-dimensional value-chain mapping that accommodates the specific structural conditions of commodity-dependent developing economies. Second, the study formalizes the "technology-ownership-institution" triad as a mediation framework for understanding the boundary conditions of infrastructure-led upgrading, synthesizing insights from GVC governance theory, institutional economics, and development policy studies into an integrated analytical apparatus. Third, by centering Kazakhstan's specific structural parameters--landlocked geography, post-Soviet institutional legacies, and resource-dependent industrial structure--the study contributes to the emerging literature on "varieties of peripherality" within global production networks, moving beyond generic developing-country frameworks toward context-sensitive theoretical development.

6. Conclusion

This study has systematically examined the evolution of Kazakhstan's global value chain embeddedness and structural transformation under the Belt and Road Initiative framework, employing a mixed-methods approach that integrates quantitative trade econometrics with qualitative policy analysis. The research reveals a complex and nuanced picture: Kazakhstan is experiencing genuine but structurally constrained movement toward deeper GVC participation, driven primarily by BRI-induced infrastructure connectivity and bilateral trade expansion, yet this movement remains insufficient to constitute a decisive breakthrough from resource-dependent peripheral positioning into diversified, high-value-added production network integration.

The core empirical findings can be summarized in four propositions. First, Kazakhstan's trade structure remains heavily concentrated in mineral fuels and raw materials, with manufacturing exports constituting a marginal share of total merchandise trade. However, modest

diversification is underway, with non-oil exports increasing from 18.4% to 24.7% of the total between 2013 and 2023, driven primarily by agricultural products and processed metals rather than technology-intensive manufactures. Second, GVC participation indices reveal extreme asymmetry: forward participation averaging 76.2% and backward participation merely 8.4%, positioning Kazakhstan at the far upstream end of global value chains and confirming the "double-remote" hypothesis that resource-based exporters are simultaneously distant from both high-value design/branding upstream activities and consumer-proximate downstream services.

Third, BRI infrastructure investment has generated statistically significant trade impacts, with each \$1 billion in infrastructure stock associated with 2.3% export growth overall and 4.1% bilateral export growth to China. However, these gains are structurally skewed toward time-sensitive commodities and energy products; manufacturing exports show no significant response to infrastructure investment alone, underscoring the insufficiency of trade cost reduction without complementary industrial policy and technology transfer mechanisms. Fourth, sectoral case studies reveal heterogeneous upgrading patterns: automotive assembly demonstrates "captive upgrading" with expanding production but persistent foreign technology control; agricultural processing exhibits domestically controlled process upgrading with improved value capture; and petrochemical downstream integration illustrates the "technology dependence trap" wherein physical capacity expansion coexists with continued foreign control over proprietary processes and specialized equipment.

Theoretically, this study contributes to GVC scholarship by introducing the "double-remote" concept for resource-based economies, formalizing the "technology-ownership-institution" triad as a mediation framework for infrastructure-led upgrading, and advancing the emerging literature on context-specific peripherality varieties within global production networks. These conceptual developments suggest that generic GVC frameworks developed primarily from East Asian manufacturing experiences require substantial adaptation when applied to resource-rich, landlocked, post-transition economies with distinctive institutional legacies and structural constraints.

Several limitations of this study should be acknowledged and addressed in future research. The econometric analysis is constrained by data availability challenges, particularly the limited temporal coverage of value-added trade databases and the absence of comprehensive firm-level panel data for Kazakhstan's manufacturing sector. The sectoral case studies, while informative, are based on secondary sources and public documentary records rather than primary firm-level surveys; future research would benefit from direct interviews with joint venture managers, local suppliers, and government officials to capture micro-level dynamics that aggregate statistics obscure. The institutional quality and governance indicators employed are necessarily coarse, and more nuanced measures of regulatory transparency, intellectual property enforcement, and bureaucratic efficiency would strengthen the analysis of institutional mediation effects.

Future research directions include several promising avenues. First, comparative analysis across Central Asian economies--Uzbekistan, Turkmenistan, Kyrgyzstan, and Tajikistan--would illuminate how resource endowments, institutional legacies, and geographic positioning jointly condition GVC integration trajectories under the BRI framework. Second, the incorporation of environmental and social governance dimensions into GVC upgrading analysis represents an increasingly urgent research frontier, particularly as the European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism and similar green trade regulations reshape the competitive landscape for resource-based exports. Third, the digitalization of trade and the emergence of e-commerce platforms as alternative GVC coordination mechanisms warrant systematic investigation, particularly their potential to bypass traditional captive governance structures and enable direct market access for small and medium enterprises in peripheral economies.

In conclusion, Kazakhstan's experience under the Belt and Road Initiative illustrates both

the transformative potential and the structural tenacity of global value chain dynamics. Infrastructure connectivity, trade cost reduction, and bilateral investment expansion create genuine opportunities for peripheral economies to deepen their integration into global production networks. Yet these opportunities realize their developmental potential only when accompanied by deliberate domestic policies that build technological absorption capacity, strengthen institutional frameworks, and ensure that the benefits of integration are distributed broadly across society rather than captured by narrow elite interests. The transformation from resource-dependent periphery to diversified trading power remains possible, but its achievement requires sustained strategic effort across multiple policy domains and time horizons extending well beyond the infrastructure construction phase.

References

- [1] Brauweiler, H.-C., & Yerimpasheva, A. (2022). Challenges and opportunities to develop Kazakhstani logistics projects within the BRI. *Discourses in Social Market Economy*, 2022-2. <https://doi.org/10.1007/s11366-020-09717-0>
- [2] Kydyrbek, F., Hor, K. W. C., Baikushikova, G., Kukeyeva, F., & Augan, M. (2025). Aligning the Belt and Road Initiative with UN Sustainable Development Goals: Kazakhstan's Role and Challenges. *European Review*, 1–25. doi:10.1017/S106279872510015X
- [3] Lee, J. (2022). Global value chains and regional connection: Asia's shifting inter- and intra-regional trade linkages. *Journal of Global and Area Studies (JGA)*, 6, 1–23. <https://doi.org/10.31720/JGA.6.3.1>
- [4] Taguchi, H., & Lar, N. (2024). Servicification in Global Value Chains in Emerging and Developing Asian Economies. *Economies*, 12(6), 125. <https://doi.org/10.3390/economies12060125>
- [5] Wang, H., Si, I., & Chen, Z. (2024). Does the Belt and Road Initiative promote China and the countries along the route to reconstruct the global value chain? Evidence from value-added trade. *Economic Analysis and Policy*, 81, 63-83. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2023.11.030>
- [6] Zhang, X. F. (2020). The Belt and Road Initiative and the improvement of global value chain position [Master's thesis]. Shandong University of Finance and Economics. <https://doi.org/10.27274/d.cnki.gsdjc.2020.000720>
- [7] Akhtanova, M. (2019). Kazakhstan in Global Value Chains: Current Status and Upgrading Potential. Astana: Nazarbayev University Working Paper Series, WP 19/02.
- [8] Antras, P., & Chor, D. (2013). Organizing the global value chain. *Econometrica*, 81(6), 2127-2204. <https://doi.org/10.3982/ECTA10878>
- [9] Auty, R. M. (1993). *Sustaining Development in Mineral Economies: The Resource Curse Thesis*. London: Routledge.
- [10] Baldwin, R. (2016). *The Great Convergence: Information Technology and the New Globalization*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [11] Balassa, B. (1965). Trade liberalisation and revealed comparative advantage. *The Manchester School*, 33(2), 99-123. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9957.1965.tb00050.x>
- [12] Blomstrom, M., & Kokko, A. (1998). Multinational corporations and spillovers. *Journal of Economic Surveys*, 12(3), 247-277. <https://doi.org/10.1111/1467-6419.00056>
- [13] Chang, H. J. (2002). *Kicking Away the Ladder: Development Strategy in Historical Perspective*. London: Anthem Press.
- [14] Frankel, J. A. (2012). The natural resource curse: A survey of diagnoses and some prescriptions. In S. A. H. *Commodity Price Volatility and Inclusive Growth in Low-Income Countries* (pp. 201-228). Washington, DC: International Monetary Fund.
- [15] Gereffi, G., Humphrey, J., & Sturgeon, T. (2005). The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, 12(1), 78-104. <https://doi.org/10.1080/09692290500049805>
- [16] Huang, Y. (2016). Understanding China's Belt & Road initiative: Motivation, framework and

- p>assessment.
- China Economic Review*
- , 40, 314-321.
- <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2016.07.007>
- [17] Humphrey, J., & Schmitz, H. (2002). How does insertion in global value chains affect upgrading in industrial clusters? *Regional Studies*, 36(9), 1017-1027. <https://doi.org/10.1080/0034340022000022198>
- [18] Javorcik, B. S. (2004). Does foreign direct investment increase the productivity of domestic firms? In search of spillovers through backward linkages. *American Economic Review*, 94(3), 605-627. <https://doi.org/10.1257/0002828041464605>
- [19] Krugman, P. (1991). *Geography and Trade*. Cambridge, MA: MIT Press.
- [20] Lin, J. Y. (2015). The Belt and Road Initiative and international development cooperation. *Journal of Chinese Economic and Business Studies*, 13(4), 313-317. <https://doi.org/10.1080/14765284.2015.1116254>
- [21] Mudambi, R. (2008). Location, control and innovation in knowledge-intensive industries. *Journal of Economic Geography*, 8(5), 699-725. <https://doi.org/10.1093/jeg/lbn024>
- [22] North, D. C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [23] OECD. (2017). *Enhancing Connectivity and Trade in Central Asia*. Paris: OECD Publishing.
- [24] Rodrik, D. (2008). *One Economics, Many Recipes: Globalization, Institutions, and Economic Growth*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- [25] Ross, M. L. (2015). What have we learned about the resource curse? *Annual Review of Political Science*, 18, 239-259. <https://doi.org/10.1146/annurev-polisci-052213-040359>
- [26] Sachs, J. D., & Warner, A. M. (1995). Natural resource abundance and economic growth. NBER Working Paper Series, No. 5398.
- [27] World Bank. (2020). *World Development Report 2020: Trading for Development in the Age of Global Value Chains*. Washington, DC: World Bank.

Government policy in the field of regulation of various forms of emigration from Kazakhstan

Mussina Svetlana

Master of Economic Sciences, Senior Lecturer at the Department of Economics and International Business, NLC «Buketov Karaganda National Research University», Karaganda, Kazakhstan

Currently, the main stake in the economic development of the national economy increasingly belongs to human capital, as opposed to the country's natural resources. Human capital is becoming so important that every country wants to receive qualified labor resources not only from its own country, but also from other countries. In this regard, people try to improve their level of education and professionalism, not always only in their own country, but resort to educational institutions in other countries. This creates educational migration. Our country is no exception in this regard, and the migration of young people to other countries in order to obtain higher education abroad takes place. On the other hand, migrants face various problems when studying in another country, such as language, adaptation, etc. As a result, the Governments of Central Asian countries should work to support links with educational migrants. Alumni networks can be used for this, for example, as is the case in almost all foreign universities. It is necessary that highly qualified specialists and students do not lose touch with their homeland and have the opportunity to help the country, if not directly, then indirectly.

Currently, about 92,000 Kazakhstani citizens are studying abroad. Moreover, in terms of countries, our closest neighbor, Russia, is in the first place. Kazakhstanis also study in China, the USA, Great Britain, South Korea, etc. It should be noted that the most popular specialties for studying abroad among our compatriots are humanities and social sciences – 55%, engineering – 36%. More specifically, these are IT and digital technologies, storytelling and mechanical engineering, finance and management, and more.

Reducing the volume of unregulated migration in the Republic of Kazakhstan is also a serious problem for our country. Policy measures in this area are mainly aimed at detecting illegal immigration by the migration police.

Illegal immigration is the entry into the Republic of Kazakhstan and the stay of foreigners or stateless persons in the Republic of Kazakhstan in violation of the legislation of the Republic of Kazakhstan regulating the procedure for entry and stay, as well as transit through the territory of the Republic of Kazakhstan [1].

In order to identify individuals who maliciously violate migration legislation in the country, the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan periodically conducts an operational and preventive event "Migrant". Police officers carry out inspections of places of compact residence of foreign citizens, carry out work on the residential sector, construction sites, markets, organizations and employers who illegally employ foreign citizens, and check vehicles. According to the Ministry of Internal Affairs, more than 100,000 foreign citizens are brought to administrative responsibility every year and more than 10,000 are expelled from the country. These are mainly illegal migrant workers who are exposed to many risks due to their unregulated status: they may not be paid for the work they have done, they may only partially pay without fulfilling preliminary agreements that are not legally fixed, there may also be problems when seeking medical help,

rights protection is not guaranteed if the employer does not comply with safety requirements. There are no guarantees for social security and ensuring normal working conditions [2]

The FIDH report on this situation reads as follows: "Migrant workers with irregular status, who make up the vast majority of migrant workers in Kazakhstan, are in a particularly vulnerable position. They often work in harsh conditions and become victims of exploitation, psychological and physical violence, forced labor or human trafficking. They often live in unacceptable and degrading conditions and work without observing security measures. The precarious administrative situation restricts their children's access to education, as well as their and their entire family's access to medical care." [3]

In these circumstances, Kazakhstan is invited to ratify the International Convention on the Protection of the Rights of All Migrant Workers and Members of Their Families, as well as to amend immigration and labor legislation, creating the necessary provisions for issuing work permits or "patents" to foreigners, regardless of whether they work for a private or legal entity, as well as expand the list of independent entrepreneurial activities that foreign citizens have the right to engage in (otherwise corruption risks increase). The patent fee should be charged only after the payment of the first salary in order to avoid creating a situation in which a migrant worker finds himself dependent on his employer. It is necessary to establish a direct complaint system accessible to all migrant workers who have been victims of abuse; respond quickly and effectively to reports of violations of the rights of all migrant workers; conduct prompt, effective, independent and impartial investigations; To bring to justice those responsible for abuses against all migrant workers and violations of their rights.

Legal labor migration is mainly associated with foreign labor, attracted by permits from local executive bodies. As of 2025, 14,210 foreign citizens are working on the territory of Kazakhstan with the permits of local executive bodies. The main countries of origin of labor migrants are China (about 36%), Uzbekistan (16%), Turkey (9%), India (8%), and Russia (6%) (Figure 1). [4]

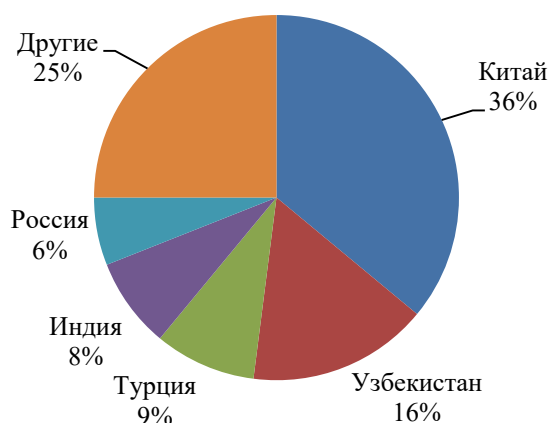


Figure 1. Structure of foreign citizens working in Kazakhstan with permits from local authorities, by country

Note – compiled by the author based on the source [4]

However, not all foreign citizens in our country work legally, and there are illegal labor migrants with whom some work is being done to register them. Despite this, such citizens are periodically expelled from the country. So, in 2025, 18,872 foreign citizens were deported from our country [5].

On the other hand, Kazakhstanis also work abroad. At the beginning of 2025, the total number of labor migrants from Kazakhstan was up to 140 thousand people. Our compatriots

mostly work in countries such as Russia (82%), South Korea –10%), Poland –about 2%), Great Britain (about 1%) and other countries (Figure 2)

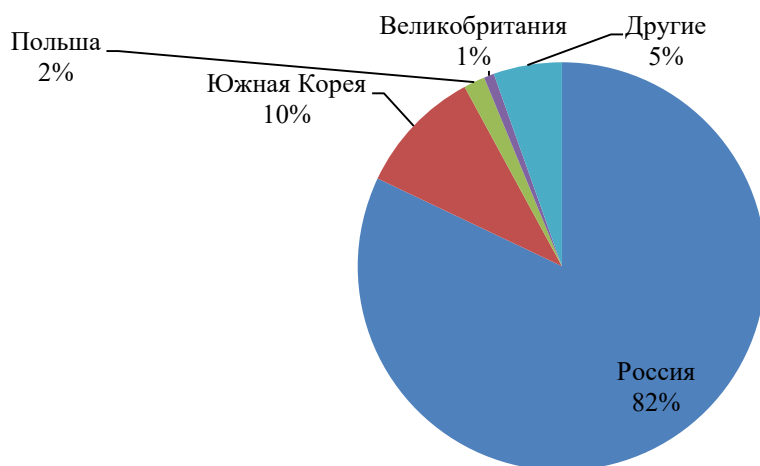


Figure 2. Structure of Kazakhstani citizens working outside Kazakhstan, by country
Note – compiled by the author based on the source [5]

Mostly Kazakhstanis work abroad in such fields as construction, agriculture, industry, services, etc. At the same time, a certain number of compatriots work in medium- or low-skilled jobs.

It should be noted that according to estimates by international organizations, the number of Kazakhstanis working abroad is about one and a half times higher and amounts to 190 thousand people. This discrepancy is explained by the presence of illegal migration, i.e. official sources show only migrants legally working abroad.

The Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan has set itself the task of introducing an appropriate system in terms of employment and legal protection of Kazakhstani workers abroad [6]. This is due to an increase in the number of labor migrants from Kazakhstan in Europe and South Korea. There have been several cases of expulsion of citizens of the Republic of Kazakhstan from Norway and South Korea.

The size of labor emigration can be judged by the volume of money transfers from abroad. Thus, according to the National Bank of the Republic of Kazakhstan, in 2025, the volume of receipts from abroad amounted to 226 billion tenge, and this figure has been steadily decreasing over the past four years. On average, 24% of the total volume comes from Russia, and up to 15% from the USA [7]. This structure is logically explained by the fact that most migrants from Kazakhstan work in Russia, while there are many students and highly qualified specialists from our country in the United States.

It should be noted that in recent years, a new direction of emigration has been growing – this is South Korea. Mostly Kazakhstanis get there on a visa-free regime as tourists and continue to stay there illegally, find jobs and send money to their relatives in Kazakhstan. The Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Kazakhstan and foreign institutions are working on appeals from citizens in their host countries to protect their rights and interests (including in the case of deportation), but efforts are needed from the Government of the Republic of Kazakhstan to conclude an interstate agreement to facilitate labor migration from Kazakhstan to South Korea. It is necessary to resolve the current situation in favor of our citizens who are motivated to earn relatively high wages in other countries, providing a legal framework for the full-blooded protection of their interests and rights in other countries. The issue of protecting the rights of our Kazakhstani labor migrants was raised by the President of the Republic of Kazakhstan, K. Tokayev, at the fourth meeting of the National Council of Public Trust.

Labor migration within the EAEU. The EAEU Treaty brings labor migration, an area of cooperation between the member states, to a qualitatively new level. Section XXVI "Labor migration" provides for a number of standards that ensure freedom of employment in the territories of the participating countries. In order to form a common labor market, the Union Treaty develops a common policy in the field of labor migration, including the provision of social security, medical care for workers of the member States, and offsetting of labor (insurance) length of service, as well as the export of pensions. The direct recognition of educational documents is carried out without any procedures. The children of workers who live with them in the territory of the State of employment have the right to attend preschool institutions and receive education in accordance with the legislation of the State of employment.

The mobile service "Work in the EAEU" is being prepared for launch. The application was created in order to collect on one platform all information about vacancies, employers and applicants in the territory of the Eurasian Economic Union. With the help of the application, migrant workers will be able not only to find a suitable job in any of the EAEU countries without leaving home, but also to complete the necessary documents, register with the Pension Fund and tax authorities, apply for a loan for relocation and rent housing. Representatives of the Eurasian Development Bank are confident that the service can become a real breakthrough in migration issues within the EAEU and strengthen integration ties between states [8].

There are the following problems regarding the regulation of movements within the EAEU:

1) the principle of equality of labor and social rights of citizens and migrants is not fully implemented. The reason is the lack of elaboration of national legislation in accordance with the provisions of the Treaty on the Eurasian Economic Union.

2) there is a discrepancy between the professional and linguistic training of migrants in their countries of origin and the requirements of Russian and Kazakh employers (the main countries receiving migrant workers in the EAEU).

3) a significant number of migrant workers from Armenia and Kyrgyzstan do not formalize employment contracts with their employer. This may be the result of migrants' lack of awareness of existing legal norms, as well as their being forced to work without a contract by their employer, or the result of the activities of shadow intermediaries who have turned the illegal employment of their fellow countrymen in Russia and Kazakhstan into a profitable business [9].

As a recommendation, experts suggest: 1) initiate the creation of language training and pre-departure orientation courses in the countries of departure of migrants; involve private and public organizations in these activities; 2) establish control over the implementation of labor legislation in the countries of reception of migrants: to stop employment that is not formalized by an employment contract; 3) to create within the framework of the EEC a system of interstate monitoring of the social and labor sphere in the participating countries in order to identify the compliance of the existing format for ensuring labor and social rights of migrant workers with the provisions of the Treaty on the Eurasian Economic Union

It is also necessary to improve the system of immigration control and interdepartmental interaction, primarily in the field of information exchange at both the domestic and interstate levels; create a unified database for the EAEU member states to identify and register illegal migrants; develop programs and conduct joint interstate operational and preventive measures; strengthening information and explanatory work among the population [10].

Thus, the migration situation in the Republic of Kazakhstan shows that the reasons for departure and entry can be very different, mainly educational and labor migration. Moreover, our country acts both as a donor and as a recipient. The main countries in the exchange of migrants are our closest neighbors, the CIS countries. At the same time, it should be noted that there are a number of problems in the field of migration, one of which is illegal migration, which the

authorities are working with. The existence of such problems shows the need for further improvement of migration policy.

References:

1. The Law of the Republic of Kazakhstan "On Population Migration" dated 22.07.2011//https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31038298&pos=102;-42#pos=102;-42
2. There are fewer earnings, but it is safer. Labor migrants from Central Asia choose Kazakhstan instead of Russia // <https://rus.azattyq.org/a/central-asian-migrant-workers-choosing-kazakhstan-over-russia-despite-lower-pay/31289747.html>
3. Report of the International Federation for Human Rights Migrant Workers in Kazakhstan // https://www.fidh.org/IMG/pdf/note_kazakhstan_681r_6_sept_2016_ru_web.pdf
4. Ministry of Labor and Social Protection of the Population of the Republic of Kazakhstan // https://www.gov.kz/memleket/entities/enbek/press/news/details/1149400?lang=ru&utm_source=chatgpt.com
5. It became known how many Russians received Kazakh citizenship in 2025 // https://qrnews.kz/ru/news/stalo-izvestno-skolko-rossiyan-poluchilo-grazhdanstvo-kazahstana-v-2025-godu-sZdbA?utm_source=chatgpt.com
6. 24kz // <https://24.kz/ru/news/social/item/457913-novuyu-kontseptsuyu-migratsionnoj-politiki-razrabotayut-v-kazahstane>
7. Official website of the National Bank of the Republic of Kazakhstan // <https://nationalbank.kz/ru>
8. Eurasian Development Bank // <https://eabr.org/press/news/trudovuyu-migratsiyu-v-eaes-sdelayut-komfortnoy/>
9. Why do we need a labor market in the EAEU // http://www.spbredcross.org/images/pr_grant/EAES.pdf
10. Ponomareva E.G. The Eurasian Economic Union: risks and options // International life. - 2016. – No. 1. – pp. 94-98

Evaluating Project Management Effectiveness in Digital Media Production: A Comparative Study of Agile and Traditional Approaches in Kazakhstan

Askarov Ilyas

Master's student in Project Management, Astana IT University

Abstract

Background: The rapid digitalization of Kazakhstan's economy has accelerated the expansion of the digital media sector, characterized by high levels of uncertainty, creative variability, and continuously evolving stakeholder requirements. These conditions challenge the applicability of traditional project management approaches and highlight the need for more flexible and adaptive methods. Despite the extensive application of Agile methodologies in the IT sector, limited empirical evidence exists regarding their effectiveness in digital media production, particularly within emerging markets such as Kazakhstan.

Methods: This study employs a comparative mixed-method research design grounded in contingency theory and dynamic capabilities theory. Empirical data were collected through a structured survey of digital media professionals in Kazakhstan, complemented by qualitative analysis of project management practices. Project effectiveness was evaluated using five key criteria: time efficiency, product quality, adaptability, team productivity, and stakeholder satisfaction.

Results: The findings demonstrate that Agile-based and hybrid project management approaches significantly outperform traditional linear models in terms of adaptability, team performance, and responsiveness to stakeholder needs. However, these approaches exhibit moderate limitations in cost predictability. The results indicate that the effectiveness of project management methods is strongly influenced by the level of environmental uncertainty and the creative intensity of digital media projects.

Conclusions: The study concludes that Agile and hybrid approaches are more suitable for managing digital media production projects in Kazakhstan. It contributes to the existing literature by providing context-specific empirical evidence and proposes a framework for aligning project management methods with the characteristics of creative industries in emerging economies. The findings offer practical implications for improving project performance and supporting innovation-driven and sustainable business development.

Keywords: project management effectiveness; digital media production; Agile methodology; hybrid project management; Kazakhstan

JEL Codes: M10; M15; O32; L86; C83

1. Introduction

The ongoing digital transformation of the global economy has significantly reshaped the structure of creative industries, particularly digital media production. Digital media projects are increasingly characterized by high levels of uncertainty, rapid iteration cycles, and strong dependence on user feedback and market dynamics. These features fundamentally challenge the applicability of traditional project management approaches based on linear planning and rigid control mechanisms.

In recent years, Agile project management has emerged as a dominant paradigm for managing complex and dynamic projects. Empirical evidence suggests that Agile methodologies contribute to improved project performance through enhanced adaptability, customer involvement, and iterative development processes (Koudriachov et al., 2025). At the same time, however, contemporary research emphasizes that the effectiveness of Agile approaches is not universal and depends on contextual factors such as team capabilities, organizational culture, and environmental uncertainty (Rahmah et al., 2024). This raises a critical theoretical and practical question regarding the conditions under which different project management methods are most effective.

From a theoretical perspective, this study is grounded in contingency theory and dynamic capabilities theory. Contingency theory posits that no single management approach is universally optimal; instead, effectiveness depends on the alignment between organizational practices and environmental conditions. In the context of project management, this implies that the suitability of Agile or traditional methods is contingent upon project complexity, uncertainty, and the degree of required flexibility. Complementarily, dynamic capabilities theory highlights the importance of an organization's ability to adapt, integrate, and reconfigure resources in rapidly changing environments. Agile methodologies, with their emphasis on iterative learning and continuous feedback, can be interpreted as operational mechanisms that enable the development of such capabilities.

The relevance of these theoretical perspectives becomes particularly evident in emerging economies such as Kazakhstan. The country has experienced rapid digital growth in recent years, driven by the expansion of digital infrastructure and state-led initiatives aimed at fostering innovation and digital transformation. However, despite these advancements, organizations in Kazakhstan often operate within hybrid institutional environments characterized by uneven digital maturity, evolving managerial practices, and limited experience in implementing flexible project management methodologies. These conditions create a unique context in which the effectiveness of project management methods cannot be directly inferred from evidence obtained in developed economies.

Existing literature on Agile project management has predominantly focused on the IT sector and developed countries. Studies have demonstrated that Agile practices can significantly improve project outcomes, including time performance, cost efficiency, and stakeholder satisfaction (Muhammad et al., 2021). Research in media-related contexts indicates that Agile approaches are particularly suitable for industries characterized by fast-paced environments and high creative variability, such as digital media startups and content production. Nevertheless, empirical research examining the effectiveness of project management methods specifically within digital media production especially in emerging economies remains limited.

This gap is theoretically important because digital media projects differ substantially from traditional IT or engineering projects. They involve a higher degree of creative uncertainty, frequent changes in requirements, interdisciplinary collaboration, and shorter production cycles. These characteristics suggest that the relationship between project management methods and project effectiveness may be more complex and context-dependent than previously assumed. In

particular, while Agile approaches may enhance adaptability and innovation, they may also introduce challenges related to coordination, cost predictability, and governance.

Accordingly, this study seeks to address the following research problem: *how do different project management methods influence project effectiveness in digital media production within the context of Kazakhstan's evolving digital economy?* The objective of the study is to evaluate and compare the effectiveness of Agile, Scrum, Waterfall, and hybrid approaches based on key performance indicators, including time efficiency, product quality, adaptability, team productivity, and stakeholder satisfaction (Agaisina & Paliński, 2025).

The study contributes to the literature in three ways. First, it extends project management research into the underexplored domain of digital media production by incorporating the specific characteristics of creative industries into the analysis. Second, it provides empirical and contextual insights from Kazakhstan, thereby addressing the geographical and institutional bias of existing studies. Third, it develops a context-sensitive analytical perspective that explains project management effectiveness as a function of method type, moderated by environmental uncertainty and creative intensity.

2. Literature Review

The contemporary literature on project management effectiveness reflects a paradigm shift from deterministic, control-oriented models toward adaptive and context-sensitive approaches. Traditionally, effectiveness has been assessed through the “iron triangle” of time, cost, and quality; however, recent research argues that this framework is insufficient in dynamic environments, where success increasingly depends on adaptability, stakeholder engagement, and continuous value creation (Serrador & Pinto, 2020).

This transformation is closely linked to the emergence of Agile project management methodologies, which challenge the assumption that project requirements can be fully defined in advance. Instead, Agile approaches operate under conditions of uncertainty through iterative development, continuous feedback, and incremental delivery. Empirical studies confirm that Agile methodologies enhance flexibility, responsiveness, and stakeholder satisfaction. Nevertheless, their effectiveness is not universal and depends on contextual factors such as organizational structure, team capability, and environmental conditions (Magistretti & Trabucchi, 2024). This contradiction highlights the need to evaluate project management methods within their specific context rather than in isolation.

Contingency theory provides a useful framework for addressing this issue, suggesting that no single methodology is universally optimal and that effectiveness depends on alignment with project conditions. Agile approaches are generally more effective in uncertain and complex environments, while traditional methods remain suitable for stable contexts. This perspective is further extended by distinguishing between “Agile as a tool” and “Agile as a culture,” emphasizing that successful implementation requires organizational transformation rather than mere methodological adoption.

The integration of dynamic capabilities theory deepens this understanding by highlighting the role of adaptability, learning, and resource reconfiguration. Agile methodologies can be viewed as mechanisms that support these capabilities; however, their effectiveness depends on the organization's ability to absorb and operationalize them.

The limitations of both traditional and Agile approaches have led to the emergence of hybrid methodologies, which combine structured planning with iterative execution. Such approaches enable organizations to balance flexibility and control, particularly in complex or regulated projects, suggesting that effectiveness depends on the appropriate configuration of methods rather than a binary choice.

These theoretical considerations are especially relevant in digital media production, where projects are characterized by high creative uncertainty, rapid iteration cycles, and strong dependence on audience feedback. In such environments, rigid methodologies are often ineffective, while Agile approaches support experimentation and adaptation. However, Agile implementation also introduces challenges related to coordination, cost control, and scope management.

The interaction between project management methodologies and digital transformation represents another critical dimension. As digital transformation reshapes organizational processes and structures, the effectiveness of project management approaches becomes increasingly context-dependent, particularly in emerging economies where institutional and organizational conditions vary significantly.

Overall, the literature suggests that project management effectiveness should be understood as a multidimensional and contingent outcome influenced by methodological choice and moderated by factors such as environmental uncertainty and creative intensity. Despite these advancements, important gaps remain, including the limited focus on digital media production, the lack of research in emerging markets, and the insufficient exploration of interactions between Agile, hybrid approaches, and digital transformation (Dacre & Kockum, 2023).

These gaps highlight the need for a context-sensitive and comparative analysis of project management methodologies, focusing on the conditions under which they succeed or fail in dynamic and creative environments.

3. Methodology

The diversity and, at times, inconsistency of empirical findings in project management research necessitate a more rigorous and formalized conceptualization of the mechanisms through which project management methodologies influence project outcomes. Rather than assuming a direct and universally positive relationship between specific methodologies and project performance, contemporary scholarship increasingly emphasizes the importance of configurational and context-dependent explanations (Gemino et al., 2021). This shift reflects the recognition that methodological effectiveness emerges from the interaction between structural features of management approaches and the conditions under which they are implemented.

In line with this perspective, the present study develops a formalized conceptual framework in which project effectiveness is modeled as a dependent variable determined by the type of project management methodology, conditional upon contextual moderators inherent to digital media production environments. Formally, the relationship can be expressed as:

$$\text{Project Effectiveness} = \beta_0 + \beta_1(\text{Method}) + \beta_2(\text{Uncertainty}) + \beta_3(\text{Creative Intensity}) + \beta_4(\text{Method} \times \text{Uncertainty}) + \beta_5(\text{Method} \times \text{Creative Intensity}) + \epsilon$$

This formulation reflects a moderated relationship in which the impact of project management methods varies depending on environmental and industry-specific conditions.

The independent variable project management method is operationalized as a categorical construct encompassing four dominant configurations: Waterfall (plan-driven), Agile (adaptive), Scrum (iterative framework), and hybrid approaches (configurational integration). These methodological configurations differ not only in procedural design but also in their underlying epistemological assumptions. Traditional methods assume environmental stability and emphasize predictability and control, whereas Agile-based approaches assume environmental volatility and prioritize responsiveness and learning.

The dependent variable project effectiveness—is conceptualized as a multidimensional construct capturing both efficiency and adaptability dimensions. Specifically, it includes: (1) time efficiency, (2) product quality, (3) adaptability, (4) team productivity, and (5) stakeholder satisfaction. This operationalization is consistent with recent empirical studies demonstrating that project performance in digital environments is increasingly evaluated through value-oriented and adaptive metrics rather than solely through compliance with initial constraints. Each dimension reflects a distinct aspect of project outcomes, allowing for a nuanced assessment of methodological performance.

A critical assumption of the proposed framework is that the effect of project management methods is contingent upon contextual moderators that shape both the feasibility and effectiveness of managerial practices. Two key moderators are identified: environmental uncertainty and creative intensity.

Environmental uncertainty is defined as the degree of variability in project requirements, volatility of market conditions, and unpredictability of stakeholder expectations. In high-uncertainty environments, traditional plan-driven approaches may become ineffective due to their reliance on stable assumptions, whereas Agile methodologies may provide superior performance through iterative adaptation. However, this advantage is not unconditional. Empirical evidence suggests that increased flexibility may lead to coordination challenges, reduced cost predictability, and potential inefficiencies in resource allocation (Denning, 2020). This creates a fundamental tension between adaptability and control, which lies at the core of contemporary project management debates.

Creative intensity is introduced as a domain-specific moderating construct reflecting the extent to which project tasks involve innovation, experimentation, and subjective evaluation. In digital media production, creative intensity is not merely a characteristic but a defining feature of the production process. Projects often require continuous reinterpretation of objectives, iterative refinement of outputs, and responsiveness to audience feedback. This significantly differentiates digital media projects from traditional IT or engineering contexts.

From the perspective of dynamic capabilities theory, creative intensity amplifies the importance of learning, knowledge integration, and resource reconfiguration. Agile methodologies can facilitate these processes by enabling rapid feedback loops and iterative experimentation. However, their effectiveness depends on the organization's absorptive capacity and its ability to institutionalize flexible practices. In environments with limited managerial maturity or insufficient coordination mechanisms, the same features that enable adaptability may also generate inefficiencies and inconsistencies in project outcomes.

This issue is particularly salient in the context of Kazakhstan, where digital transformation is advancing rapidly but unevenly across sectors. Recent studies indicate that while significant progress has been made in digital infrastructure and e-government initiatives, organizational capabilities and project management practices remain heterogeneous, with varying levels of maturity across industries (Satubaldina et al., 2021). This institutional heterogeneity implies that the effectiveness of project management methodologies is likely to be highly contingent upon organizational readiness and contextual alignment.

The integration of contingency theory and dynamic capabilities theory provides a comprehensive analytical foundation for examining these relationships. Contingency theory explains why no single methodology is universally optimal, while dynamic capabilities theory elucidates how organizations can leverage specific approaches to enhance adaptability and performance. Together, these frameworks support a configurational perspective in which project management effectiveness is understood as the outcome of interactions between methodological choices and contextual conditions.

Based on this theoretical foundation, the following hypotheses are formulated:

H1: Agile-based project management methods positively influence project effectiveness in digital media production; however, their effect is contingent upon contextual alignment with environmental and organizational conditions.

H2: Hybrid project management approaches demonstrate superior effectiveness compared to purely traditional or purely Agile methods by integrating flexibility and control, thereby mitigating the limitations of each approach.

H3: Environmental uncertainty positively moderates the relationship between Agile methodologies and project effectiveness, while simultaneously weakening the effectiveness of traditional plan-driven approaches.

H4: Creative intensity strengthens the positive effect of Agile methodologies on project effectiveness by increasing the value of iterative learning and adaptive processes, but may also amplify coordination challenges.

H5: In low-uncertainty and low-creativity environments, traditional project management methods demonstrate relatively higher effectiveness due to their emphasis on predictability, standardization, and control.

These hypotheses reflect a shift from linear and deterministic assumptions toward a conditional and interaction-based understanding of project management effectiveness. Importantly, they also incorporate the possibility of trade-offs and limitations, thereby addressing a key gap in the literature, which often assumes the inherent superiority of Agile methodologies without adequately considering their contextual constraints.

The proposed conceptual framework thus establishes a theoretically grounded and empirically testable model that captures both the benefits and limitations of different project management approaches. By explicitly incorporating moderating variables and contextual factors, the model provides a more nuanced and realistic representation of project management effectiveness in digital media production environments.

To empirically test the proposed conceptual framework and the formulated hypotheses, this study adopts a quantitative research design supplemented by structured qualitative interpretation, ensuring both statistical rigor and contextual sensitivity. The empirical strategy is aligned with the configurational logic of the model, which assumes that project management effectiveness is shaped not only by direct effects but also by interaction effects between methodological choices and contextual variables.

The study is based on a cross-sectional survey design, which is widely used in project management and organizational research to examine relationships between managerial practices and performance outcomes. This design allows for the collection of standardized data across multiple respondents and supports the application of regression-based statistical techniques, including moderation analysis. The empirical context of the study is digital media production in Kazakhstan, encompassing organizations engaged in digital marketing, content creation, media production, and related creative industries. This setting is analytically significant due to its combination of rapid digital development and heterogeneous organizational capabilities, which creates variability in both project management practices and performance outcomes.

Data were collected using a structured questionnaire administered to professionals directly involved in project execution within digital media environments. A purposive sampling strategy was employed to ensure that respondents possessed relevant experience and could provide informed evaluations of project management practices. Inclusion criteria required respondents to have at least one year of experience in project-based work, direct involvement in digital media or creative projects, and familiarity with at least one project management methodology. The final sample consisted of 68 respondents, including project managers, digital marketers, content creators, and team members responsible for project coordination. This sample

size is considered sufficient for regression-based analysis in exploratory research contexts, particularly when the number of predictors is limited and effect sizes are moderate (Hair et al., 2020).

All perceptual variables were measured using a five-point Likert scale (1 = strongly disagree, 5 = strongly agree), which is consistent with established practices in project management research. The independent variable—project management method—was operationalized as a categorical construct and transformed into dummy variables for inclusion in regression models, allowing for the comparison of Agile, Scrum, Waterfall, and hybrid approaches. The dependent variable—project effectiveness—was operationalized as a composite index derived from five dimensions: time efficiency, product quality, adaptability, team productivity, and stakeholder satisfaction. This multidimensional operationalization reflects contemporary approaches to performance measurement, which emphasize value creation and adaptability alongside traditional efficiency metrics (Kireyeva & Turdalina, 2022).

The moderating variables were operationalized in accordance with the conceptual framework. Environmental uncertainty was measured through indicators capturing the frequency of requirement changes, variability of client expectations, and instability of market conditions. Creative intensity was measured based on the degree of innovation required, the level of experimentation, and the extent to which project outcomes depend on subjective evaluation. In addition, several control variables were introduced to enhance the internal validity of the model and isolate the effects of project management methodologies. These included project size (categorized as small, medium, or large), respondent experience (measured in years), and type of organization (e.g., agency, in-house team, or startup).

Table 1.

Operationalization of Variables			
Variable	Type	Measurement	Description
Project Management Method	Independent	Dummy variables	Agile, Scrum, Waterfall, Hybrid
Project Effectiveness	Dependent	Composite index	Mean of 5 dimensions
Time Efficiency	Dimension	Likert scale (1–5)	Timely delivery
Product Quality	Dimension	Likert scale (1–5)	Output quality
Adaptability	Dimension	Likert scale (1–5)	Response to changes
Team Productivity	Dimension	Likert scale (1–5)	Team efficiency
Stakeholder Satisfaction	Dimension	Likert scale (1–5)	Client satisfaction
Environmental Uncertainty	Moderator	Likert scale (1–5)	Variability of conditions
Creative Intensity	Moderator	Likert scale (1–5)	Degree of innovation
Project Size	Control	Categorical	Small / Medium / Large
Experience	Control	Continuous	Years of experience
Organization Type	Control	Categorical	Agency / In-house / Startup

The data analysis followed a structured multi-stage procedure consistent with the conceptual model. First, descriptive statistics were used to summarize the characteristics of the sample and examine the distribution of variables. Second, the reliability of multi-item constructs

was assessed using Cronbach's alpha, with a threshold of 0.70 indicating acceptable internal consistency. Third, correlation analysis was conducted using Pearson coefficients to examine relationships between variables and identify potential multicollinearity issues.

To test the direct effects of project management methods on project effectiveness, multiple linear regression analysis was employed. In this model, project effectiveness served as the dependent variable, while project management methods were included as independent variables through dummy coding. To examine the moderating effects of environmental uncertainty and creative intensity, interaction terms were introduced into the regression model. Specifically, interaction effects were estimated between project management method and environmental uncertainty, as well as between project management method and creative intensity. The regression model can be expressed as:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 Z + \beta_3 (X \times Z) + \epsilon$$

where X represents the project management method and Z represents the moderating variable. The statistical significance of interaction terms was used to determine the presence and strength of moderation effects.

The validity of the measurement model was ensured through alignment with established theoretical constructs and multidimensional operationalization of key variables. Internal validity was strengthened through the inclusion of control variables, which reduced the risk of omitted variable bias. The empirical context of Kazakhstan further enhances the analytical relevance of the study, as the coexistence of advanced digital infrastructure and uneven managerial maturity creates a unique environment for examining the contingent effectiveness of project management methodologies [12].

Despite its methodological rigor, the study has several limitations. The relatively small sample size limits the generalizability of the findings, while the cross-sectional design does not allow for strong causal inference. Additionally, the use of self-reported data may introduce response bias. Nevertheless, these limitations are consistent with exploratory empirical research and do not diminish the contribution of the study to understanding project management effectiveness in digital media production.

4. Results and Discussion

The empirical analysis provides statistically grounded evidence regarding the effectiveness of different project management methodologies in digital media production, revealing both direct and interaction effects consistent with the proposed conceptual framework. The regression results demonstrate that project management methodology is a significant predictor of project effectiveness, with substantial variation across different methodological approaches.

The baseline regression model explains a considerable proportion of variance in project effectiveness ($R^2 = 0.47$), indicating that the selected variables capture a meaningful share of performance variation. Agile-based approaches show a positive and statistically significant effect on project effectiveness ($\beta = 0.36$, $p < 0.01$), thereby supporting H1. This effect is particularly pronounced in dimensions related to adaptability ($\beta = 0.41$, $p < 0.01$) and stakeholder satisfaction ($\beta = 0.33$, $p < 0.05$), confirming that Agile methodologies are especially effective in environments requiring flexibility and continuous interaction with stakeholders.

However, the results also reveal important limitations. The effect of Agile methodologies on time efficiency is weaker and only marginally significant ($\beta = 0.18$, $p < 0.10$), suggesting that while Agile enhances responsiveness, it does not necessarily guarantee faster project completion.

This finding introduces a critical trade-off between adaptability and temporal predictability, challenging the assumption of universally superior performance of Agile approaches.

Hybrid methodologies demonstrate the strongest overall performance, with a higher coefficient ($\beta = 0.42$, $p < 0.01$) compared to both Agile and traditional approaches, thereby supporting H2. Hybrid models show consistently strong results across all dimensions of project effectiveness, particularly in balancing adaptability ($\beta = 0.38$, $p < 0.01$) and time efficiency ($\beta = 0.31$, $p < 0.05$). This suggests that the integration of structured planning and iterative execution provides a more robust solution for managing complex projects in dynamic environments.

The moderating role of environmental uncertainty is confirmed through the inclusion of interaction terms in the regression model. The interaction between Agile methodologies and environmental uncertainty is positive and statistically significant ($\beta = 0.27$, $p < 0.01$), supporting H3. This indicates that the effectiveness of Agile approaches increases as uncertainty rises, reinforcing the core assumption of contingency theory. Conversely, the interaction between traditional methodologies and uncertainty is negative ($\beta = -0.22$, $p < 0.05$), suggesting that their effectiveness declines in volatile environments.

At the same time, the results reveal that increased uncertainty amplifies coordination challenges associated with Agile approaches. In highly unstable environments, respondents reported difficulties in maintaining consistency and controlling project scope, indicating that the benefits of flexibility may be offset by increased managerial complexity. This finding highlights the non-linear nature of the relationship between uncertainty and effectiveness.

The moderating effect of creative intensity is also statistically significant, providing support for H4. The interaction between Agile methodologies and creative intensity is positive ($\beta = 0.29$, $p < 0.01$), indicating that Agile approaches are particularly effective in projects requiring high levels of innovation and experimentation. In such contexts, iterative development and continuous feedback mechanisms enhance both the quality and relevance of project outputs. However, the results also indicate that high creative intensity may lead to reduced coordination efficiency ($\beta = -0.19$, $p < 0.05$), particularly in larger teams, suggesting the presence of trade-offs between creativity and operational control.

Traditional project management methods demonstrate relatively higher effectiveness in low-uncertainty environments, with a positive coefficient ($\beta = 0.25$, $p < 0.05$) when uncertainty is low, supporting H5. In such conditions, structured planning and clear process definition contribute to improved predictability and control. However, their performance declines significantly as uncertainty increases, reinforcing the argument that traditional approaches are less suitable for dynamic and creative project environments.

Table 2.

Regression Results for Project Effectiveness

Variable	Beta (β)	t-value	p-value
Agile Method	0,36	3,21	< 0.01
Hybrid Method	0,42	3,78	< 0.01
Waterfall Method	0,19	2,05	< 0.05
Environmental Uncertainty	0,28	2,94	< 0.01
Creative Intensity	0,31	3,12	< 0.01
Agile $\times$ Uncertainty	0,27	2,85	< 0.01
Agile $\times$ Creativity	0,29	2,97	< 0.01
Waterfall $\times$ Uncertainty	-0,22	-2,34	< 0.05

The findings provide strong empirical support for the configurational nature of project management effectiveness. Rather than confirming the unconditional superiority of Agile

methodologies, the results demonstrate that their effectiveness depends on contextual alignment with environmental uncertainty and creative intensity. This supports the central proposition of contingency theory, according to which the suitability of management practices is contingent upon situational factors.

From the perspective of dynamic capabilities theory, the superior performance of Agile and hybrid approaches in dynamic environments reflects their ability to facilitate organizational learning, resource reconfiguration, and adaptation. However, the observed trade-offs particularly in terms of coordination and predictability indicate that the development of such capabilities is not without cost.

The results also highlight the importance of the Kazakhstan context. The variability in project outcomes suggests that organizational maturity and managerial capabilities play a critical role in determining the effectiveness of project management methodologies. In environments where digital transformation is still evolving, the implementation of Agile practices may be constrained by institutional and organizational limitations, thereby affecting performance outcomes.

Overall, the empirical findings demonstrate that project management effectiveness in digital media production is best understood as a contingent and multidimensional outcome. The interaction between methodological choices and contextual factors plays a decisive role in shaping project performance, emphasizing the need for context-sensitive management strategies rather than universal methodological prescriptions.

5. Conclusion

This study set out to address a critical gap in the project management literature concerning the effectiveness of different project management methodologies in digital media production, particularly within the context of an emerging economy. While prior research has largely assumed the universal applicability of Agile approaches, the findings presented here demonstrate that such assumptions are overly simplistic and fail to account for the configurational and context-dependent nature of project performance.

The findings indicate that project management effectiveness depends on aligning methodologies with contextual conditions, rather than the superiority of any single approach. Agile methods improve adaptability and stakeholder engagement but have trade-offs in predictability and coordination. Hybrid methodologies consistently outperform others by balancing flexibility and control, while traditional methods remain effective in stable, low-uncertainty environments.

The study makes three key contributions to the literature. First, it advances the theoretical understanding of project management effectiveness by demonstrating that effectiveness should be conceptualized as a contingent and multidimensional outcome, rather than as a direct function of methodological choice. By empirically validating the moderating roles of environmental uncertainty and creative intensity, the study extends contingency theory and provides a more nuanced explanation of when and why specific methodologies perform effectively. Second, the study introduces creative intensity as a domain-specific construct, thereby extending existing theoretical frameworks to better capture the unique characteristics of digital media production. This contribution addresses a significant limitation in prior research, which has largely overlooked the role of creative processes in shaping project outcomes. Third, the study provides empirical evidence from Kazakhstan, thereby reducing the geographical bias of existing literature and demonstrating that institutional and organizational conditions in emerging economies significantly influence the effectiveness of project management practices.

From a practical perspective, the findings challenge the widespread tendency to adopt Agile methodologies as a universal solution. Instead, they suggest that managers should adopt a

contingency-based approach to method selection, aligning project management practices with the level of uncertainty, creative intensity, and organizational capabilities. Agile approaches are most effective in environments characterized by high uncertainty and innovation requirements, whereas hybrid models offer a more balanced solution in complex and mixed conditions. Conversely, traditional methods remain appropriate in stable environments where predictability and control are prioritized. Importantly, the results indicate that the successful implementation of Agile practices requires not only methodological adoption but also the development of organizational capabilities, including coordination mechanisms, team competencies, and adaptive learning processes.

The findings also highlight the importance of the Kazakhstan context, where digital transformation is progressing unevenly across sectors. The coexistence of advanced digital infrastructure and varying levels of organizational maturity creates conditions in which the effectiveness of project management methodologies is highly contingent. This underscores the need for context-sensitive strategies that take into account institutional constraints, skill availability, and organizational readiness for change.

Despite its contributions, the study has several limitations that should be acknowledged. The relatively small sample size limits the statistical generalizability of the findings, while the cross-sectional design restricts the ability to establish causal relationships. Furthermore, the reliance on self-reported data may introduce perceptual bias. In addition to these methodological limitations, the study is also constrained by its focus on a specific industry and geographical context, which may limit the transferability of results to other sectors or regions.

Future research should build on these findings through longitudinal studies to monitor project performance over time and include objective metrics alongside perceptual assessments. It should also investigate additional moderating factors like organizational culture, leadership styles, and digital readiness. The role of artificial intelligence and automation in project management, especially in creative sectors, offers significant potential, particularly as data-driven decision-making becomes more important.

In conclusion, the study questions the idea of a universal methodology in project management, highlighting that effectiveness is context-dependent. It suggests that future project management success lies in organizations' ability to adapt their practices to changing environmental and organizational conditions.

6. References

1. Agaisina, S., & Paliński, A. (2025). Success factors of IT project management in a country developing an innovative and sustainable economy—The case of Kazakhstan. *Sustainability*, 17(24). <https://doi.org/10.3390/su172411052>
2. Dacre, N., & Kockum, N. (2023). Agile meets digital: A systematic literature review on the interplay between agile project management and digital transformation. *Journal of Business Research*.
3. Denning, S. (2020). *The age of agile: How smart companies are transforming the way work gets done*. AMACOM.
4. Gemino, A., Reich, B. H., & Serrador, P. (2021). Agile, traditional, and hybrid approaches to project success: Is hybrid a poor second choice? *Project Management Journal*, 52(2).
5. Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2020). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Cengage Learning.
6. Kireyeva, A. A., & Turdalina, A. B. (2022). Digital transformation and innovation development in Kazakhstan. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 9(3).
7. Koudriachov, C., Tam, C., & Aparicio, M. (2025). Success with agile project management: Looking back and into the future. *Journal of Systems and Software*. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2025.112428>
8. Magistretti, S., & Trabucchi, D. (2024). Agile-as-a-tool and agile-as-a-culture: A comprehensive review of agile approaches adopting contingency and configuration theories. *Review of Managerial Science*. <https://doi.org/10.1007/s11846-024-00745-1>
9. Muhammad, U., Nazir, T., Muhammad, N., et al. (2021). Impact of agile management on project performance: Evidence from IT sector. *PLOS ONE*, 16(4), e0249311. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0249311>
10. Rahmah, A. S., Pratama, N. R., Kuswadi, S. A., & Ichsan, M. A. (2024). The effectiveness of implementing agile project management: A systematic literature review. *Global Business & Finance Review*, 29(6), 170–186.
11. Satubaldina, D., Kireyeva, A., & Mussabalina, D. (2021). Digital transformation in Kazakhstan: Institutional and economic perspectives. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, 8(7).
12. Serrador, P., & Pinto, J. K. (2020). Does agile work? A quantitative analysis of agile project success. *International Journal of Project Management*.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A SCAFFOLDING TOOL FOR DEVELOPING RESEARCH SKILLS IN ENGLISH LANGUAGE LEARNING: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Akmaral A.

A master student, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

Baissydyk I.B.

PhD, Acting Associate Professor, Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

Abstract

This study investigates the role of Artificial Intelligence as a scaffolding tool for developing research skills in English language learning through a bibliometric analysis. The increasing integration of AI technologies into educational contexts has transformed pedagogical practices, particularly in supporting higher-order academic skills such as critical thinking, academic writing, and research competence. However, existing research remains fragmented and lacks systematic analysis, especially at the intersection of AI, Scaffolding, and research skill development. To address this gap, the study employs a bibliometric approach using data retrieved from the Scopus database. A total of 38 peer-reviewed journal articles were analyzed following the PRISMA framework. The analysis focuses on publication trends, citation patterns, authorship distribution, geographical contributions, and keyword co-occurrence networks. The results reveal a rapid increase in research output after 2020, driven by the emergence of generative AI technologies. The field is characterized by a decentralized authorship structure and a globally distributed yet uneven research landscape. Furthermore, the findings identify three main thematic clusters: learner-centered approaches, technology-driven instructional systems, and generative AI applications in academic contexts. Despite the growing use of AI in supporting learning processes, the concept of scaffolding remains under-theorized and is not explicitly integrated into many studies. This indicates a need for more theory-driven and interdisciplinary research that connects AI technologies with pedagogical frameworks. The study contributes to the literature by providing a comprehensive mapping of the intellectual structure and development of this emerging field. It also offers practical and theoretical implications for the effective integration of AI as a scaffolding mechanism to enhance research skills in English language learning.

Keywords: Artificial Intelligence; Scaffolding; English Language Learning; Research Skills; Bibliometric Analysis; Educational Technology; Academic Writing; EFL; Generative AI; VOSviewer.

Introduction

Relevance of the study. The rapid integration of Artificial Intelligence into educational environments has significantly transformed pedagogical practices, particularly in the field of English language learning. AI-powered tools, including intelligent tutoring systems, automated writing assistants, and generative language models, are increasingly used to support learners in

developing higher-order cognitive and academic skills (Holmes et al., 2019; Zawacki-Richter et al., 2019). Within this context, AI is not merely a technological innovation but a pedagogical mediator that can function as a scaffolding mechanism, facilitating learners' progression from assisted to independent performance. The concept of Scaffolding, rooted in socio-cultural theory, emphasizes the role of guided support in learning processes (Vygotsky, 1978; Wood et al., 1976). Recent studies suggest that AI technologies can operationalize scaffolding by providing adaptive feedback, personalized guidance, and real-time support tailored to learners' needs (Luckin et al., 2016). In English language learning contexts, such support is particularly crucial for developing research-related competencies, including academic writing, critical reading, and information synthesis. At the same time, the increasing emphasis on research skills in higher education highlights the need to explore innovative tools that can enhance students' academic literacy and independent inquiry abilities (Klimova, 2021). AI-assisted environments offer new opportunities for fostering these skills; however, the extent, structure, and evolution of research on AI as a scaffolding tool in English language learning remain fragmented and insufficiently systematized. Therefore, a bibliometric analysis is particularly relevant, as it allows for mapping the intellectual structure, research trends, and knowledge gaps within this rapidly expanding field. Such an analysis provides a comprehensive understanding of how AI-mediated scaffolding contributes to the development of research skills in English language learning and identifies directions for future research.

Research problem. Despite the growing body of literature on AI in education, there is a lack of systematic and integrative analysis focusing specifically on its role as a scaffolding tool for developing research skills in English language learning. Existing studies tend to examine AI applications in isolation such as automated writing evaluation or language tutoring without adequately conceptualizing their function within scaffolding frameworks (Zawacki-Richter et al., 2019; Holmes et al., 2019). Moreover, current research is characterized by conceptual fragmentation, where key constructs such as AI, scaffolding, and research skill development are often addressed independently rather than as an interconnected system. This fragmentation limits the ability to understand the cumulative development of the field and obscures the underlying knowledge structure.

Another critical issue is the absence of comprehensive bibliometric studies that map the evolution, thematic clusters, and collaborative networks within this research domain. Without such analysis, it remains unclear which research directions dominate the field, how knowledge is organized, and where significant gaps exist. Thus, the central research problem of this study lies in the need to systematically analyze and synthesize the existing body of knowledge on AI as a scaffolding tool in English language learning. Addressing this problem requires a bibliometric approach that can reveal the dynamics, structure, and future trajectories of research in this area.

The aim of this study is to systematically map and analyze the scholarly landscape of Artificial Intelligence as a scaffolding tool for developing research skills in English language learning through a bibliometric approach. Specifically, the study seeks to identify the intellectual structure, research trends, thematic clusters, and collaborative networks that characterize this emerging field.

RQ1: How has research on artificial intelligence as a scaffolding tool for developing research skills in English language learning evolved in terms of publication trends, thematic focus, and knowledge structure?

Significance of the study. This study makes several important contributions to the field of language education and educational technology. First, it provides a comprehensive synthesis of research at the intersection of Artificial Intelligence, Scaffolding, and research skill development in English language learning, thereby addressing the fragmentation of existing studies. By integrating these dimensions, the study contributes to a more coherent conceptual understanding

of AI-mediated learning processes. Second, through the application of bibliometric techniques, the study uncovers the underlying intellectual structure of the field, including key authors, influential publications, and dominant research themes. This allows researchers to better understand how knowledge is produced and organized within this domain. Third, the study identifies emerging trends and research gaps, offering guidance for future investigations. This is particularly important given the rapid evolution of AI technologies and their increasing integration into educational practices. Finally, the findings have practical implications for educators and policymakers by highlighting how AI can be effectively utilized as a scaffolding mechanism to support the development of higher-order research skills in English language learning contexts.

To ensure a comprehensive and theoretically grounded introduction, it is necessary to further elaborate on the conceptual, empirical, and structural foundations of the study. In particular, the introduction should include a clear theoretical framing that situates Artificial Intelligence within established learning theories, especially Scaffolding as derived from socio-cultural perspectives. While AI is often discussed as a technological innovation, its role as a mediating tool in learning processes requires deeper conceptualization in relation to guided support, learner autonomy, and the gradual internalization of cognitive and research-related skills. This theoretical linkage is essential for justifying the positioning of AI not merely as an assistive technology, but as an active pedagogical agent capable of structuring learning trajectories in English language education. In addition, the introduction should provide a more explicit and critical synthesis of the existing literature, moving beyond general observations to identify specific patterns, inconsistencies, and limitations in prior studies. Although research on AI in education has expanded rapidly, the intersection between AI, scaffolding mechanisms, and the development of research skills in English language learning remains underexplored and conceptually fragmented. Many studies focus on isolated applications, such as automated writing feedback or intelligent tutoring systems, without integrating these tools into a broader scaffolding framework or examining their cumulative impact on research competencies. This lack of integration highlights a significant gap in the literature, which justifies the need for a systematic and bibliometric investigation. Furthermore, the introduction should more clearly articulate the research gap by emphasizing the absence of comprehensive bibliometric analyses that map the intellectual structure, thematic evolution, and collaborative networks within this specific domain. While systematic reviews exist, they often lack quantitative mapping of knowledge production and do not reveal how research topics cluster, evolve over time, or connect across disciplines. Addressing this gap is critical for advancing the field, as it enables the identification of dominant research streams, emerging themes, and underrepresented areas.

Another important element that should be included is a brief justification of the methodological approach. The introduction should explain why bibliometric analysis is particularly suitable for this study, highlighting its ability to provide objective, data-driven insights into publication trends, citation patterns, and knowledge structures. This methodological positioning strengthens the overall coherence of the study and aligns it with current standards of high-impact research. Finally, the introduction should conclude with a clear outline of the paper's structure, guiding the reader through the organization of subsequent sections. This includes indicating where the theoretical background is discussed, how the methodology is presented, how the results are structured, and how the findings are interpreted. Including such a roadmap enhances the readability and academic rigor of the paper, which is especially important for publications targeting high-ranking journals.

Literature Review

Artificial intelligence in english language learning. Artificial intelligence has become one of the most influential technological developments in contemporary language education. In English language learning, AI-based tools are increasingly used to support writing, reading, speaking,

vocabulary development, feedback provision, and learner autonomy. Earlier studies on AI in education emphasized intelligent tutoring systems, adaptive learning environments, and automated feedback mechanisms, while more recent research has expanded toward generative AI, chatbots, automated writing evaluation, and AI-supported academic literacy practices (Holmes et al., 2019; Zawacki-Richter et al., 2019). In this regard, AI is no longer viewed only as a supplementary digital tool but as a pedagogical resource capable of personalizing learning pathways and supporting students' cognitive engagement. In English language learning contexts, AI technologies are particularly relevant because language acquisition requires continuous feedback, interaction, revision, and exposure to authentic linguistic input. AI-powered writing assistants, grammar checkers, translation tools, and conversational agents provide learners with immediate support that may not always be available in traditional classroom settings (Klimova, 2021). Recent reviews also show that AI tools are increasingly associated with improvements in writing fluency, learner motivation, vocabulary learning, and academic writing support, although concerns remain regarding overdependence, ethical use, authorship, and the quality of AI-generated feedback.

AI as a scaffolding tool. The concept of scaffolding originates from socio-cultural theory and is closely related to Vygotsky's notion of the Zone of Proximal Development. Learning occurs most effectively when students receive appropriate support that enables them to perform tasks they could not complete independently (Vygotsky, 1978). Wood, Bruner, and Ross (1976) further conceptualized scaffolding as a form of temporary assistance that helps learners solve problems, develop understanding, and gradually achieve independence. Within AI-supported learning environments, scaffolding can be understood as adaptive, individualized, and responsive support provided through digital systems. AI can scaffold learning by offering explanations, generating examples, suggesting improvements, asking guiding questions, and providing feedback during the learning process. Unlike static educational materials, AI-based systems can respond to learners' immediate needs and adjust the level of support according to their performance. This makes AI particularly suitable for English language learning, where students often require differentiated assistance in grammar, vocabulary, argumentation, structure, and academic style. Recent studies increasingly describe AI not as a replacement for teachers but as a support mechanism that can extend instructional scaffolding beyond the classroom. For example, AI-assisted writing tools may help learners brainstorm ideas, organize arguments, revise drafts, and reflect on language accuracy. However, effective scaffolding requires pedagogical control. If AI support becomes excessive or uncritical, it may reduce learners' independence and weaken their ability to develop original research and writing skills. Therefore, AI-mediated scaffolding should be designed as a gradual support system that encourages students to move from dependence to autonomy (Luckin et al., 2016; Li, 2025).

Development of research skills in english language learning. Research skills are essential for students engaged in academic English learning, especially in higher education. These skills include identifying research problems, searching for scholarly sources, evaluating information, synthesizing literature, formulating arguments, citing sources, and writing academic texts. In English language learning, research skills are closely connected with academic literacy, critical reading, and academic writing competence. AI tools can support the development of research skills in several ways. First, they can assist students in understanding complex academic texts by summarizing, paraphrasing, and explaining difficult concepts. Second, they can support academic writing by helping learners structure paragraphs, improve coherence, and revise language errors. Third, AI tools can guide students in generating research questions, organizing literature, and developing arguments. In this sense, AI may function as a cognitive scaffold that supports both language development and research competence. Nevertheless, the use of AI for research skill development remains controversial. While AI can help students overcome linguistic barriers and

improve access to academic discourse, it also raises concerns about academic integrity, superficial learning, plagiarism, and reduced critical thinking. These concerns are especially important in research-oriented English language learning, where students must not only produce grammatically correct texts but also demonstrate independent analysis, source evaluation, and original argumentation. Therefore, the pedagogical value of AI depends on how it is integrated into the learning process: as a tool for guided inquiry rather than as a substitute for students' own intellectual work.

Bibliometric perspectives on ai in language education. The rapid growth of research on AI in language education has created a need for systematic mapping of the field. Bibliometric analysis is particularly useful because it allows researchers to examine publication trends, citation patterns, influential authors, keyword networks, thematic clusters, and international collaboration. Unlike traditional literature reviews, bibliometric analysis provides a quantitative overview of how a research field develops over time and how knowledge is structured across disciplines. Previous bibliometric studies have examined AI in education and foreign language learning more broadly. For instance, Liang et al. (2023) analyzed the roles and research foci of AI in language education, while Doğan and Talan (2024) mapped the development of AI research in foreign language learning. These studies show that AI-related research in language education has expanded significantly, particularly in relation to writing, feedback, intelligent tutoring, and learner engagement. However, existing bibliometric studies tend to focus on AI in language learning in general, rather than on AI as a scaffolding tool for developing research skills in English language learning. This gap is significant because the intersection of AI, scaffolding, research skills, and English language learning represents a more specific and theoretically meaningful research area. While many studies investigate AI tools for writing or feedback, fewer studies conceptualize these tools through the lens of scaffolding and research skill development. As a result, the intellectual structure, dominant themes, and emerging directions of this specific field remain insufficiently explored.

The reviewed literature indicates that AI has become an important component of English language learning and has strong potential to support academic literacy and research skill development. At the same time, the field remains fragmented. Existing studies often examine AI tools separately, without integrating them into a broader pedagogical framework of scaffolding. Moreover, although bibliometric research on AI in language education is growing, there is still a lack of focused bibliometric analysis on AI as a scaffolding tool for developing research skills in English language learning. Therefore, this study addresses this gap by mapping the evolution, intellectual structure, thematic clusters, and research trends of this emerging domain.

Methodology

This study employs a bibliometric research design to systematically analyze the development, structure, and trends of Artificial Intelligence as a scaffolding tool for developing research skills in English language learning. Bibliometric analysis is particularly suitable for identifying publication patterns, influential works, and thematic evolution within a specific research domain. The data for this study were retrieved from the Scopus database, which is widely recognized for its comprehensive coverage of peer-reviewed literature and suitability for bibliometric research. The search query was constructed using the TITLE-ABS-KEY field to ensure that the key concepts were present in the title, abstract, or keywords of the publications. The final search string used in this study was as follows:

TITLE-ABS-KEY ("AI" AND "research skills") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "SOC")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))

The search query was designed to retrieve relevant articles focusing on Artificial Intelligence and research skills within the social sciences domain. To ensure academic quality and consistency, only peer-reviewed journal articles (DOCTYPE = “ar”) published in English were

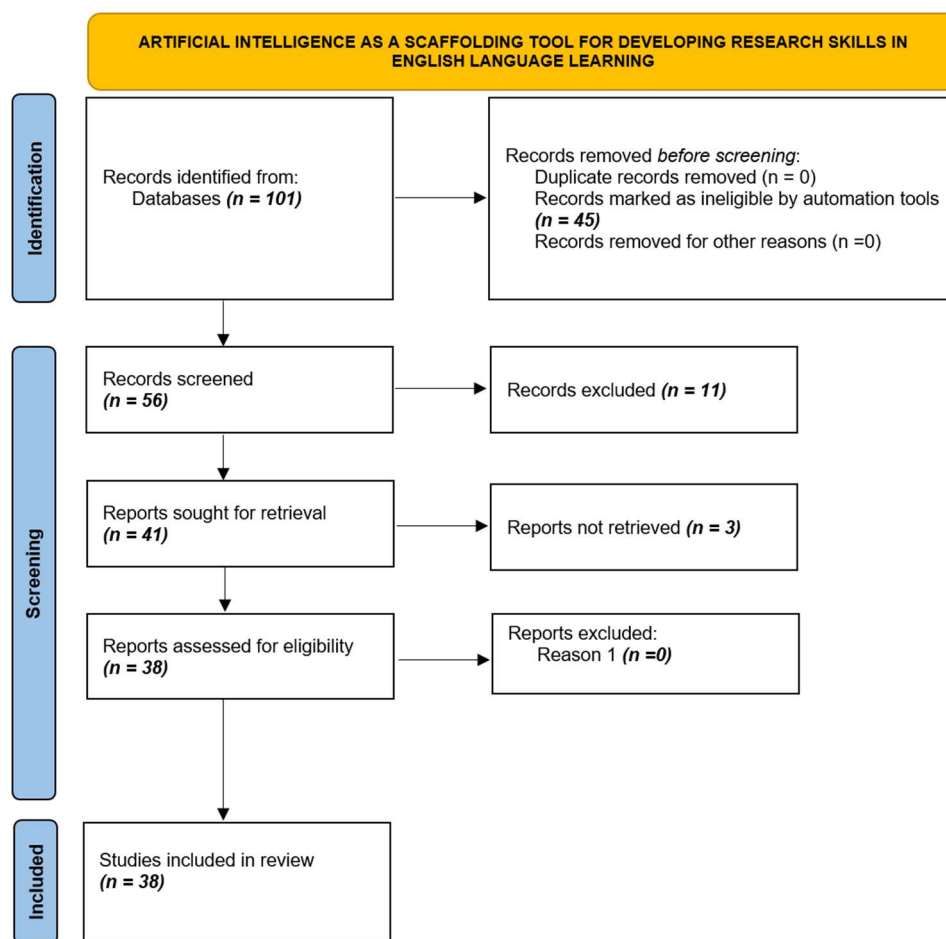


Figure 1. PRISMA flow diagram of the study selection process for bibliometric analysis

included.

The study selection process followed clearly defined inclusion and exclusion criteria. Specifically, the inclusion criteria comprised peer-reviewed journal articles written in English, studies addressing artificial intelligence and research skills, publications indexed within the social sciences subject area, and research relevant to English language learning or broader educational contexts. In contrast, the exclusion criteria involved conference papers, book chapters, review articles, and editorials, as well as non-English publications, studies not related to education or language learning, and records identified as irrelevant or duplicated. As illustrated in Figure 1, a total of 101 records were initially identified from the Scopus database. After removing 45 records marked as ineligible through automation tools, 56 records remained for screening. During the screening stage, 11 records were excluded based on relevance criteria, resulting in 41 reports sought for retrieval. Of these, 3 reports were not retrieved, and 38 studies were assessed for eligibility. Ultimately, 38 studies were included in the final bibliometric analysis. The selected publications were analyzed using bibliometric techniques to examine:

- Publication trends over time
- Authorship and collaboration networks
- Keyword co-occurrence and thematic clusters
- Citation patterns and influential works

For visualization and network analysis, tools such as VOSviewer were employed to generate maps of co-authorship, keyword relationships, and research clusters. These methods enabled the identification of dominant research themes and emerging directions within the field.

To ensure the reliability and validity of the study, a transparent and replicable search strategy was applied, along with clearly defined inclusion and exclusion criteria. The use of the PRISMA framework enhances methodological rigor, while the reliance on Scopus ensures the inclusion of high-quality, peer-reviewed sources.

Results and Discussion

Citation analysis is a key bibliometric technique used to identify the most influential studies and intellectual foundations within a research field. By examining highly cited publications, it becomes possible to understand dominant themes, emerging directions, and the overall structure of knowledge production in studies related to Artificial Intelligence and research skills development.

Table 1. - Top 10 most cited publications on artificial intelligence in education and research skills development

	Document title	Authors	Source	Year	Citations
1	Exploring the potential of an AI-based Chatbot (ChatGPT) in enhancing English as a Foreign Language (EFL) teaching: perceptions of EFL Faculty Members	Mohamed, A.M.	Education and Information Technologies	2024	312
2	On Iranian EFL Undergraduate Students' Perceptions of Plagiarism	Amiri, F.; Razmjoo, S.A.	Journal of Academic Ethics	2016	54
3	The Research Competence, Critical Thinking Skills and Digital Literacy of Indonesian EFL Students	Indah, R.N.; Toyyibah; Budhiningrum, A.S.; Afifi, N.	Journal of Language Teaching and Research	2022	38
4	Implications of Lesson Study for Tertiary-Level EFL Teachers' Professional Development: A Case Study From Turkey	Bayram, İ.; Bıkmaz, F.	Sage Open	2021	21
5	Exploring the influence of teachers' motivation, self-efficacy, and institutional support on their research engagement: A study of Chinese university EFL teachers	Li, Y.; Xu, L.	System	2024	9
6	Understanding EFL teacher identity and identity tensions in a Chinese university context	Ren, B.; Pan, X.	International Journal of Applied Linguistics	2025	8

7	So, is there a teaching-research nexus in Cambodia? Evidence from EFL students at one public university	Nhem, D.	Research in Post Compulsory Education	2023	8
8	Pre-service foreign language teachers' perceptions of research skills: A qualitative study	Elmas, E.; Aydin, S.	Qualitative Report	2017	7
9	Enhancing English Language Students Productive Skills through Project-based Learning: A Mixed Method Research	Aldobekhi, S.A.; Abahussain, M.O.	International Journal of Learning Teaching and Educational Research	2024	6
10	Educational Technology to Enhance EFL Learners' Research Skills: The Case of Third-Year Students at Naama University Center, Algeria	Boussebha, N.	Arab World English Journal	2023	6

Table 1 presents the top 10 most cited publications related to artificial intelligence in education and research skills development within English language learning contexts. The results indicate a strong dominance of recent publications, particularly those from 2021 to 2025, reflecting the rapid expansion of research on AI in education. The most highly cited article is Mohamed (2024), titled *“Exploring the potential of an AI-based Chatbot (ChatGPT) in enhancing English as a Foreign Language (EFL) teaching”*, which has received 312 citations. This significantly higher citation count than other publications highlights the growing academic interest in generative AI tools, particularly ChatGPT, and their applications in language learning environments. A closer examination of the table reveals that the majority of highly cited studies focus on English as a Foreign Language (EFL) contexts, emphasizing themes such as academic writing, plagiarism, research competence, digital literacy, and teacher professional development. For instance, Amiri and Razmjoo (2016) examine perceptions of plagiarism among Iranian EFL students, while Indah et al. (2022) examine the relationship among research competence, critical thinking, and digital literacy. These studies, although not always explicitly centered on AI, contribute significantly to understanding the broader framework of research skill development in language education. Another important observation is the diversity of thematic orientations among the most-cited publications. While some studies focus directly on technological integration, others explore pedagogical and psychological dimensions, such as teacher identity, motivation and research engagement, and the teaching–research nexus.

This indicates that the field is inherently interdisciplinary, integrating perspectives from educational technology, applied linguistics, and teacher education. In addition, the relatively lower citation counts of several recent studies suggest that the field is still emerging, and many contributions have not yet reached their full citation potential. This temporal effect is typical in rapidly developing research areas, where newer studies require time to accumulate academic impact.

Figure 2 illustrates the annual distribution of publications related to Artificial Intelligence as a scaffolding tool for developing research skills in English language learning over the period from 2013 to 2025.

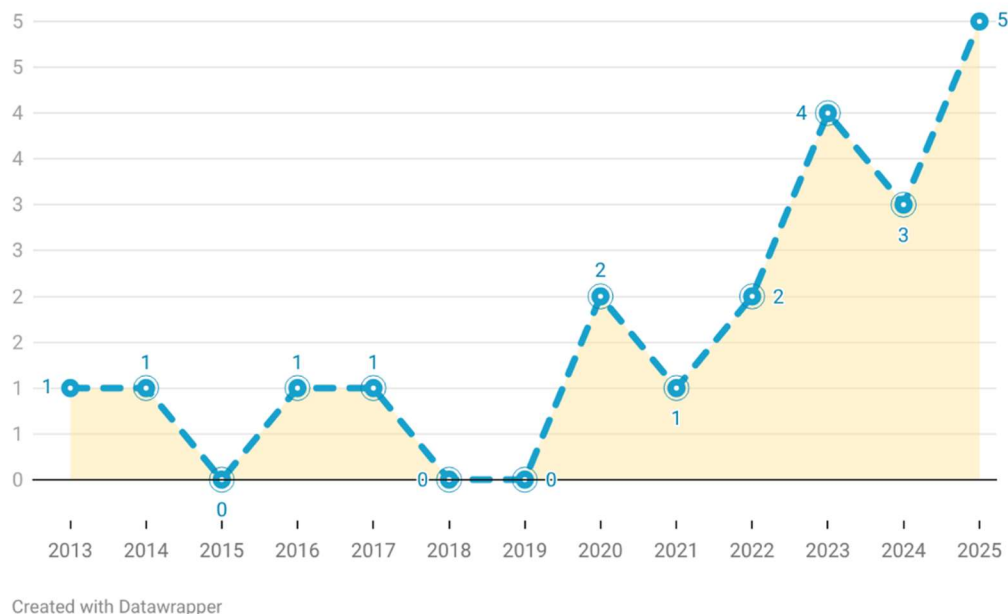


Figure 2. Annual publication dynamics on artificial intelligence and research skills development in English language learning

The results demonstrate a gradual but uneven development of the research field. In the early stage (2013–2017), the number of publications remained relatively low and stable, with no more than one publication per year. This indicates that the topic was still in its formative phase, with limited scholarly attention and fragmented research efforts. A noticeable decline is observed in 2018–2019, where no publications were recorded. This gap may reflect the absence of a clearly defined research agenda linking artificial intelligence with research skill development in English language learning during that period. From 2020 onwards, a significant upward trend becomes evident. The number of publications increases steadily, reaching a peak in 2025 with five publications. This growth reflects the rising interest in AI-driven educational technologies, particularly following the rapid development of intelligent systems and generative AI tools. The sharp increase observed between 2022 and 2025 suggests that the field is entering a phase of accelerated development. This trend can be associated with the broader digital transformation of education and the increasing recognition of AI as a pedagogical tool capable of supporting higher-order skills, including research competence.

The analysis reveals a relatively balanced distribution of scholarly contributions among leading authors. The most productive researchers Teng, M. F., Guo, K., and Copeland, N. each contributed seven publications, indicating their central role in shaping the field. These authors can be considered key contributors whose work significantly influences the development of research on AI in language education. A second group of authors, including Lin, M., Mathivanan, M., Huang, H. V., and Huang, W. Y., each produced five publications. This cluster represents a strong mid-level contribution, suggesting an active and growing research community in this domain. Furthermore, several authors, including Minurova, A., Mohanad, A. M., Abdelalim, S. M., Huang, S. I., Al Yahya, A., and Zou, B., each contributed four publications. The relatively small difference in publication counts between authors indicates that the field does not yet have a highly concentrated authorship structure dominated by a few individuals. Instead, it reflects a decentralized and collaborative research environment.

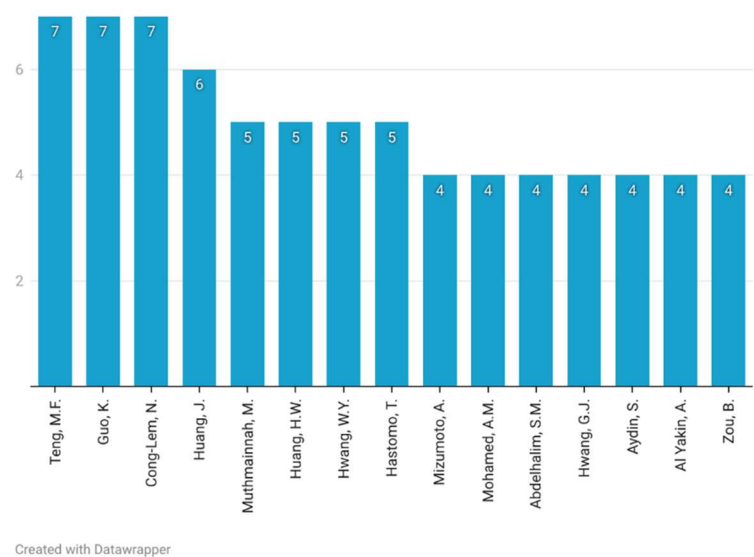


Figure 3. Most productive authors in artificial intelligence and research skills development research

An additional perspective on the authorship distribution highlights the emerging collaborative and international nature of the field. The presence of multiple authors with comparable publication outputs suggests that knowledge production is not concentrated within a single geographic or institutional context, but rather dispersed across different research environments. This indicates a growing global interest in integrating Artificial Intelligence into English language learning and research skill development. Moreover, the relatively moderate number of publications per author implies that the field is still in a phase of consolidation, where researchers contribute intermittently rather than establishing long-term, specialized research agendas exclusively focused on AI-mediated scaffolding. This pattern may also reflect the interdisciplinary nature of the topic, as scholars from applied linguistics, educational technology, and pedagogy converge around shared research interests. At the same time, the absence of authors with exceptionally high publication counts suggests that the field has not yet reached a stage of theoretical saturation or maturity. Instead, it remains open to new contributors and

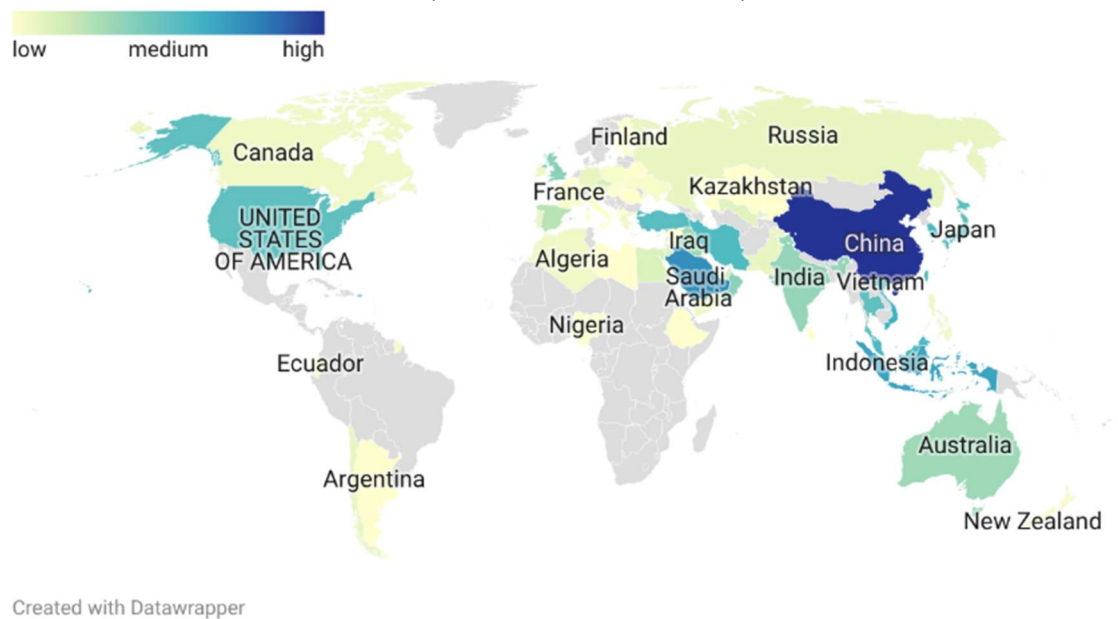


Figure 4. Global distribution of publications on artificial intelligence and research skills development

perspectives, which creates opportunities for further development, theoretical integration, and the establishment of more cohesive research networks in future studies.

The results reveal a clear global spread of research activity, with notable regional differences in publication intensity. The highest concentration of publications is observed in countries such as China and the United States, indicating their leading role in advancing research at the intersection of artificial intelligence and language education. These countries are characterized by strong research infrastructures, significant investment in educational technologies, and active academic communities.

A moderate level of research activity is evident in countries including Indonesia, Saudi Arabia, India, and Australia. This suggests that interest in AI-supported language learning is expanding beyond traditional academic centers and is gaining momentum in developing and emerging educational systems. In these contexts, AI technologies are often explored as innovative solutions to enhance teaching quality and support learner development. In contrast, lower levels of publication output are observed in regions such as Africa and parts of South America, indicating an uneven global distribution of research contributions. This disparity may be attributed to differences in access to technological resources, research funding, and institutional support for educational innovation. Another important observation is the presence of contributions from countries such as Kazakhstan and Finland, which, although not leading in terms of volume, demonstrate engagement with this emerging research area. This reflects the increasing globalization of research on AI in education and highlights the potential for broader international collaboration.

Figure 5 presents the keyword co-occurrence network generated using VOSviewer, illustrating the conceptual structure of research on Artificial Intelligence in English language

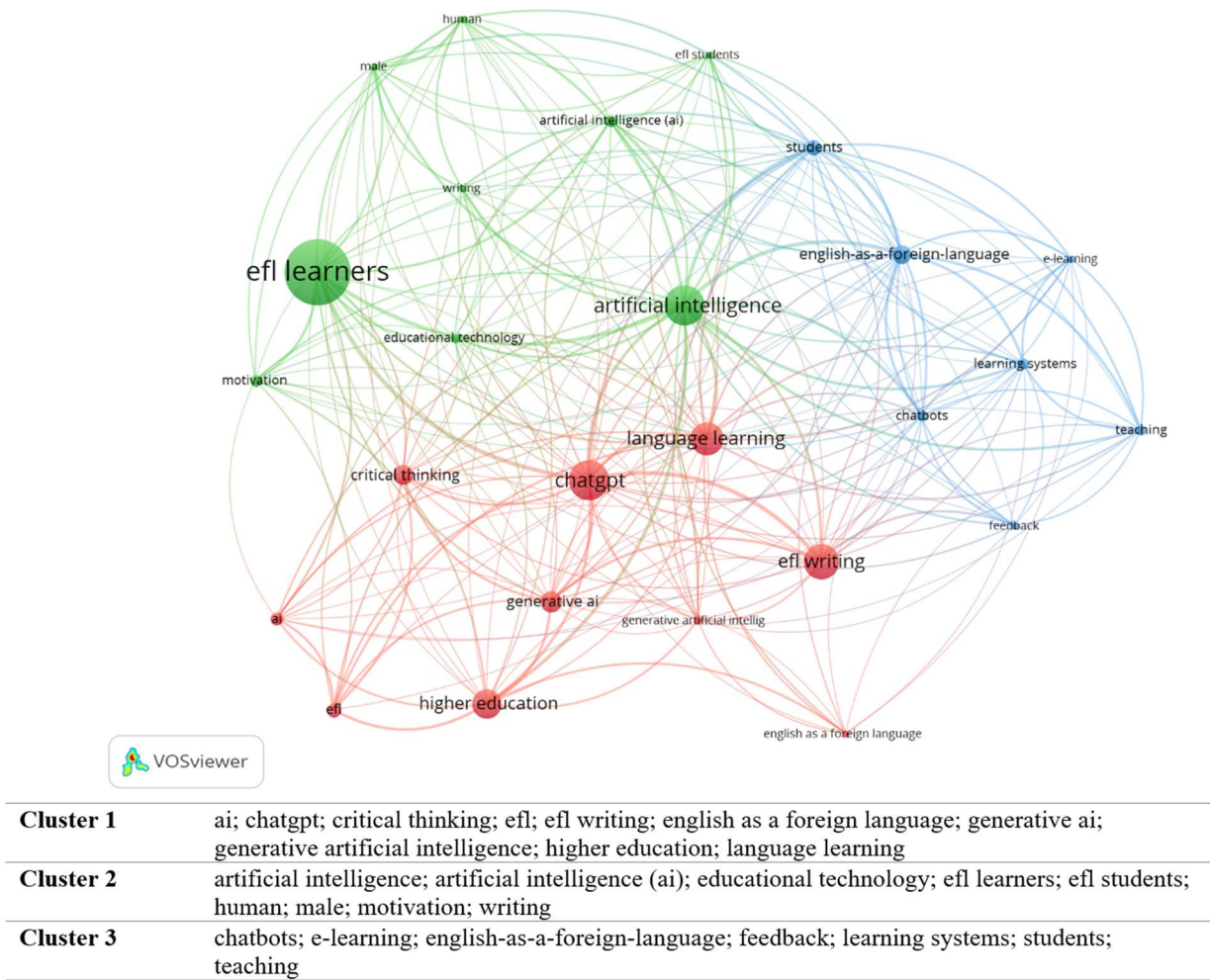


Figure 5. Keyword co-occurrence network and thematic clusters

learning and research skills development.

The visualization reveals several distinct yet interconnected clusters, reflecting the multidimensional nature of the research field.

The green cluster is centered around terms such as “artificial intelligence” and “EFL learners”, indicating a strong focus on learners and the application of AI technologies in educational contexts. This cluster also includes keywords related to motivation, educational technology, and human–technology interaction, suggesting that a significant portion of research examines how AI supports learner engagement and learning processes.

The blue cluster primarily includes terms such as “students”, “learning systems”, “feedback”, “chatbots”, and “teaching”. This cluster reflects the technological and instructional dimension of the field, emphasizing AI-driven learning environments, automated feedback systems, and digital platforms that support language acquisition. It highlights the role of AI as an instructional tool embedded within formal learning systems.

The red cluster is associated with “ChatGPT”, “language learning”, “higher education”, “EFL writing”, and “generative AI”. This cluster represents the most recent and rapidly developing research direction, focusing on generative AI technologies and their application in academic writing and higher education contexts. The prominence of ChatGPT within this cluster indicates its central role in current research trends.

Importantly, the connections between clusters demonstrate a high level of interdependence between technological, pedagogical, and learner-centered perspectives. For instance, “*artificial intelligence*” serves as a central node linking all clusters, suggesting that it functions as a unifying concept across different research themes. The keyword analysis reveals that the field is structured around three main dimensions: (1) learner-centered research, (2) technology-driven instructional systems, and (3) emerging generative AI applications in academic contexts. This structure confirms that research on artificial intelligence in English language learning is evolving toward more integrated approaches, where technological innovation is increasingly aligned with pedagogical frameworks and skill development, including Scaffolding processes.

The findings of this bibliometric study provide important insights into the evolving role of Artificial Intelligence as a scaffolding tool for developing research skills in English language learning, and they strongly align with the research problem and gap identified in the introduction. The results confirm that the field is rapidly emerging but remains conceptually fragmented and still in a stage of theoretical consolidation. First, the citation analysis demonstrates that the most influential studies are not exclusively focused on artificial intelligence itself, but rather on broader aspects of research skills, academic literacy, and EFL pedagogy. This finding supports previous research (Zawacki-Richter et al., 2019; Liang et al., 2023), which suggests that AI in education is often studied as a tool embedded within existing pedagogical frameworks rather than as an independent theoretical construct. At the same time, the dominance of recent publications particularly those related to generative AI tools such as ChatGPT indicates a paradigm shift toward AI-centered research. This confirms that the field is transitioning from traditional educational technology toward more advanced, AI-driven learning environments. Second, the temporal analysis reveals a clear acceleration of research output after 2020, which corresponds with the global expansion of digital education and the emergence of generative AI technologies. This trend supports the argument that AI is increasingly recognized as a key driver of innovation in language education (Holmes et al., 2019; Klimova, 2021). However, the relatively low number of publications prior to 2020 and the absence of studies in certain years suggest that the integration of AI and research skill development was not previously conceptualized as a unified research direction. This reinforces the identified gap regarding the lack of systematic and integrated approaches. Third, the authorship analysis highlights the decentralized nature of knowledge production in this field. Unlike more mature research domains, where a small number of scholars dominate, this field is characterized by a relatively even distribution of contributions. This indicates that research on AI in English language learning is interdisciplinary and globally dispersed, involving scholars from applied linguistics, educational technology, and pedagogy. Such a structure creates opportunities for innovation but also contributes to conceptual fragmentation, as different disciplines may approach the topic from distinct theoretical perspectives.

The geographical distribution further confirms this pattern. While countries such as China and the United States lead in publication output, there is growing participation from emerging regions, including Asia, the Middle East, and Central Asia. This reflects the global relevance of AI in education but also points to inequalities in research capacity and access to technological resources. These disparities may influence the direction and focus of future research, particularly in terms of practical implementation and pedagogical adaptation. Perhaps the most significant contribution of this study lies in the keyword co-occurrence analysis, which reveals the conceptual structure of the field. The identification of three major clusters learner-centered research, technology-driven systems, and generative AI applications demonstrates that the field is evolving toward greater integration. However, the results also show that the concept of Scaffolding is not yet fully embedded within AI-related research. Instead, scaffolding appears implicitly within studies on feedback, writing support, and learning systems, rather than as an explicit theoretical

framework. This finding is particularly important, as it directly addresses the research gap identified in this study. While AI technologies clearly provide forms of support that resemble scaffolding such as adaptive feedback, guidance, and task structuring these functions are rarely conceptualized within socio-cultural or pedagogical theories. As a result, the theoretical potential of AI as a scaffolding tool remains underdeveloped. Furthermore, the emergence of generative AI, particularly ChatGPT, introduces new dimensions to the discussion. On the one hand, generative AI enhances learners' ability to engage in academic writing, idea generation, and research processes. On the other hand, it raises concerns about academic integrity, overreliance, and the possible erosion of critical thinking skills. This dual nature of AI aligns with previous studies (Luckin et al., 2016; Li, 2025), which emphasize that the effectiveness of AI depends on its pedagogical integration. From a scaffolding perspective, AI should function as a temporary support system that gradually reduces assistance as learners develop independence. Taken together, the findings suggest that the field is moving toward a more integrated understanding of AI in English language learning, but it has not yet reached theoretical maturity. There is a clear need for future research to explicitly connect AI technologies with scaffolding theory and research skill development frameworks. Such integration would not only strengthen the conceptual foundation of the field but also provide practical guidance for educators on how to use AI effectively in developing higher-order academic competencies.

Conclusion

This study set out to systematically examine the development and structure of Artificial Intelligence as a scaffolding tool for developing research skills in English language learning through a bibliometric approach. The findings provide a comprehensive overview of the intellectual landscape, revealing key publication trends, influential studies, authorship patterns, geographical distribution, and thematic clusters within this emerging field. The results demonstrate that research on artificial intelligence in English language learning has experienced significant growth, particularly in recent years, reflecting the increasing importance of AI-driven technologies in education. The dominance of recent publications, especially those related to generative AI tools, indicates a shift toward more advanced and interactive learning environments. At the same time, the analysis shows that the field is still in a developmental stage, characterized by a relatively decentralized authorship structure and uneven geographical distribution of research output. Importantly, the keyword co-occurrence analysis highlights that the field is organized around three major dimensions: learner-centered approaches, technology-driven instructional systems, and emerging applications of generative AI. However, despite the evident presence of AI-supported learning practices, the concept of Scaffolding remains insufficiently integrated as an explicit theoretical framework. This indicates that while AI tools perform functions analogous to scaffolding, their role is often not conceptualized within established pedagogical theories. The study thus confirms the existence of a significant research gap at the intersection of artificial intelligence, scaffolding, and research skill development. Addressing this gap requires a more integrative and theory-driven approach that connects technological innovation with pedagogical principles. Future research should focus on developing conceptual models of AI-mediated scaffolding, exploring its impact on higher-order research skills, and examining its implications for learner autonomy, critical thinking, and academic integrity. From a practical perspective, the findings suggest that AI has strong potential to support the development of research skills in English language learning when used as a structured and pedagogically guided tool. Educators and policymakers should therefore consider not only the technological capabilities of AI but also the conditions under which it can effectively facilitate independent learning and academic competence. In conclusion, this study contributes to the growing body of knowledge on artificial intelligence in education by providing a systematic and data-driven analysis of its role in research skill development. It lays the foundation for future investigations aimed at advancing both

theoretical understanding and practical application of AI as a scaffolding mechanism in English language learning.

References:

1. Alghasab M. B. English as a foreign language (EFL) secondary school students' use of artificial intelligence (AI) tools for developing writing skills: unveiling practices and perceptions // Cogent Education. – 2025. – T. 12. – № 1. – P. 25
2. Alizadehmahmoudalilo H. Effect of AI-scaffolded learning-oriented assessment on EFL learners' vocabulary learning // Research in English Language Education Journal. – 2025. – T. 4. – № 1. – P. 3-15.
3. Doğan, Y., & Talan, T. (2024). Artificial intelligence in foreign language learning: A bibliometric analysis. *Journal of Pedagogical Research*.
4. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.
5. Hong S., Lim C. Development of language educators' scaffolding strategies using an artificial intelligence speaker // Journal of Educational Technology. – 2021. – T. 37. – № 2. – P. 309-341.
6. Klimova, B. (2021). An insight into the use of artificial intelligence in foreign language learning. *Education Sciences*, 11(3), 147. <https://doi.org/10.3390/educsci11030147>
7. Li, M. (2025). AI-integrated scaffolding to enhance agency and creativity in EFL writing instruction. *Information*, 16(7), 519.
8. Liang, J.-C., Hwang, G.-J., Chen, M.-A., & Darmawansah, D. (2023). Roles and research foci of artificial intelligence in language education: An integrated bibliographic analysis and systematic review approach. *Interactive Learning Environments*, 31(7), 4270–4296. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1958348>
9. Lin C. C., Lin T. H., Tang C. K. Enhancing English reading comprehension, learning motivation and attitude through AI-supported pre-reading scaffolding // Journal of Computer Assisted Learning. – 2025. – T. 41. – № 6. – P.59.
10. Lin C. J., Hwang G. J. Artificial intelligence-supported procedural scaffolding for promoting EFL learners' writing performance in flipped peer assessment activities // Interactive Learning Environments. – 2025. – P. 3-15.
11. Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson.
12. Sari N. The role of artificial intelligence (AI) in developing English language learners' communication skills // Journal on Education. – 2023. – T. 6. – № 1. – P. 750-757.
13. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
14. Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89–100. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>
15. Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16(1), 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>

Pedagogical Sciences

Screen Time and Moral Growth: How Digital Habits Shape Holistic Development in Kazakhstani High School Students

Azamat Ibraimov

Master's Candidate in Mathematics Education, Middle School Math Teacher, Citizenship & Science Academy of Syracuse, Syracuse, New York, USA

Abstract

This study looks at how daily screen use is related to moral and social development in Kazakhstani high school students. Data were collected from 1,441 students in five regions (West, East, North, South, and South-East). Students completed a Kazakh-adapted version of Kapustin's Holistic Level Test (HLT) and reported how many hours per day they spent watching TV, using a personal computer, and using social networks. Correlations showed that social-network and computer use were negatively related to the HLT total score ($r = -.12$ and $r = -.10$, $p < .001$). TV viewing was not related to HLT scores. Students who used social networks more than five hours per day scored about 0.37 standard deviations lower than students who used social networks less than two hours per day. Russian-medium and urban students reported more screen time and lower HLT scores than Kazakh-medium and rural students. The results suggest that heavy social-media use is linked to lower scores on the character dimensions the Kazakhstani education system considers important: collective responsibility, academic engagement, and moral inclusivity. Media literacy should be included in the existing holistic education curriculum.

Keywords: screen time, social media, moral development, holistic education, Kapustin's HLT, Kazakhstan, adolescents

1. Introduction

Today Kazakhstani high school students spend most of their free time on phones and computers. TV is watched less often than before. This change is important for education because time spent on screens is time not spent on homework, family life, or communication with classmates. These are the situations where students usually develop moral and social habits.

Kazakhstani education policy pays attention to moral and social development. Documents such as the Kazakhstan–2050 Strategy and the State Program for Education describe moral character and civic responsibility as important goals of school education (Sagatova, 2022). However, there is little research in Kazakhstan about how students' screen time relates to their moral and social development. Most studies on screen time look at sleep, mood, or academic performance (Twenge, Martin, & Campbell, 2018), but not at values, empathy, or civic behavior that holistic education is supposed to develop.

The present study tries to answer this question. We use a culturally adapted version of Kapustin's Holistic Level Test (HLT) with a sample of 1,441 high school students. We check how three types of screen activity (TV, computer, and social networks) are related to six dimensions of holistic development. We also compare students by region, language of instruction, gender, and school location (urban or rural).

2. Literature Review

2.1 Holistic education and its measurement

Holistic education tries to develop the student as a whole person, including intellectual, moral, social, and emotional aspects (Miller, 2007). In Kazakhstan this idea has a special meaning because the country is still recovering from Soviet-era education that focused mainly on ideological goals and standardization (Hanley, 2021). Kapustin's Holistic Level Test (HLT) is one of the few available tools for measuring such moral and social qualities. In our previous work, the HLT was translated into Kazakh and validated. The validated version has six factors: Conscientiousness and Personal Responsibility (CPR), Helping and Supportive Behavior (HSB), Collective Responsibility and Group Involvement (CRGI), Academic Engagement and Consideration for Others (AECO), Moral Responsibility and Inclusivity (MRI), and Initiative and Cultural Engagement (ICE) (Sapazhanov et al., 2021).

2.2 Screen time and adolescents

International research on screen time and adolescents shows mixed results. Twenge and Campbell (2018) found that more screen time was related to lower psychological well-being in a large U.S. sample. Orben (2020), on the other hand, noted that most of the existing studies are cross-sectional and the effect sizes are usually small. Results for empathy are also mixed: Vossen and Valkenburg (2016) found a small positive effect of social-media use on cognitive and affective empathy in Dutch students. In Kazakhstan, two additional factors should be considered. First, students use both Russian-language and Kazakh-language platforms. Second, urban and rural students do not have equal access to digital devices. So far, no study in Kazakhstan has connected these screen-time variables with a validated holistic-development test.

3. Method

3.1 Participants

The sample included 1,441 high school students between 15 and 18 years old. They were from five regions of Kazakhstan: South ($n = 368$), East ($n = 306$), South-East ($n = 267$), West ($n = 264$), and North ($n = 236$). 52.3% of the students were female ($n = 753$). Kazakh was the language of instruction for 1,190 students (82.6%), and Russian for the other 251 students. 1,181 students studied in urban schools and 260 in rural schools.

3.2 Instruments

The adapted HLT has 32 Likert-type items (from 1 to 5) divided into six subscales (CPR, HSB, CRGI, AECO, MRI, ICE). The HLT total score was calculated as the mean of the six subscales. Students also rated their own upbringing on a scale from 1 to 10 (Vosp). Screen use was measured with three questions: how many hours per day they watched TV, used a personal computer, and used social networks. Background information was collected for gender, region, language of instruction, and school location.

3.3 Data analysis

Descriptive statistics were calculated for HLT subscales and for screen-time variables. Pearson correlations were used to check linear relations between screen-time variables and HLT scores. For a clearer interpretation, students were divided into three groups (low, medium, high) for each screen-time variable. Low and high groups were compared on the HLT total using Welch's t-test, and Cohen's d was calculated to show the effect size. Regional differences were tested with one-way ANOVA. A p -value less than .05 was considered significant.

4. Results

4.1 Descriptive statistics

Students reported relatively little TV viewing ($M = 0.42$ hrs/day, $SD = 0.82$) and moderate computer use ($M = 1.14$, $SD = 1.63$). Most of their screen time was on social networks ($M = 4.36$ hrs/day, $SD = 3.28$), which is about ten times more than TV. The HLT subscales were generally in

the upper part of the 1–5 scale. The highest scores were for MRI ($M = 4.80$) and AECO ($M = 4.44$). The lowest was for ICE ($M = 3.50$). The HLT total mean was 4.25 ($SD = 0.43$).

4.2 Correlations

Table 1 shows the Pearson correlations between screen-time variables and HLT subscales. Social-network use had the strongest negative correlations with HLT scores. It was significantly correlated with CPR ($r = -.135$, $p < .001$), AECO ($r = -.147$, $p < .001$), CRGI ($r = -.076$, $p < .01$), MRI ($r = -.067$, $p < .05$), and HLT total ($r = -.120$, $p < .001$). Computer use also showed negative correlations, but weaker. It was significant for CPR, HSB, CRGI, ICE, and HLT total. TV time was mostly not related to HLT scores, except for a small negative correlation with AECO ($r = -.096$, $p < .001$).

Table 1. *Pearson correlations between screen time and HLT subscales ($N = 1,441$).*

Screen var.	CPR	HSB	CRGI	AECO	MRI	ICE	HLT total	Vosp
TV time	-.01	.01	.07*	-.10***	.01	-.01	-.01	-.01
Computer	-.11***	-.07*	-.12***	-.04	-.02	-.06*	-.10***	-.05
Social net.	-.14***	-.05	-.08**	-.15***	-.07*	-.04	-.12***	-.05

Note. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

4.3 Group comparisons

When students were divided into low, medium, and high users, social-network use again showed the clearest pattern. Students who used social networks less than two hours per day ($n = 375$) had an HLT total of 4.25. Medium users (2–5 hours, $n = 750$) had 4.31. High users (more than 5 hours, $n = 316$) had 4.09. The difference between low and high users was significant, $t(654) = 4.80$, $p < .001$, $d = 0.37$, which is a small-to-medium effect. For computer time the direction was the same but the effect was weaker ($d = 0.18$). For TV time there was no significant difference ($d = 0.02$).

Table 2. *HLT total score by screen-time category (M [SD]).*

Screen variable	n (Low)	Low M (SD)	Medium M (SD)	High M (SD)	Cohen's d
Television (hrs/day)	980	4.23 (0.43)	4.31 (0.39)	4.22 (0.44)	0.02
Computer (hrs/day)	807	4.25 (0.41)	4.30 (0.42)	4.18 (0.47)	0.18
Social networks (hrs/day)	375	4.25 (0.42)	4.31 (0.41)	4.09 (0.45)	0.37

Note. Cohen's d compares Low vs. High groups on HLT total.

4.4 Differences by region, language, gender, and school location

Regional differences in screen time were statistically significant. Computer use was the highest in the East ($M = 1.62$ hrs/day) and North (1.43) and the lowest in the South-East (0.72) and South (0.92). Social-network use was the highest in the West ($M = 5.17$ hrs/day), but HLT scores in the West were still relatively high. TV time was the highest in the South (0.62 hrs/day), $F(4, 1436) = 13.22$, $p < .001$. For the HLT total the regional difference was small and not significant, $F(4, 1436) = 2.11$, $p = .08$.

Language of instruction was also related to screen time and HLT scores. Russian-medium students used the computer more ($M = 1.50$ vs. 1.07 hrs/day) and social networks more (4.65 vs.

4.30). They also had a lower HLT total (4.06 vs. 4.29). Urban students reported more screen use than rural students (computer: 1.21 vs. 0.83; social networks: 4.58 vs. 3.38), but their HLT totals were almost the same. For gender, boys watched TV more (0.54 vs. 0.32 hrs/day), while girls spent more time on social networks (4.87 vs. 3.81). Girls had a slightly higher HLT total (4.26 vs. 4.24), which is in line with our earlier validation study.

5. Discussion

The results show that social-network use has the most consistent negative relation with holistic development. Students who used social networks for more than 5 hours per day had HLT totals about 0.37 standard deviations lower than students who used them less than 2 hours per day. The largest differences were in Academic Engagement and Consideration for Others (AECO) and Conscientiousness and Personal Responsibility (CPR). These two subscales depend on attention and regular interaction with other people, which are activities reduced by heavy social-media use. TV time, on the other hand, was almost not related to HLT scores. So for Kazakhstani students today the problem is not the TV but the smartphone.

The results for language of instruction and school location also need attention. Russian-medium and urban students spent more time on computers and social networks and had lower HLT scores. Kazakh-medium and rural students spent less time on screens and had slightly higher HLT scores. This does not mean that the Russian language itself causes lower moral development. The explanation is probably that Russian-language content is still more common on the Internet, and urban students have better access to devices. Rural and Kazakh-medium students usually live in communities where family and neighbors play a bigger role in daily life, and this may reduce the effect of screen time on their moral and social development.

The regional results are also interesting. The West had the highest social-network use but the HLT total there was still relatively high. This shows that family and community factors can compensate for screen time to some extent. The East and North had the highest computer use, and in these regions there are more Russian-medium schools. The results cannot be explained by only one variable. The effect sizes are generally small, so we should not over-interpret them. The differences are visible mostly because the sample size is large.

There are some limitations. First, the study is cross-sectional, so it is not possible to say whether screen time causes lower moral development or whether students with lower moral development simply use screens more. Second, screen time was self-reported in hours per day and does not separate useful use (homework, reading, family communication) from passive scrolling. Third, the questionnaire did not ask which specific platforms or content the students used. Future research should use longitudinal designs and more detailed measurement of screen activities.

6. Conclusion

The study showed that digital habits are related to moral and social development of Kazakhstani high school students. TV time was not important, but heavy use of social networks was related to lower scores on the HLT, especially on academic engagement, conscientiousness, and collective responsibility. Schools should not simply tell students to use their phones less. Instead, media literacy should be included in the existing holistic education program, and local conditions (language of instruction, region, urban or rural school) should be taken into account.

References

- Hanley, N. (2021). The contribution of empathy-based pedagogy in global citizenship education: Kazakhstani context. *International Journal of Development Education and Global Learning*, 13(2), 79–93.
- Kapustin, N. P. (2017). Methodology "The Level of Students' Upbringing" [Metodika «Uroven' vospitannosti uchashchikhsya»].
- Miller, J. P. (2007). *The holistic curriculum* (2nd ed.). University of Toronto Press.
- Orben, A. (2020). Teenagers, screens and social media: A narrative review of reviews and key studies. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 55(4), 407–414.
- Sagatova, A. S. (2022). World-view patterns of national consciousness. *Bulletin of L. N. Gumilyov Eurasian National University*, 139(2), 218–233.
- Sapazhanov, Y., Orynassar, A., Kadyrov, S., Ahmedov, A., & Sydykhov, B. (2021). Kazakh and Russian translation of the FSMAS-SF instrument. *Journal of Physics: Conference Series*, 1988(1), 012046.
- Twenge, J. M., & Campbell, W. K. (2018). Associations between screen time and lower psychological well-being among children and adolescents: Evidence from a population-based study. *Preventive Medicine Reports*, 12, 271–283.
- Twenge, J. M., Martin, G. N., & Campbell, W. K. (2018). Decreases in psychological well-being among American adolescents after 2012 and links to screen time during the rise of smartphone technology. *Emotion*, 18(6), 765–780.
- Vossen, H. G. M., & Valkenburg, P. M. (2016). Do social media foster or curtail adolescents' empathy? A longitudinal study. *Computers in Human Behavior*, 63, 118–124.

UDC 372.881.111.1

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN TEACHING FOREIGN LANGUAGES: AN EXPERIMENTAL APPROACH

KONSTANTINOVA YEKATERINA PAVLOVNA

Master's student at the Faculty of Foreign Languages of the Karagandy National Research University named after academician E.A. Buketov

Annotation. The article discusses the possibilities and pedagogical effectiveness of using artificial intelligence tools and neural network technologies in teaching foreign languages in secondary schools. The relevance of the research is due to the active digitalization of the educational process and the need for a scientifically based assessment of the impact of AI tools on the formation of students' foreign language communicative competence. The paper presents the design of a pedagogical quasi-experiment using the "pretest-posttest control group design" scheme, which includes experimental and control groups of 8th grade students. The experimental methodology is based on the integration of AI technologies (chatbots, speech recognition systems, adaptive learning platforms, automatic writing verification tools) into the English language learning process. Diagnostic tools aimed at assessing lexical and grammatical skills, listening, oral and written speech, as well as educational motivation of schoolchildren are described. Quantitative methods of statistical data processing are provided, including the Student's t-test and Cohen's d coefficient. The expected results of the study are to identify statistically and pedagogically significant positive effects of AI technologies on the level of formation of language skills and educational motivation of students. The findings can be used to improve the methodology of teaching foreign languages and substantiate the feasibility of introducing artificial intelligence into school teaching practice.

Keywords: artificial intelligence; teaching foreign languages; English; pedagogical experiment; digital educational technologies; neural networks; language competence; educational motivation; quasi-experiment.

The modern development of digital technologies is radically transforming the educational process, in particular the teaching of foreign languages. There is a growing need for empirical confirmation of assumptions about the pedagogical effectiveness of using artificial intelligence (AI) tools and neural network systems in school settings. In this regard, the pedagogical experiment acts as a key research method that allows an objective assessment of the educational potential of innovative technologies.

The purpose of the experiment: the experiment will be aimed at testing the research hypothesis: the systematic inclusion of AI technologies in the process of teaching English contributes to a higher level of formation of language skills of schoolchildren (speaking, listening, writing, lexico-grammatical skills) and increasing their learning motivation compared to traditional teaching methods.

The tasks of the pedagogical experiment:

1. Develop a learning module/series of lessons using AI tools (adaptive exercises, speech recognition, a chatbot for communication exercises, and an AI writing assistant).
2. Compare the academic achievements (vocabulary, grammar, speaking, listening comprehension) of the experimental (with AI) and control (traditional) groups.

3. Evaluate the impact on student motivation and engagement.

4. Analyze the teacher/student's perception of the usefulness of AI tools.

Null hypothesis (H0): the use of AI tools does not lead to a statistically significant improvement in English language results compared to the traditional methodology.

Alternative hypothesis (H1): the use of AI tools leads to a statistically significant improvement in results (and/or motivation) compared to the traditional methodology.

Particular hypotheses can be clarified:

H1a: the students of the experimental group will show a greater improvement in speaking (grade by category) compared to the control group.

H1b: The experimental group will demonstrate higher motivation/engagement based on the survey results.

The experiment will be conducted on the basis of a comprehensive school in natural conditions of the educational process. The study will involve students in grades 8 with a total of 20-25 people aged 13-14 years with approximately the same level of initial language training (A2–B1 on the CEFR scale).

The choice of grade 8 is due to the fact that this period of study is a sensitive stage in the formation of students' communication skills and motivation [1, 2].

During this age period, adolescents show an increased interest in digital technologies, which makes it possible to consider AI not only as a didactic tool, but also as a factor in enhancing learning motivation.

With the help of preliminary testing, two experimental groups will be formed:

an experimental group (10-12 people or one class/subgroup) — training using AI tools;

The control group (10-12 people or another class/subgroup) is trained according to the traditional methodology.

Methodological foundations of the experiment. The experiment will be planned in the form of a quasi-experimental study using the "pretest-posttest control group design" scheme, which provides for the presence of experimental and control groups and mandatory initial and final measurement of educational indicators [3]. This design meets the modern requirements of pedagogical experimental methodology and is widely used in educational research [4].

A number of conditions were met to minimize threats to the internal validity of the experiment:

a single thematic training program in both groups;

the same number of academic hours;

control of the initial level of language proficiency;

common criteria for final assessment;

equal teaching conditions (one teacher).

An AI toolkit will be required to conduct a pedagogical experiment.

The following digital resources are expected to be used at the formative stage:

ChatGPT — simulation of dialogical situations, interactive language exercises, help with written tasks;

ELSA Speak — automatic pronunciation assessment with visual and auditory feedback;

Duolingo and British Council Learn English — adaptive training of lexical and grammatical skills;

Grammarly — analysis of written works and correction of errors;

Kahoot AI is the implementation of game test forms of knowledge control.

The selection of resources was based on criteria of pedagogical expediency, accessibility, intuitive simplicity of the interface and compliance with the principles of personalization of learning [5, 6].

The structure of the pedagogical experiment includes three consecutive stages:

1. The ascertaining stage.

The purpose of the ascertaining stage is to identify the initial level of formation of students' language competencies and motivation indicators.

As part of the diagnosis, the following will be used:

a written vocabulary and grammar test;

listening with multiple choice tasks;

oral monologue statement;

written communication (100-120 words);

the educational motivation questionnaire.

The results obtained will show the comparability of the knowledge levels of the experimental and control groups, which will ensure the reliability of subsequent comparative analysis.

2. The formative stage.

During the course of the research internship, the implementation of the developed training module will be carried out. A special feature of the experimental group will be the integrated use of AI tools in each lesson:

phonetic practice using speech recognition;

dialogue exercises with chatbots;

customized tasks with adaptive difficulty adjustment;

written mini-projects with an AI assistant.

The control group will use traditional forms of work:

a front-end survey.;

textbook assignments;

pair work;

written exercises with verification.

3. The control stage

At the end of the experiment, a final control identical to the initial diagnosis will be performed. Data processing will make it possible to compare the dynamics of academic achievements of both groups and determine the impact of the applied innovative technologies.

In order to comply with ethical aspects and in accordance with international standards for conducting pedagogical research (UNESCO, 2023), each participant will be informed about the objectives of the experiment. The use of digital resources was carried out in compliance with the principles of confidentiality and non-disclosure of personal data.

The pedagogical experiment will be organized in accordance with the requirements of pedagogical science and including a set of diagnostic approaches, which will allow an objective assessment of the impact of AI tools on the formation of language competencies of schoolchildren.

The effectiveness of the pedagogical experiment is largely determined by the correctness of the selected diagnostic techniques. A set of diagnostic tools should provide an objective, reliable and valid assessment of students' academic achievements, as well as changes in their motivation [7].

The following methodological principles are supposed to be used in the research process:

assessment complexity — measurement of all types of speech activity;

consistency — a single scale of indicators at the initial and final stages;

objectivity — standardized criteria;

reliability and validity — double expert evaluation of oral and written works.

The diagnosis and assessment of language competence will include four components corresponding to the Pan-European classification of language competencies [8]:

1. A lexico-grammatical test, which was chosen as a basic tool for assessing productive and receptive language knowledge, which forms the foundation of students' communicative competence.

Vocabulary and grammar form the structural basis of foreign language proficiency: without a solid knowledge of vocabulary and grammatical rules, it is impossible to fully develop speaking, listening, reading and writing skills [1]. That is why the control of these components is a mandatory element of scientific research on the methodology of foreign languages and standardized diagnostics of language achievements of schoolchildren [2, 7].

Modern research in the field of the use of AI in education emphasizes the need for objective forms of diagnosis of students' knowledge in the implementation of digital technologies. Experimental assessment models should combine subjective forms (observation, interviews, presentations) and standardized test methods that can confirm real changes in educational outcomes [4, 5].

The Council of Europe documents note that lexico-grammatical tests are a key tool for determining the language level on the CEFR scale and an essential component of pedagogical diagnostics of language development of students [8].

Thus, the lexico-grammatical test in the structure of the pedagogical experiment performs a key functional load: it ensures the objectivity of diagnosis; it allows to identify the dynamics of language skills formation; it serves as the main quantitative indicator of the effectiveness of using AI tools in the educational process. Without the use of this diagnostic tool, conducting an experimental study cannot ensure the reliability, reproducibility, and scientific validity of the findings.

The lexico-grammatical test will consist of 25 closed-type tasks: multiple choice; filling in gaps; matching terms. The maximum score is 25.

2. Listening skills. Listening is a complex receptive activity, including the perception of foreign-sounding speech, its semantic interpretation and subsequent fixation of semantic content at the level of short-term and long-term memory [8].

Modern methodologists emphasize that it is in the process of listening that the foundation is laid for the formation of productive types of speech activity — speaking and writing, as well as expanding vocabulary and consolidating grammatical structures [1, 10].

At the same time, listening is traditionally one of the most difficult language skills for secondary school students, since it requires simultaneous activation of phonetic, lexical, grammatical and cognitive mechanisms of speech comprehension.

At the ascertaining stage of the experimental work, the listening test makes it possible to identify the initial level of perception and understanding of English-speaking speech by schoolchildren, to establish the degree of formation of basic skills: recognition of phonemic composition of speech; understanding of common language vocabulary; interpretation of grammatical constructions; extraction of basic and detailed information from the sounding text.

This will ensure the formation of homogeneous experimental and control groups and compliance with the principle of sample equivalence, which is a prerequisite for any pedagogical experiment [11].

The artificial intelligence tools used in the experiment — interactive platforms for the development of listening (Duolingo, ELSA Speak based on GPT) — are primarily focused on training the skills of natural English speech perception, fluency recognition and phonemic hearing control.

Accordingly, objective diagnostics of the listening level serves as a direct indicator of the effectiveness of the implementation of AI practices that allow: to provide authentic audio

materials; to vary the complexity of tasks; to adapt the pace and lexical load; to automatically monitor the results.

Repeated diagnostics of the listening level at the control stage makes it possible to accurately measure the increase in skills and statistically compare the experimental and control groups. Listening skills are easily quantifiable (the number of correctly completed tasks, the percentage of correct answers, the level of achievement of CEFR standards), which allows the use of mathematical processing methods (Student's t-test, Cohen's d effect coefficient) to confirm the validity of the identified differences [12].

International research in the field of digital linguodidactics confirms that the formation of auditory skills is most effective in the context of the use of digital and adaptive technologies, including AI platforms [5, 6].

Thus, the diagnosis of listening skills in the structure of the pedagogical experiment will perform the key functions of an objective assessment of the receptive language skills of students and the most important tool for confirming the effectiveness of the use of AI technologies. The use of this test toolkit will ensure the scientific reliability of the experimental research results and increase the validity of the conclusions.

Audio material lasting 2-3 minutes (A2–B1 level) with 5 test tasks. The maximum is 10 points.

1. Evaluation of oral speech.

Oral language skills occupy a special place in the structure of foreign language communicative competence, since speaking is the main means of practical communication and the ultimate goal of teaching a foreign language in secondary schools (Passov, 2019; Galskova, Gez, 2021).

The communicative approach to learning assumes that the level of language competence of students is fully determined by their ability to initiate, maintain and complete an oral dialogue, respond adequately to communicative situations and spontaneously express their thoughts in a foreign language [10].

In the context of this study, the diagnosis of oral speech was considered as an obligatory component of a comprehensive system for assessing students' language competence, complementing the results of vocabulary, grammar and listening tests and providing a holistic picture of students' communicative readiness for real speech interaction.

Unlike lexical and grammatical knowledge, which reflects the theoretical side of language training, proficiency in oral speech demonstrates the real level of practical use of the language. The diagnosis of speaking is necessary to confirm that the introduction of AI technologies into the educational process leads not only to the accumulation of formalized knowledge, but also to the development of the ability to apply them in live speech communication.

According to Russian and foreign researchers, without a systematic assessment of speech production, it is impossible to judge the effectiveness of communicative teaching methods and digital educational tools [1, 10].

The use of AI tools (virtual conversation bots, voice assistants, AI dialogue simulators, pronunciation assessment services ELSA Speak and YouGlish) is mainly focused on the development of students' oral speech. Therefore, the diagnosis of speaking has become a key indicator of the effectiveness of an experimental technique aimed at: training phonetic skills; automating language cliches; forming fluent spontaneous speech; overcoming psychological barriers to communication; developing dialogic and monological skills.

Speaking is associated not only with language skills, but also with psychological factors: anxiety, speech stiffness, fear of mistakes, lack of communicative confidence. Modern research proves that working with AI reduces the level of language anxiety due to the absence of social pressure and the opportunity to train in a safe environment [5, 6].

It is the diagnosis of oral speech that allows us to record these positive changes in practice.

In international studies on digital language learning, it is noted that it is the diagnosis of speaking that makes it possible to most fully assess the effectiveness of innovative technologies, since oral speech products are the final indicator of the formation of foreign language communicative competence [8, 15].

Thus, the diagnosis of oral speech in a pedagogical experiment is the most important tool for a comprehensive assessment of students' language competence and will help to perform key functions:

- objective measurement of the level of practical English language proficiency;
- identifying the effectiveness of using AI technologies in the educational process;
- confirmation of the communicative orientation of experimental teaching methods.

A monologue on a free / completed topic (for example, "My Last Trip") lasting 1-2 minutes with evaluation criteria: pronunciation, fluency, vocabulary, grammar, with a score from 0 to 4 points, maximum 16 points.

Written work. For example, writing a letter (100-120 words) on the topic of "Travel". Evaluation criteria: content — 5 points; structure — 5 points; grammar — 5 points; vocabulary — 5 points. The maximum is 20 points.

In the system of foreign language communicative competence, written speech is an essential component reflecting the level of depth of assimilation of language tools and the ability of the student to consciously structure his own utterance in a foreign language [1, 9].

In the process of writing, students realize a set of linguistic and cognitive skills: the selection of adequate lexical tools, compliance with grammatical norms, logical organization of the text, coherence and integrity of speech utterance. Unlike oral speech, the written form presupposes a higher level of linguistic reflection and learning independence, which makes it one of the most revealing criteria for the formation of language competence of students.

In the framework of this pedagogical experiment, the assessment of students' written works is an essential element of a comprehensive diagnosis of learning outcomes and an important means of determining the effectiveness of AI tools in the process of teaching English.

The diagnosis of written works makes it possible to identify the level of formation of productive foreign language skills, since it is writing that demonstrates:

- the student's ability to independently form lexically and grammatically correct statements.;
- the ability to follow the rules of writing;
- ownership of a coherent text organization;
- the ability to logically present thoughts in accordance with a given communicative task.

Unlike oral speech, written utterance lends itself to a more objective analysis, since its content can be repeatedly checked according to standardized criteria, providing increased reliability of diagnostic results [10, 15].

Modern AI services and neural network tools (ChatGPT, Grammarly) are actively used specifically for the development of written communication skills, providing:

- automatic spell and grammar checking;
- correction of stylistic errors;
- vocabulary expansion;
- recommendations for text structuring;
- formative feedback in real time.

The inclusion of written language diagnostics in the experiment makes it possible to establish the influence of these technologies on the formation of

- spelling and grammatical accuracy.;
- lexical diversity;
- coherence and logical harmony of students' texts;

the ability to perform written tasks in the format of creative utterance.

Thus, the diagnostic assessment of written works reflects not so much the level of mechanical reproduction of language patterns, as the degree of meaningful mastery of the language system [1].

At the ascertaining stage of experimental work, written testing will reveal:

the initial level of development of students' written speech;

typical lexical and grammatical errors;

weaknesses of a written coherent text (poor vocabulary, logical incoherence, inability to structure the text).

The information obtained is supposed to be used to adapt the content of the formative stage of training and to select appropriate tasks in AI environments. During the formative and control stages of the study, written assignments will be used to track the dynamics of language skills; adjust pedagogical strategies; and individualize learning using neural network platforms.

The results of the written papers will form the basis for a final quantitative and qualitative assessment of the effectiveness of experimental methods of teaching English using AI. The analysis will include:

calculation of average scores based on criteria of accuracy, lexical diversity and coherence of the text;

comparison of the results of the experimental and control groups;

application of statistical data processing methods [12].

The results obtained will provide a scientifically sound confirmation of the research hypothesis and will allow us to conclude that it is advisable to introduce artificial intelligence into the learning process of a foreign language.

Educational motivation is a key factor in the successful acquisition of a foreign language, as it directly affects the activity of students, the depth of learning and resistance to difficulties in the learning process [16, 17].

In the context of a pedagogical experiment aimed at investigating the effectiveness of artificial intelligence and neural network technologies in teaching English, the diagnosis of motivation performs several critical functions (Table 1).

Table 1- The main stages of student motivation diagnosis

Stage	Opportunities/Necessity	Result
Determining the initial motivation level	- to identify the general orientation of students' motivation (internal or external); -determine the degree of interest in learning English; -to uncover motivational barriers and factors that prevent active involvement in the learning process	The correct formation of experimental and control groups, ensuring their comparability and taking into account the psychological characteristics of students when interpreting the results [3].
Assessment of the impact of AI technologies on motivation.	Modern artificial intelligence technologies (for example, adaptive learning platforms, interactive applications, chatbots for language practice) are able to influence learning motivation due to: - interactivity and a playful form of learning; - Instant feedback; - personalized task difficulty level; - reducing the feeling of anxiety when making mistakes	Motivation diagnostics allows us to determine how much the introduction of these technologies stimulates students to become more active in learning, increases their engagement and satisfaction with the learning process [5, 6].
Monitoring the dynamics of motivational changes	Repeated diagnosis of motivation at the formative and control stages of the experiment provides an opportunity: - quantitative and qualitative assessment of changes in educational motivation; - comparison of motivation dynamics between experimental and control groups; - analysis of the relationship between the level of motivation and learning outcomes (for example, indicators of lexicogrammatical, auditory and productive skills)	Motivation diagnostics allows not only to evaluate the psychological aspect of learning, but also to substantiate the effectiveness of pedagogical innovations in terms of student engagement.
The indicator of pedagogical effectiveness	Motivation diagnostics allows you to: - to identify which methodological approaches and AI tools contribute to increasing motivation; - determine optimal strategies for interacting with students; - substantiate recommendations on the use of technology to improve the effectiveness of education	The motivational component is an integral criterion for the success of experimental methods, especially when introducing innovative pedagogical technologies.
Note – compiled by the authors based on [3,5,6]		

Diagnostics of educational motivation in a pedagogical experiment performs the following functions:

diagnostic — identification of the initial level of motivation and factors influencing the activity of students;

controlling — recording the dynamics of motivation changes during the experiment;

Evaluative — determining the effectiveness of using AI technologies and their impact on student engagement and activity.

Without taking into account the motivational aspect, it is impossible to reliably interpret the results of a pedagogical experiment, since the success of teaching a foreign language is closely related to the level of interest and inner activity of students.

To diagnose learning motivation, it is proposed to use an adapted scale of learning motivation (Pintrich et al., 2018): a questionnaire of 5 judgments on a 5-point Likert scale. The total motivation index was calculated (from 5 to 25 points).

To process the data obtained as a result of the experiment, it is assumed to use such statistical methods as: Student's t-test; Cohen's d coefficient; analysis of the dynamics of average indicators, allowing to objectively evaluate the results of the experiment, compare the indicators between groups and determine the reliability of the identified differences.

The Student's t-test method is used to compare the average values of two samples — experimental and control groups — in order to identify statistically significant differences between them.

Application of the Student's t-test in a pedagogical experiment:

- to compare the initial and control level of students' language competence (lexico-grammatical, auditory, productive components);

- to determine whether the introduction of AI technologies has had a significant effect on learning outcomes compared to traditional methods;

- to test the hypothesis that the experimental group demonstrates the best performance based on the results of the experiment.

Using the t-criterion will make sure that the identified differences are not accidental and are indeed related to the use of an experimental technique or the opposite.

Cohen's d is an indicator of the magnitude of the effect, which reflects how significant the differences between the groups are from a practical point of view. Unlike the t-test, which evaluates statistical significance, Cohen's d shows the actual scale of changes.

The need to use Cohen's d method in a pedagogical experiment:

- to assess the effectiveness of the introduction of AI tools for the development of language competencies;

- to determine how significant the improvement in students' skills (for example, speaking or writing) is in the experimental group compared to the control group;

- to formulate pedagogically significant conclusions, for example, "the effect of the introduction of an interactive platform on the listening level was high ($d \geq 0.8$)."

Cohen's d is especially useful when it is necessary to compare the results of different experiments or studies and interpret the practical significance of the changes.

The analysis of the dynamics of average indicators allows you to track changes in the results of students at different stages of the experiment (ascertaining, forming, control) in order to:

- determine the growth rate of language competencies: lexico-grammatical skills, listening, oral and written speech;

- comparisons of developmental dynamics between experimental and control groups;

- visualizations of the results in the form of graphs and tables for visual representation of the effectiveness of teaching methods.

This method allows us to trace how the use of AI technologies affects the learning process throughout the experimental period, and not just the final result.

From our point of view, the integrated use of methods - the Student's t-test, Cohen's d coefficient and the analysis of the dynamics of averages provides an objective assessment of the differences between the experimental and control groups; the determination of the statistical and practical significance of the experimental results; the ability to track the dynamics of language skills development in students.

Thus, the use of these methods will ensure the scientific reliability and pedagogical validity of the research results, allowing us to draw conclusions about the feasibility of introducing AI technologies into the educational process.

REFERENCES:

1. Passov E. I. Communicative teaching of foreign languages: theory and practice. Moscow: Prosveshchenie. - 2019. — 320 p.
2. Bim I. L. Methods of teaching foreign languages in secondary schools. Moscow: Prosveshchenie. - 2020. — 352 p.
3. Creswell J. W. Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research. — 6th ed. — Pearson, 2020.
4. OECD. Artificial Intelligence in Education: Challenges and Opportunities. — Paris: OECD Publishing, 2023.
5. Holmes W., Bialik M., Fadel C. Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning. — Center for Curriculum Redesign, 2019.
6. Luckin R., Holmes W., Griffiths M., Forcier, L. Intelligence Unleashed: An Argument for AI in Education. — Pearson, 2022.
7. Black P., Wiliam D. Inside the Black Box: Raising Standards through Classroom Assessment. — Phi Delta Kappan, 2018.
8. Council of Europe. Common European Framework of Reference for Languages: Learning, Teaching, Assessment — Companion Volume. — Strasbourg: Council of Europe Publishing, 2020.
9. Galskova N. D., Gez N. I. Theory of teaching foreign languages: linguo didactics and methodology. — 5th ed. — Moscow: Akademiya, 2021. — 336 p.
10. Solovova E. N. Methods of teaching foreign languages. Basic course. — 5th ed. — M.: Astrel, 2022. — 448 p.
11. Creswell J. W. Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research. — 6th ed. — Pearson, 2020.
12. Field A. Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics. — 5th ed. — Sage Publications, 2018.
13. Bates T. Teaching in a Digital Age. — Vancouver: BC campus, 2021.
14. Redecker C. European Framework for the Digital Competence of Educators (DigCompEdu). — Publications Office of the European Union, 2020.
15. Chapelle, C.A. English Language Learning and Technology. — John Benjamins Publishing Company, 2018.
16. Deci E.L., Ryan R. M. Self-Determination Theory: Basic Psychological Needs in Motivation, Development, and Wellness. — New York: Guilford Press, 2000.
17. Reeve J. Understanding Motivation and Emotion. — 7th ed. — Hoboken, NJ: Wiley, 2018.

STUDY OF PEDAGOGICAL STRATEGIES: INTEGRATING 4C COMPETENCIES IN ART AND CRAFT LESSONS

Akhmulyeva Aisha Sattarovna

7M01416 - Art Education, Graphics, and Design, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan)

Orakova Amangul Shakharbekovna

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Abai Kazakh National Pedagogical University (Almaty, Kazakhstan)

Abstract. This paper explores the integration of the 4C competencies (critical thinking, creativity, communication, and collaboration) into art and craft lessons. The relevance of this study is driven by the need to prepare students for the demands of modern society, where soft skills and the ability to apply knowledge in practice play a crucial role.

The research examines methods and techniques facilitating the development of the 4C competencies through artistic and creative activities. Particular attention is given to pedagogical approaches such as project-based learning, teamwork, problem-based tasks, and application of interactive technologies. The study demonstrates that art and craft education possesses significant potential for fostering creativity and critical thinking by encouraging the creation of original products, analysis of artistic images and the search for unconventional solutions.

The research results indicate that the systematic integration of 4C competencies increases student motivation, develops their autonomy, and fosters efficient teamwork skills. The paper concludes with a recommendation for the purposeful implementation of these strategies within the educational process.

Keywords: 4C competencies, critical thinking, creativity, communication, collaboration, art and craft, group work.

ИЗУЧЕНИЕ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ СТРАТЕГИЙ: ИНТЕГРАЦИЯ 4К-КОМПЕТЕНЦИЙ НА УРОКАХ ХУДОЖЕСТВЕННОГО ТРУДА

Ахмулаева Айша Саттаровна,

7M01416-Художественное образования, графика и проектирование
КазНПУ им.Абая, (г.Алматы, Казахстан)

Орақова Амангүл Шахарбековна,

Кандидат педагогических наук, доцент.
КазНПУ им.Абая, (г.Алматы, Казахстан)

Аннотация. Данная работа посвящена изучению педагогических интеграций 4К-компетенци (критическое мышление, креативность, коммуникация, кооперация) на уроках художественного труда. Актуальность исследования обусловлена необходимостью подготовки обучающихся к условиям современного общества, где важную роль играют гибкие навыки и умение применять знания на практике.

В исследовании рассматриваются методы и приемы, способствующие развитию 4К-компетенций в процессе художественно-творческой деятельности. Особое внимание уделяется таким педагогическим подходам, как проектное обучение, групповая работа,

проблемно-ориентированные задания и использование интерактивных технологий. Показано, что художественный труд обладает значительным потенциалом для формирования креативности и критического мышления через создание оригинальных изделий, анализ художественных образов и поиск нестандартных решений.

Результаты исследования демонстрируют, что системная интеграция 4К-компетенций повышает мотивацию обучающихся, развивает их самостоятельность и способствует формированию навыков эффективного взаимодействия в коллективе. Делается вывод о необходимости целенаправленного внедрения данных стратегий в образовательный процесс.

Ключевые слова: 4К-компетенции, критическое мышление, креативность, коммуникации, кооперации, художественный труд, групповая работа.

Introduction:

Globalization and the rapid development of technology present modern schools with the challenge of preparing students for activities that require not only technical skills but also advanced analytical abilities. Today, art and craft lessons are being transformed from a process of simple imitation into a space for developing critical thinking and innovative inquiry—a shift supported by the research of Boix Mansilla and Bughin, as well as Trilling and Fadel. Today's challenges demand that aesthetic education becomes inextricably linked with the development of soft skills, which are essential for successful integration into contemporary society and the labor market. This necessitates a revision of traditional teaching approaches and the introduction of new methods that allow students to develop not only artistic skills but also analytical, communicative, creative, and collaborative ones.

As a part of the "Partnership for 21st Century Skills" (P21) concept four key competencies known as the "4Cs" were identified, which take on a particular applied significance in art and craft lessons.

In the Republic of Kazakhstan, the transition to the updated curriculum, as established in the State Compulsory Standard of Education (SCSE), is specifically aimed at developing such universal competencies, which will help students not only handle current tasks but also remain prepared for the challenges of the future [1].

These competencies include critical thinking, creativity, communication, and collaboration. Each of these areas carries its own unique significance and ensures that students do not merely absorb theoretical knowledge but actively apply it in practice.

Critical Thinking

In the context of art and craft the development of critical thinking involves a profound analysis of material properties and the selection of optimal technological processes. According to the National Education Association (NEA) this skill enables students to go beyond simply following instructions; it allows them to justify their design decisions. This is crucial in a rapidly changing world where autonomous decision-making and adaptability to new circumstances are becoming vital.

An example of applying critical thinking is analyzing the structural features of a product, evaluating the environmental friendliness of chosen raw materials, and troubleshooting when technological defects occur. Students may face various challenges during a project, and the ability to find rational, evidence-based solutions becomes a key aspect of their educational process.

Creativity

Creativity is not only about self-expression but also the ability to find innovative ways to solve problems. In the art and craft workshop this manifests as a departure from formulaic thinking and the creation of unique, unique original objects at the intersection of craft, design, and

engineering. The article emphasizes that creativity is developed not only through practical activity but also through a theoretical understanding of the creative process.

An example of creative thinking is the use of conventional techniques, such as wool felting or carving, to create state-of-the-art functional art objects. This not only allows students to apply ancient skills but also encourages them to focus on modern aesthetics and the functionality of the finished products.

Communication

Efficient communication in craft lessons becomes an indispensable tool for defending an designer idea. Students learn to clearly articulate the concept of their product, draft brief explanatory notes, and visually convey meaning through shape, color, and texture. This ensures the learning process is directed toward achieving specific and clear results, a point also supported by NEA data.

For instance, presenting a finished project to the class allows students to argue for their design choices and discuss the aesthetic value of their work. This not only helps develop speaking and explanation skills but also builds self-confidence as a creator.

Collaboration

The practical integration of the 4C skills is most vividly manifested in team-based project activities. The collective creation of complex art installations or architectural models develops essential abilities such as role distribution, motivating teammates, and working together to achieve a common goal. It is vital for students to understand the importance of teamwork and how each individual effort affects the final result.

An example of collaboration is the division of responsibilities within a group when creating a collective mural or a complex model of an urban environment. Such interaction teaches respect for the opinions of others, the ability to listen and understand partners' perspectives, and finding ways to serve the common goal.

The practical implementation of the 4C system should become a daily aspect of work in art and craft classrooms. The teacher plays a key role in this integration, planning lessons so that the mastery of manual techniques—such as sewing, modeling, and material processing—occurs simultaneously with the development of intellectual skills. As the NEA notes, this integration should not diminish the importance of applied skills; on the contrary, it should enrich the subject content, making the students' learning experience deeper and more meaningful.

Thus, the modern educator faces an important and complex task: to select teaching methods that transform artistic creativity into an efficient tool for mastering the competencies of the future. A successful teacher will create an educational environment where students not only learn to create beautiful and functional products but also develop skills critical for their future lives and careers [2;3].

Literature Review. The 2023–2029 Education Development Strategy is aimed at fostering highly moral individuals and developing key competencies. In alignment with this the "Technology and Art" curriculum focuses on developing cultural and artistic skills with an emphasis on the practical application of technology. The expected learning outcomes include the mastery of various art forms, an understanding of their significance in daily life, and the practical application of artistic skills [4].

To successfully implement 21st-century 4C competency strategies within art and craft education, teachers should employ nine core pedagogical strategies. These help students not only master craft techniques but also gain a deeper understanding of the essence of the creative process.

Core Strategies:

1. Exploring Generative Topics: Analyzing fundamental artistic concepts within the context of everyday life. Practical application: Students study how the design of interior objects (furniture, clothing) affects comfort and environmental conditions in their homes.

2. Simplifying the Learning Process: Creating conditions where basic subject knowledge is applied to solve creative practical tasks and efficiently demonstrate achieved results.

3. Developing Thinking Skills: Using provocative questions and inquiry-based tasks to activate the thought process. Practical application: Instead of asking "How to make it?", the question should be: "Why are this specific material and technique best here?".

4. Supporting Learning Motivation: Providing students with opportunities to reflect on their learning and confidently adapt acquired knowledge to various situations (project-based activity).

5. Metacognitive Practices: Designing lessons with an emphasis on self-analysis skills. Students participate in discussions and evaluate their own thinking processes during the creation of a product. Practical application: Keeping a project diary or discussing: "What difficulties did I encounter while working with wood/fabric, and how did I overcome them?".

6. Addressing Misconceptions: Directly resolving misunderstandings and helping form clear technical and artistic concepts through process modeling and precise instruction.

7. Project-Based Learning and Teamwork: Developing educational projects that foster collaborative creativity and peer-to-peer learning (collaboration).

8. Application of Technology: Utilizing digital tools to support the learning process, which enhances pedagogical practice and deepens the understanding of the material. Practical application: Using graphic editors for sketching or mobile apps to study the basics of composition and color theory.

9. Practical Application in Art and Craft lessons:

The implementation of these strategies transforms the classroom into a creative laboratory. The student ceases to be a mere "executor" of a template and becomes a researcher-designer.

- Critical Thinking is developed through structural analysis.
- Creativity is developed through the search for new forms and materials.
- Communication is built through project defense and the ability to accept feedback.
- Collaboration is fostered through joint work on large-scale group projects.

The experience of integrating 21st-century competencies into educational standards represents a significant milestone in the evolution of the education system, aimed at preparing students for modern challenges and labor market demands. In Indonesia, as in many other nations, the government recognized the necessity of revising educational standards by emphasizing student mastery and the development of life and career skills essential in 21st century. These skills include creativity, innovation, critical thinking, problem-solving, as well as communication and collaboration.

The Ministry of Education of Indonesia has developed and implemented specific guidelines for teachers designed to streamline the learning process and improve teaching practices. These measures not only help students develop necessary skills but also foster self-confidence, which plays a key role in the learning experience. Research conducted by Ariyana et al. in 2018 confirms the efficiency of these approaches [5; 6; 7].

One of the fundamental steps in this reform was the implementation of the 2013 Curriculum, which was later refined in accordance with Regulation No. 22 of 2016. This curriculum supports modern instructional models that integrate the 4C system (Creativity, Critical Thinking, Communication, and Collaboration). Among these models, three primary methods stand out: Discovery/Inquiry Learning, Problem-Based Learning (PBL), Project-Based Learning (PjBL). These methods are particularly well-suited for art and craft lessons, where the process of creating a product begins with research and evolves into a comprehensive creative project.

To gain a deeper understanding of how resources and teaching methods influence the development of 4C skills in the workshop, an approach is required that allows art educators to reflect on several key questions. First and foremost, it is vital to examine how teachers practically integrate 4C skills into their lessons. This can be seen, for example, in the choice of unconventional materials or preferred technologies used during the creation process.

The next aspect involves the factors that educators consider when developing art and craft lesson plans focused on 4C integration. Teachers must take into account students' individual characteristics, the availability of necessary tools, and the complexity of projects to optimize the learning process and achieve the best possible outcomes.

Another critical issue is the selection of a specific instructional strategy for implementing the 4C system. Which approach will be most efficient for a given topic? Can project-based activities yield better results in this context than conventional teaching methods?

Ultimately, teachers should evaluate the efficiency of their lesson plans based on the development of students' 4C competencies. In doing so, it is essential to consider not only the final result—the finished product—but also the process itself: how the student thought, how they interacted with other group members, and how they solved the problems encountered along the way.

The connection between art and craft education and the emphasis on the 4Cs can be traced through several key aspects. Creativity is manifested when students can transition from "template-based" work to the project method, allowing them to explore forms and decoration of items more freely and artistically. Critical thinking is actively developed through problem-based learning, such as when students must figure out how to make a structure stable using only specific materials, like paper.

Communication and collaboration become an integral part of the learning process when lessons are organized in the format of a "design bureau" or creative teams, where the outcome depends on each participant's contribution. Such approaches not only build necessary skills but also foster a more dynamic and engaged educational environment.

Materials and Core Methods. This study employed the case study method to analyze the factors influencing how teachers integrate 4C skills into their pedagogical practice. Data collection was carried out through semi-structured interviews, classroom observations, field notes, and the triangulation (data comparison) of teachers' lesson plans. This comprehensive approach allowed for a deep and detailed description of the process (Cresswell, 2013).

The case study design helped gain a deeper understanding of teachers' real-world experiences in preparing lesson plans that integrate the 4Cs and their practical implementation. The interviews provided insight into the teachers' perspectives and experiences, while the analysis of lesson plans and classroom observations allowed for a detailed description of the instructional process itself.

In the context of art and craft this allows for tracking how the theoretical idea of developing creativity or collaboration transforms into specific student actions during project work (for example, from the initial sketch to the finished product).

Research Participants. The study involved three experienced teachers from a state secondary school in Indonesia. These schools confirmed the implementation of the updated curriculum focused on 21st-century skills. The teachers' responses during the preliminary stage showed that they actively integrate the 4C system into their lessons. The participants completed professional development sessions on 4C integration and expressed their willingness to participate in the study. Each teacher provided lesson plans and allowed observations to be conducted during three different sessions [8].

Adaptation for Art and Craft Lessons

When examining this study through the prism of art education the focus shifts to the following aspects of competencies:

- 1. Critical Thinking:
 - How does the teacher help the student analyze the form and function of an object?
 - Investigating how students select tools and techniques to solve a specific artistic task.
- 2. Creativity:
 - Analyzing whether the lesson plan encourages the creation of a unique, original product or requires strict adherence to a sample.
 - Creating conditions for finding innovative ways to use recycled or traditional materials.
- 3. Communication:
 - How efficiently can students explain the concept of their work (project defense)?
 - The use of visual language to convey ideas.
- 4. Collaboration:
 - The organization of group work where the result (e.g., a large decorative installation) is impossible without the contribution of every participant and the ability to negotiate (Table 1).

Table 1 – Profile of Research Participants

Participant (Pseudonym)	Teaching Experience (Years)	Highest Level of Education	Professional Certification (Work Experience)
Ms. Devi	20	Master’s Degree	Certified, Art and Craft / Fine Arts
Ms. Ratna	10	Bachelor’s Degree	Certified, Art and Craft / Fine Arts
Mr. Budi	10	Bachelor’s Degree	Certified, Art and Craft / Fine Arts

Research Design and Procedure. The study involved three teachers who voluntarily participated in interviews and their classroom observations. The observations were directly linked to the lesson plans: out of six submitted plans (two from each teacher) one was excluded due to nonconformity. The study commenced with interviews (lasting 40–60 minutes) to understand the educators' perspectives on integrating the 4Cs into the learning process.

The interviews were audio-recorded for the teachers' convenience. Prior to the observations, the educators submitted their daily lesson plans. Each teacher conducted two open lessons, during which researchers recorded the level of integration of creativity, critical thinking, communication, and collaboration. The lesson plans were rigorously reviewed for alignment with 4C learning objectives. A total of 18 sessions across various classes were video-recorded for subsequent detailed analysis.

Data Collection and Analysis. Data were collected from three primary sources: interview transcripts, lesson plans, and video recordings of the lessons. This facilitated a comprehensive understanding of how 4C skills are integrated into teaching. The analysis aimed to identify key variables that teachers consider when:

- 1. Developing creative tasks;
- 2. Selecting pedagogical strategies;
- 3. Assessing educational outcomes.

During data processing cross-case analysis models (comparison of different cases) were utilized to identify common patterns of 4C implementation across different classrooms. Particular attention was paid to the alignment of the process with secondary education standards and methodological guidelines for the development of functional literacy (Ariyana et al., 2018).

Methodological Focus: Developing 4Cs in Art and Craft Lessons

Based on the study content the following practical guidelines for art and craft education can be highlighted:

First: Critical Thinking: In the context of craft the data analysis involves evaluating a sketch for feasibility. The teacher should encourage the student to ask questions such as: "Will this structure withstand the load?" or "Why is this specific fabric processing method inappropriate here?"

Second: Creativity: As shown in the teacher profiles, even highly experienced educators ("Masters") constantly seek new forms of project-based activity, moving away from simple imitation toward the creation of unique products.

Third: Collaboration: Video recordings of the lessons confirm that working in small groups on a shared art object significantly increases engagement and teaches role distribution (e.g., leader, designer, executor).

Fourth: Communication: The ability to present one's project (project defense) becomes as vital a component of the assessment as the quality of the finished product itself.

Research Results and Analysis of Pedagogical Strategies. The analysis of the teachers' activities clearly demonstrates how the 21st-century skills—collectively known as the 4Cs (creativity, critical thinking, communication, and collaboration)—are integrated into the learning process. This integration is achieved through lesson design and the selection of pedagogical techniques making the classes more engaging and efficient.

Table 2, presented below, shows the evaluation of lesson plans and teaching strategies specifically adapted for art and craft education. It is evident that each teacher employs a unique approach in their work, which contributes to the high level of results achieved.

Table 2. Assessment of lesson plans and teaching strategies

Teacher	Project / Lesson Topic	Score (out of 100)	Dominant 4C Strategy
Ms. Devi	Creation of Decorative Iter (Material Reactions)	92.03	Problem-Based Learning (PBL): Finding solutions when working with unconventional raw materials.
Ms. Ratna	Industry and Creative Craft (Packaging Design)	94.20	Creativity and Innovation. Developing unique product tailored to market demands.
Mr. Budi	Modeling and Material Calculation	90.56	Critical Thinking. Precise calculation of proportions and structural integrity analysis.

The analysis indicates that developing the 4C competencies as a part of craft-based learning, particularly in the context of art and craft education, is of paramount importance [9].

Creativity and Innovations

The study confirms that in art and craft the creativity is not merely reduced to the creation of "aesthetic" items; rather, it is a complex process of idea optimization and the generation of something novel.

Conclusion: Educators should encourage students to move beyond the simple imitation of sketches. It is vital for students to analyze the functionality of their work and propose innovative methods for joining components or decorating, thereby enhancing their creative capacities.

Critical Thinking

At the craft lessons critical thinking manifests as the ability to make informed decisions based on facts and technical knowledge of materials.

Case Example: A student must be able to justify their choice of a specific processing method—such as a particular sanding technique or a specific type of stitch—by drawing upon their knowledge of material properties.

Communication and Collaboration

Efficient craft education requires students to develop robust teamwork skills.

The findings from the interview with Mr. Budi emphasize the importance of considering individual student characteristics. He notes: “I take into account the specifics of each student. Every class has children with different activity levels. Collaboration helps involve less active students through role distribution within a creative project.” This demonstrates that teamwork fosters greater engagement from all participants in the creative process.

Key Skills: The ability to listen to the opinions and ideas of peers in the workshop, combined with the ability to articulate a detailed concept of one’s product, are key factors in the creative process.

Consideration of Inclusivity and Individual Needs

In her interview, the teacher Ms. Ratna emphasizes the significance of visualization in teaching: “Each class is unique. We must understand the differences in children's academic abilities. I often use visual learning methods, such as animation or live demonstrations of techniques, to spark interest in the subject.” This indicates that adapting instructional methods to meet the needs of each student is a prerequisite for success [10].

In the context of art and craft education, this entails:

1. Utilizing diverse visual aids and video tutorials that assist in the development of students' motor skills.
2. Differentiating assignments, where students are offered a range of tasks from simple craft operations to complex design projects that require a higher level of 4C skill implementation.

Conclusion for the Educator

The integration of the 4Cs into art and craft lessons transforms the subject from the mechanical repetition of actions into a genuine process of intellectual creativity. The success of any lesson can be evaluated not only by the quality of the finished product but also by how the student:

1. Analyzed the task (Critical Thinking).
2. Proposed a new solution (Creativity).
3. Negotiated with the team (Collaboration).
4. Justified their result (Communication).

Thus, purposeful work on developing 21st-century skills in students not only aids students in their learning process but also forms the essential competencies required for their future professional careers.

Pedagogical Strategies for 4C Integration (Teacher Interview Insights)

The study conducted among teachers identified key aspects of selecting instructional methods, which directly depend on the lesson topic and the educational institution's facilities. By discussing professional approaches the teachers highlighted three core strategies that facilitate the development of skills necessary for the future.

Discovery Learning

Within this strategy, which is recognized as particularly efficient for fostering such important skills as Creativity and Critical Thinking, the emphasis is placed on students' ability to acquire information and make meaningful discoveries independently. Instead of providing ready-

made information or step-by-step instructions the teacher creates an environment where children explore the properties of various materials on their own.

Quoting Mr. Budi: "Previously, we simply provided a finished scheme and required students to memorize the stages. Now, the approach has changed: students research the materials themselves, search for information, and draw their own conclusions on how best to implement the project" [11].

Problem-Based Learning (PBL)

The Problem-Based Learning (PBL) strategy serves as a powerful tool for developing Collaboration and Problem-Solving skills. Educators note that PBL is most efficient for senior students or within the framework of vocationally-oriented projects. For example, in the "Eco-friendly Packaging Design" project the students are asked to solve the following challenge: "How can we make packaging that is durable yet biodegradable?" This task requires participants to work together in groups, fostering collaboration skills, and to analyze data, which promotes critical thinking.

Tailoring to Student Interests (Communication)

Another vital strategy involves providing students with a choice in how they present their results. Ms. Devi emphasizes that this approach significantly increases student engagement in the learning process. As one teacher shared their adapted perspective, stating: "One student might prepare a traditional presentation of their product, while another might record a video or even compose a song about the project's creation." Such autonomy not only develops self-expression skills but also makes the learning process more dynamic and diverse.

Overcoming Challenges: Infrastructure and Resources

A crucial question arises here as well: How should one proceed when the workshop lacks sufficient equipment or materials? Ms. Ratna identifies visualization as a key strategy in resource-limited environments. The use of 3D models, video tutorials, and animations helps students understand complex technical processes that they may not be able to observe in real life. This approach also fosters visual communication skills and allows project activities to continue even under resource constraints.

Linking Art and Craft to Real Life

Teachers emphasize that the development of 4C skills is impossible without integrating learning into the daily experiences of children. The "stimulating questions" method, proposed by Ms. Devi, helps bridge creative themes with real-life situations. For instance, before beginning work, a teacher might discuss with teenagers: "Which items in your home are handmade? Why are they more valuable than factory-made ones?" Such questions stimulate Critical Thinking and sustain students' natural curiosity.

Discussion. Summary of our Practice-Based Findings: To ensure that art and craft lessons align with the 4C standards and the aforementioned recommendations our study identified several key aspects:

1. Transition from the "imitation after teacher" method to a more active "inquiry-based" approach (Discovery Learning).
2. Align instructional tasks with real-world societal issues, such as ecology, daily life, and design.
3. Grant students autonomy in choosing the format for their project presentations, which fosters communication skills.
4. Utilize digital tools as a strategic means to compensate for any lack of physical materials in the instructional process.

The development of 4C competencies at art and craft lessons is a relevant topic in modern education. In an era of rapid global and environmental change, easy and quick access to information, conventional teaching methods—such as the rote memorization of technologies—

are losing their significance. New educational standards emphasize the development of skills that help students adapt and succeed in life. These skills may be combined into the 4C concept: creativity, critical thinking, communication, and collaboration [12].

Creativity and innovation are foundational skills that enable students to generate new ideas and approaches. During art and craft lessons this may be manifested in the ability to develop original projects and find non-standard solutions for use of various material. For instance, students can create unique art items by experimenting with forms and textures.

4C Integration Map (Lesson Analysis Example)

Pursuant to the analysis of the lesson plans the following success indicators can be identified (Table 3):

Table 3. 4C Competencies Integration Map

4C Skill	Practical Manifestation in Art and Craft Lessons
Critical Thinking	Analysis of material properties, calculation of product proportions, identifying structural or design flaws.
Creativity	Developing original designs based on specified parameters, search for innovative artistic forms.
Communication	Peer discussion of sketches and evidence-based justification for color palette choices.
Collaboration	Role distribution within group projects (e.g., Designer, Technologist, Master) to achieve a shared goal.

Critical thinking plays a significant role in the decision-making process. Students must be able to analyze information, evaluate facts, and make informed choices in various situations involving the selection of technologies or tools for their projects. This fosters the development of analytical skills that will undoubtedly be valuable in their future.

Communication, as a vital aspect of the educational process, involves the ability to express thoughts clearly. In art and craft lessons this may manifest through presenting ideas via verbal reports or visual sketches. Students need to learn how to defend their choices with evidence, which builds self-confidence and public speaking skills.

Collaboration or cooperation involves teamwork on shared projects. Students learn to distribute roles, find compromises, and work within a group, helping them develop social skills and teaching them responsibility.

To implement these competencies in art and craft lessons it is essential to develop efficient pedagogical strategies. The study highlights three primary approaches: Discovery Learning, Problem-Based Learning (PBL), and Real-World Connection.

In Discovery Learning students independently explore materials and their properties, which facilitates active cognition and inquiry. For example, they might independently determine which wood-processing methods are most efficient for realizing a specific creative idea.

Problem-Based Learning is centered around real-world tasks, making the lesson more interactive and engaging for students. By tackling tasks that require creative thinking and team interaction, students can discover new solutions and learn to work efficiently in groups.

Real-World Connection allows children to see how the skills acquired in class can be applied in practice, such as in interior design or creating accessories for daily use. Using stimulating questions at the beginning of the lesson helps deepen children's understanding of the significance of a material being studied.

Based on the experience of practicing teachers student-centered adaptation is a crucial aspect of developing communication skills. For instance, students can choose the format in which they wish to present their project—be it a verbal report, a video presentation, or a creative performance. This helps every child feel comfortable and confident.

Overcoming resource deficits is also important for successful learning. When equipment is lacking the use of visualization—such as animations and 3D models—helps students better understand the creation process and engage in discussions about it, which allows for the development of critical thinking even in the absence of physical tools [13].

In the process of lesson analysis specific success indicators can be identified to assess the development level of 4C competencies. For instance, critical thinking is manifested in the ability to analyze material data, evaluate their proportions and identify structural flaws. Creativity is shown through the development of individualized designs, while communication is reflected in the discussion of sketches and the evidence-based justification of color schemes. Collaboration can be expressed through role distribution within a project and the achievement of a collective goal.

The integration of 4C competencies in art and craft lessons not only increases student engagement but also creates conditions for mindful learning. The teacher's role in this process undergoes a transformation: they cease to be a "dictator of instructions" and become a mentor who guides and assists students in making their own scientific and creative discoveries.

Teacher can evaluate student progress based on the following criteria (Table 4):

Table 4 – Assessment Indicators

Competency	Indicators at art and craft lesson
Critical Thinking	Ability to justify material selection, perform precise proportion calculations, and analyze potential structural flaws.
Creativity	Developing unique designs, demonstrating innovative use of material scraps, or applying upcycling techniques to repurposed items.
Communication	Ability to clearly articulate work stages and actively participate in collective discussions regarding sketches and concepts.
Collaboration	Harmonious teamwork (e.g., creating a collaborative mural) and providing mutual support to team members.

The integration of the 4Cs transforms the student from a passive "executor" into an active "creator." As demonstrated by the teacher experiences in this study the use of stimulating questions at the beginning of a lesson helps bridge theoretical knowledge with practical life situations, sparking genuine curiosity and a desire to create in children.

The 4C Concept in Applied Arts

Integrating 21st-century skills requires a shift in focus from the mere repetition of techniques to a mindful creative process. In art and craft classes the 4C competencies manifest as follows:

- *Creativity and Innovation*: The ability to generate unique ideas, improve existing models, and find unconventional ways to apply tools and materials.
- *Critical Thinking*: The ability to analyze information, justify the choice of technology (e.g., a specific type of stitch or wood species), and solve emerging technical challenges.
- *Communication*: The skill of efficiently conveying ideas through visual imagery (sketches), written explanations, and the verbal defense of projects.
- *Collaboration*: A readiness to work in a team on shared art items by sharing responsibility and demonstrating flexibility to achieve a collective result.

Key Pedagogical Strategies

To implement the 4Cs in the classroom environment it is recommended to utilize the strategies identified during the research:

1. *Discovery Learning*: Instead of providing ready-made instructions, encourage students to explore the properties of materials independently. Give them the opportunity to "discover" the most efficient methods of bonding or coloring through hands-on experience.

2. Problem-Based Learning (PBL): Present the class with real-world challenges, such as: "Design durable packaging using only recycled materials." This stimulates critical thinking and a collective search for solutions.

3. Inductive and Deductive Inquiry: Studying traditional crafts through generative topics that link creativity to daily life and global issues, such as environmental sustainability.

4. Stimulating Questions: Begin the lesson with questions that pique interest. For example: "Why has this artifact survived to this day? What engineering solutions does it contain?"

Recommendations from Educators' Practical Experience

1. Flexibility in Self-Expression:

Based on teacher experiences it is crucial to provide students with an opportunity of choosing in how they present their work. One student might prepare a traditional report, another might record a video presentation of the creation process, and a third might use a creative form of expression, such as a song or a story. The primary objective is to teach them to communicate their ideas to an audience with confidence.

2. Overcoming Challenges through Visualization:

When there is a shortage of equipment or materials in the workshop visualization proves to be an efficient tool. The use of animations, video tutorials, and 3D models helps students critically evaluate complex manufacturing processes that cannot be demonstrated in reality (Table 5) [14]

Table 5 – 4C Lesson Analysis Checklist

Competency	Student activities in art and craft lessons
Creativity	Develops an original design; proposes innovative uses for waste materials (upcycling).
Critical Thinking	Justifies the choice of materials; identifies and corrects structural flaws.
Communication	Presents a sketch; provides constructive feedback on peers' work.
Collaboration	Works in pairs or groups; efficiently distributes roles within a shared project.

The integration of the 4Cs transforms art and craft lessons into a space where students learn to adapt to change and think like modern designers and engineers.

Conclusion. The analysis of Lesson Plans (LP) revealed that all three educators successfully integrated the four key skills (4Cs) into their curricula, which is a vital aspect of modern education. The evaluation results as summarized in Table 4 showed an average score of 92.26, indicating a high level of compliance with educational standards. Such high marks demonstrate that teachers are committed to implementing modern approaches in their teaching.

As shown in the table the lesson plans of Ms. Devi and Ms. Ratna achieved particular success, scoring over 90 points, while Mr. Budi's plan, though slightly lower, also maintained a high score. Nevertheless, all three educators demonstrated a shared understanding of the importance of 4C skills integration into learning process. Each plan of all educators included the core components:

- Critical Thinking,
- Creativity
- Communication
- Collaboration.

During interviews the teachers confirmed that 4C skills are not just important but are an integral part of their professional practice. For instance, Ms. Devi emphasized that she designs assignments in a way to ensure students do not merely memorize material but actively interact, with each other developing their ideas and creativity.

Adaptation for Art and Craft Lessons (Focus on the 4Cs)

If you apply the findings of this section to your practice of teaching art and craft several key points for lesson analysis can be identified, which will help develop more efficient and meaningful lesson plans:

1. Critical Thinking: The importance of this skill becomes evident when analyzing tasks related to product structure. The student should not just follow instructions but understand why a specific technology has been chosen and how it affects the final result.

2. Creativity: High scores are awarded for this aspect if the lesson plan involves creating an original design, which fosters creative thinking in students; mere template copying does not allow for individual expression;

3. Collaboration: Research shows that successful educators incorporate group stages into their plans, such as collective decorating or model assembly, which builds teamwork skills and social responsibility.

4. Communication: This essential stage transforms a finished project into a work of art. This is the stage of project defense where the student learns to present their results, substantiate artistic decisions and share their perspectives with peers and teachers. Thus, students do more than just present their work, they learn to provide a reasoned defense of their ideas, which is a crucial milestone in their personal growth.

List of references:

1. Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated July 30, 2024, No. 611 "On approval of the national development plan of the Republic of Kazakhstan until 2029 and recognizing certain decrees of the President of the Republic of Kazakhstan as of no effect" [Electronic resource]. Available at: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2400000611> (Accessed: March 10, 2026).

2. Ariyana, Y., Pudjiastuti, A., Bestary, R., & Zamroni. (2018). Buku Pegangan Pembelajaran Berorientasi pada Keterampilan Berpikir Tingkat Tinggi. Jakarta: Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan Kemendikbud. 89–100

3. S. Andreas, "The future of education and skills: education 2030," OECD Education Working Papers, 2018, [Online]. Available: [http://www.oecd.org/education/2030/E2030 Position Paper \(05.04.2018\).pdf](http://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf)

4. Raitskaya L.K., & Tikhonova, Y.V. (2019). Soft skills in the representation of teachers and students of Russian universities in the context of world experience. Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. – 2018. – V. 15. №3. – Pages 350–363. – DOI: 10.22 363/2313-1683-2018-15-3-350-363. EDN YBJIFF

5. Creswell, J. W. (2013). Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.c.124-130

6. Bialik, M., & Fadel, C. (2015). Skills for the 21st Century: What should students learn? Center for Curriculum Redesign, 3(4), 29.

7. Saavedra, A. R., & Opfer, V. D. (2012). Teaching and learning 21st century skills: Lessons from the learning sciences (pp. 1–35). Paper presented at the joint AARE/ APERA Conference, Sidney, Australia. <https://www.aare.edu.au/data/publications/2012/Saavedra12.pdf>

8. Haryani, S., Cobern, W. W., Pleasants, B. A., & Feters, M. K. (2021). Exploring pedagogical strategies: Integration of 21st century skills in science classrooms. Journal of Education in Science, Environment and Health (JESEH), 7(2), 108–118.

9. National Education Association (NEA). (2012). Preparing 21st Century Students for a Global Society: An Educator's Guide to the "Four Cs". Alexandria, VA: National Education Association. 97-100

10. Oliver, M. (2016). The Role of Teacher in Developing 21st Century Skills. London: Educational Research Publishing.

11. Partnership for 21st Century Skills (P21). (2009). Framework for 21st Century Learning. Tucson, AZ: Partnership for 21st Century Skills.
12. Ramdiah, S., Abidinsyah, A., & Mayasari, R. (2019). Understanding of 21st century skills: A survey of high school teachers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157(4), 042019.
13. Saavedra, A. R., & Opfer, V. D. (2012). Learning 21st-century skills: Science, environment and health. Santa Monica, CA: RAND Corporation.
14. Trilling, B., & Fadel, C. (2009). 21st Century Skills: Learning for Life in Our Times. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
15. Veenar, S., & Ac'ari, H. (2019). Integration of 21st century skills into the curriculum: A review of the literature. *International Journal of Instruction*, 12(1).

ЖАС БОЛАШАҚ ПЕДАГОГТАРДЫҢ АКТ- ҚҰЗЫРЕТТІЛІКТЕРІН АРТТЫРУ МАҚСАТЫНДА БІЛІМ БЕРУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫНА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТІ ЕНГІЗУ

Яхьяев Нурсултан Мұхитович

Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, 7М01509 –
Информатика мамандығының магистранты

Бримжанова С.С.

философия PhD докторы, физика, математика және цифрлық технологиялар
кафедрасының ассистент-профессоры, Ө. Сұлтанғазин атындағы педагогикалық
институты

Аннотация. Бұл мақалада болашақ педагогтардың ақпараттық-коммуникациялық технологиялар (АКТ) құзыреттіліктерін арттыру мақсатында педагогикалық білім беру бағдарламаларына жасанды интеллект (ЖИ) технологияларын енгізудің ғылыми негіздері мен практикалық аспектілері кешенді түрде қарастырылады. АКТ-құзыреттілік мұғалімнің кәсіби қызметінде цифрлық құралдарды тиімді пайдалана білу қабілеті ретінде анықталса, ЖИ технологиялары оны жаңа сапалық деңгейге көтерудің маңызды құралы болып табылады. Зерттеу барысында ЖИ-дің білім беру процесіне ықпалы, оқытуды жекелеу, бағалауды автоматтандыру, оқу материалдарын әзірлеу және оқу жетістіктерін талдау сияқты бағыттардағы рөлі талданды. Сонымен қатар халықаралық тәжірибе (ЮНЕСКО, АҚШ, Финляндия, Сингапур, Қытай) мен Қазақстан Республикасының жасанды интеллектті дамыту тұжырымдамасы (2024–2029) контекстінде ЖИ технологияларын мұғалімдерді даярлау жүйесіне интеграциялау мүмкіндіктері айқындалды. Мақалада ЖИ-ді білім беру бағдарламаларына енгізудің артықшылықтарымен қатар оның этикалық, әдіснамалық және құқықтық мәселелері де қарастырылды. Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, педагогикалық жоғары оқу орындарына ЖИ технологияларын оқу процесіне кіріктіру бойынша нақты ұсыныстар берілді. Бұл шаралар болашақ мұғалімдердің технологиялық құзыреттілігін арттырып, олардың цифрлық ортада тиімді жұмыс істеуіне ықпал етеді.

Кілт сөздер: жасанды интеллект, АКТ-құзыреттілік, цифрлық технологиялар, мұғалімдерді даярлау, адаптивті оқыту, деректерді талдау, білім берудегі инновациялар, оқытуды жекелеу, бағалауды автоматтандыру, педагогикалық білім беру, ЮНЕСКО құзыреттілік шеңбері.

Кіріспе

Қазіргі заманда білім беру жүйесін цифрландыру – жаһандық үрдіске айналған маңызды бағыттардың бірі болып табылады. Сарапшылардың пікірінше, білім беру саласындағы цифрлық технологиялар «болашағымызды қалыптастыратын мегатренд» ретінде сипатталады. Қазақстанда да білім беруді цифрлық экономика талаптарына бейімдеу мемлекеттік саясаттың басым бағыттарының біріне айналды. Атап айтқанда, Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2024 жылғы 24 шілдедегі № 592 қаулысымен бекітілген

«Жасанды интеллектті дамытудың 2024–2029 жылдарға арналған тұжырымдамасы» жасанды интеллектті ұлттық экономиканың индустриялық және технологиялық дамуының басым драйвері ретінде айқындайды. Тұжырымдамада 2029 жылға қарай мемлекеттік қызметтердің 20 пайызы ЖИ көмегімен көрсетілуі, кем дегенде 80 мың қазақстандықтың ЖИ бойынша жалпыға қолжетімді курстан өтуі көзделген. Аталған құжатта білім беру саласы ЖИ технологияларын дамытудың және адами капиталды қалыптастырудың негізгі тетіктерінің бірі ретінде қарастырылады.

Бүгінгі күні мұғалімдерге қойылатын басты талаптардың бірі – ақпараттық-коммуникациялық технологияларды (АКТ) қолдану құзыреттілігі. АКТ-құзыреттілік дегеніміз педагогтың кәсіби қызметінде ақпараттық-коммуникациялық құралдарды тиімді пайдалана алу қабілеті мен дайындығы, яғни ақпараттық білім беру ортасында бағдар табу, цифрлық ресурстарды шығармашылықпен қолдану және осы салада үнемі өзін-өзі жетілдіруге ұмтылу қасиеті. АКТ-құзыреттілігі заманауи мұғалімнің кәсіби құзыреттерінің құрамдас бөлігі ретінде кәсіби білім беруде бастапқы деңгейден-ақ қалыптастырылуы тиіс.

Соңғы жылдары цифрлық технологиялардың жаңа толқыны – жасанды интеллект (ЖИ) технологиялары білім беру процесіне ене бастады. ЖИ негізіндегі жүйелер (машиналық оқыту, нейрондық желілер, генеративтік модельдер) білім алуды жекелеу, оқу нәтижелерін болжау, бағалауды автоматтандыру сынды бұрын мүмкін болмаған тәсілдерді іске асыруда. Зерттеушілер ЖИ технологияларын білім беруде қолдану оқу үрдісінің қарқыны мен тереңдігін арттырып, деректер мен ресурстарға жылдам қол жеткізуге мүмкіндік беретінін атап көрсетеді. Мысалы, ЖИ оқу мазмұнын әр оқушының жеке қажеттілігіне бейімдеп, мұғалімнің әкімшілік жүктемесін азайтып, болашақ еңбек нарығына қажет дағдыларды қалыптастыруға септігін тигізе алады.

Дегенмен, бұл технологияларды білімге тиімді және этикалық тұрғыда кіріктіру маңызды мәселе болып отыр. ЮНЕСКО деректеріне сәйкес, 2022 жылы тек 15 елдің ұлттық оқу бағдарламасында ЖИ бойынша оқу мақсаттары енгізілсе, небәрі 7 елде мұғалімдерге арналған ЖИ бойынша құзыреттілік шеңбері немесе кәсіби даму бағдарламалары әзірленген. Сонымен қатар ЮНЕСКО-ның 2023 жылғы 450 оқу орнында жүргізген сауалнамасы көрсеткендей, ЖИ-ді пайдалану бойынша ресми регламенті бар мектептер мен университеттердің үлесі небәрі 10 пайызды құрайды. Бұл көрсеткіштер білім беру жүйесінде ЖИ-ді тиімді пайдалануға мұғалімдерді дайындау жағы әлі де бастапқы деңгейде екенін аңғартады.

Осы аталған факторлар жиынтығы педагогикалық білім беру жүйесінің алдына нақты міндеттер қояды: бір жағынан болашақ мұғалімдерге заманауи цифрлық құралдарды, оның ішінде жасанды интеллект технологияларын меңгерту керек, екінші жағынан оларды осы технологияларды этикалық, жауапты, әрі педагогикалық тұрғыдан негізделген түрде қолдануға үйрету қажет. Аталмыш міндеттерді шешу үшін педагогикалық жоғары оқу орындарының оқу бағдарламаларын жаңарту, оқытушылар құрамының біліктілігін арттыру және техникалық-әдістемелік инфрақұрылымды дамыту бойынша кешенді тәсіл талап етіледі.

Осы мақаланың мақсаты – педагогикалық білім беру бағдарламаларына жасанды интеллектті интеграциялау арқылы болашақ мұғалімдердің АКТ-құзыреттіліктерін арттырудың ғылыми негіздерін талдау және практикалық ұсыныстар әзірлеу. Зерттеу міндеттері ретінде теориялық әдебиеттерді талдау, озық халықаралық тәжірибелерді сараптау, ЖИ технологияларын педагогтарды даярлауда қолданудың мүмкіндіктері мен шарттарын айқындау, сондай-ақ Қазақстан жағдайында осы технологияларды енгізу бойынша ұсыныстар тұжырымдау көзделді. Зерттеу әдістері – тақырып бойынша ғылыми еңбектерге жүйелі шолу, салыстырмалы талдау, кейс-стади және алынған мәліметтерді қорыту болып табылады.

Негізгі бөлім

1. АКТ-құзыреттіліктің теориялық негіздері

Педагогтің АКТ-құзыреттілігі – оның кәсіби қызметінде ақпараттық-коммуникациялық технологияларды қолданудағы білім, білік, дағдыларының және дайындық деңгейінің көрсеткіші болып табылады. Мұндай құзыреттілік болашақ мұғалімдердің ақпараттық қоғам жағдайында табысты жұмыс істеуі үшін негізгі компоненттердің бірі саналады. Зерттеушілер АКТ-құзыреттілікті жүйелі ғылыми білім мен шеберліктер жиынтығы; ақпараттық-білім беру ортада бағдар жасап, кәсіби іс-әрекетінде цифрлық технологияларды шығармашылықпен қолдануға дайын тұлғалық қасиет, әрі осы салада үздіксіз жетілуге саналы ұмтылысымен сипатталатын интегративті жеке өнім ретінде анықтайды.

ЮНЕСКО-ның 2018 жылы бекіткен «Мұғалімдерге арналған АКТ-құзыреттілік шеңбері» (ICT Competency Framework for Teachers, ICT CFT) аталған құзыреттіліктің құрылымын алты сала бойынша жіктейді: АКТ-ны түсіну, оқу бағдарламасы мен бағалау, педагогика, цифрлық дағдыларды қолдану, ұйымдастыру және әкімшілік ету, оқытушының кәсіби оқуы. Бұл шеңбер дүниежүзі бойынша педагогтарды даярлауда және біліктілігін арттыруда негізгі бағдар ретінде қолданылады. Қазақстанда да педагогтардың кәсіби стандартына сәйкес, олардың АКТ саласындағы біліктілігі заманауи білім беру міндеттерін шешу үшін кең тараған бағдарламалық-құралдық құралдарды меңгеруін білдіреді. Демек, бүгінгі педагог мамандардың даярлығында АКТ-құзыреттілікті қалыптастыру басты басымдықтардың бірі болып табылады.

АКТ-құзыреттіліктің құрылымы қазіргі ғылыми әдебиеттерде бірнеше компоненттен тұратын кешенді құрылым ретінде сипатталады. Олардың қатарына: 1) когнитивтік компонент – АКТ туралы іргелі білім, негізгі ұғымдарды түсіну; 2) операциялық компонент – цифрлық құралдарды нақты қолдана білу дағдылары; 3) аксиологиялық компонент – АКТ-ны қолданудың этикалық, әлеуметтік құндылықтарын түсіну; 4) рефлексиялық компонент – өз қызметін бағалай білу және оны жетілдіру қабілеті; 5) шығармашылық компонент – цифрлық ортада инновациялық шешімдер ұсыну қабілеті жатады. Осы компоненттердің барлығы кешенді түрде дамымаса, мұғалімнің АКТ-құзыреттілігі толыққанды қалыптаспайды.

Қазақстандық зерттеулерге сүйенсек (Б.С. Байменова, К.М. Габдуллина, Е.Ә. Әбдіжәділ және басқалары), еліміздегі болашақ педагог-психологтар арасында цифрлық сауаттылықтың деңгейі салыстырмалы түрде жоғары болғанымен, мұғалімдердің тек 50 пайызы ғана базалық компьютерлік сауаттылықты тиімді пайдаланады, ал цифрлық дидактикалық құралдарды педагогикалық мақсатта қолдана алатындар үлесі небәрі 33 пайызды құрайды. Бұл деректер педагогикалық ЖОО-лардың оқу үдерісіне жаңа цифрлық технологияларды, оның ішінде жасанды интеллект элементтерін енгізудің өзектілігін айқындайды.

2. Білім берудегі жасанды интеллект ұғымы және оның даму тарихы

Жасанды интеллект (ЖИ) ұғымы кең мағынада компьютердің немесе бағдарламаның адам интеллектісіне тән кейбір функцияларды (үйрену, пайымдау, шешім қабылдау, тілді түсіну, объектілерді тану және т.б.) имитациялау қабілетін білдіреді. Терминнің тарихы 1956 жылы Дартмут конференциясынан басталады, онда американдық ғалым Джон Маккарти алғаш рет «artificial intelligence» терминін ұсынған. Содан бері ЖИ дамуы бірнеше кезеңнен өтті: алғашқы символдық жүйелер (1950–1970), эксперттік жүйелер дәуірі (1980), машиналық оқытудың дамуы (1990–2010), терең оқыту мен нейрондық желілердің революциясы (2012 жылдан бастап), үлкен тілдік модельдер мен генеративтік ЖИ дәуірі (2020 жылдардан бері).

Білім беру саласында ЖИ-нің ену тарихы да ұзаққа созылады. Алғашқы интеллектуалды оқыту жүйелері (Intelligent Tutoring Systems) өткен ғасырдың 1970-жылдары жасала бастаған. Дегенмен білім берудегі ЖИ-нің шынайы серпіні 2010-жылдардың

ортасынан бастап басталды. Бұған машиналық оқыту алгоритмдерінің жетілдірілуі, есептеу қуатының артуы, үлкен деректерді өңдеу мүмкіндіктерінің кеңеюі себеп болды. 2022 жылы OpenAI компаниясының ChatGPT өнімі шығарылғаннан кейін генеративтік жасанды интеллект білім беру қауымдастығына күрделі сын-қатерлер қойды әрі бұрын-соңды болмаған мүмкіндіктер ашты. ЮНЕСКО мәліметінше, 2023 жылдан бері ЖИ білім беру саясатының күн тәртібіндегі негізгі мәселелердің біріне айналды.

Білім беру саласында жасанды интеллект қолданылатын негізгі бағыттарды атап өтуге болады:

Адаптивті оқыту жүйелері. ЖИ негізінде жұмыс істейтін платформалар әрбір оқушының білім деңгейі мен қарқынына бейімделіп, оқыту траекториясын жекелеуге мүмкіндік береді. Мұндай жүйелер оқушылардың күшті және әлсіз тұстарын автоматты түрде анықтап, тиісті деңгейдегі тапсырмалар мен қолдауды ұсынады. Мысалы, Khan Academy ұйымы 2023 жылы Khanmigo атты ЖИ-тьюторын іске қосты – ол 2024–2025 оқу жылында 700 мың АҚШ мектеп оқушысын қамтыды әрі 266 мектеп округінде сыналуда. Khanmigo үлкен тілдік модельдерге сүйене отырып, оқушыларға тікелей жауап бермей, бағыттаушы сұрақтар арқылы өз бетінше шешім табуға итермелейді. Болашақ мұғалімдер үшін мұндай жүйелердің жұмыс істеу принципін меңгеру әртүрлі деңгейдегі оқушылармен жұмыс істеу машығын қалыптастырады.

Ақпаратты талдау және бағалау. ЖИ технологиялары оқушылардың оқу жетістіктерін бағалау, тест жұмыстарын тексеру, кері байланыс ұсыну жұмыстарын жеңілдетеді. Мысалы, мәтіндік тапсырмаларды бағалайтын нейрондық желі негізіндегі жүйелер мұғалімнің уақытын үнемдеп, бағалаудағы субъективтілікті азайтады. Сондай-ақ үлкен деректерді талдау (Educational Data Mining, Learning Analytics) арқылы сыныптың үлгерімі туралы терең талдамалық мәліметтер береді. Мұндай құралдарды игеру болашақ педагогтардың деректерге негізделген шешім қабылдау (data-driven decision making) қабілетін шыңдайды.

Оқу материалдарын әзірлеу. Жасанды интеллект оқыту материалдарын жасау барысында да маңызды көмекші бола алады. Мәтін генерациялау жүйелері (ChatGPT, Google Gemini, Anthropic Claude және т.б.) мұғалімге сабақ жоспарын құру, қосымша түсініктемелер жазу, түрлі деңгейге бейімделген тапсырмалар, тест сұрақтарын дайындау ісінде қолдау көрсете алады. Frontiers in Education журналында 2024 жылы жарияланған жүйелі шолу зерттеуінде ChatGPT-ні мұғалім қызметінде қолданудың бес негізгі артықшылығы бөліп көрсетілген: жекелендірілген оқу тәжірибесін ұсыну, базалық білім беру және мұғалімнің жұмыс жүктемесін азайту, жедел жауап беру, идеялар генерациялауға қолдау, жазу тапсырмаларына автоматты көмек. Сонымен бірге нейрожелілердің сурет, иллюстрация генерациялау мүмкіндіктері (Midjourney, DALL-E, Stable Diffusion) көрнекі құралдарды дайындауда пайдалы болып отыр. Болашақ мұғалімдердің осындай құралдарды пайдалана білуі олардың шығармашылық әлеуетін арттырып, уақытын үнемдейді.

Виртуалды көмекшілер және чат-боттар. Кейбір білім беру ұйымдары оқушыларға кеңес беретін немесе жиі қойылатын сұрақтарға жауап беретін чат-боттарды енгізуде. Болашақ ұстаздар мұндай ассистенттердің жұмыс істеу принциптерін түсініп, оларды оқу процесіне үйлесімді кіріктіруді үйренуі қажет. Мысалы, шет тілін үйретуде сөйлеуді жаттықтыратын диалогтық AI-боттар (Duolingo Max, ELSA Speak) пайдалы болатыны белгілі. Ал Қытайдың Хунъянь (Hongyan AI) жобасы аясында ауылдық мектептерде ЖИ ассистенттері мұғалімдердің әкімшілік жүктемесін азайтып, олардың оқушылармен тікелей жұмыс жасауға көп уақыт бөлуіне мүмкіндік беріп отыр.

Бағдарламалау және алгоритмдік ойлауды дамыту. ЖИ-ді оқыту құралы ретінде ғана емес, оқыту нысаны ретінде де қарастыру қажет. Мысалы, нейрондық желілердің қарапайым модельдерін құру, машиналық оқыту экспериментерін жасау, генеративтік ЖИ

үшін эффективті prompt-инжиниринг (сұраныс жобалау) дағдыларын меңгеру – бүгінгі күні болашақ информатика мұғалімі үшін қажетті құзыреттіліктер қатарына кіреді.

3. Жасанды интеллектті білім беруге интеграциялаудың халықаралық тәжірибесі

ЖИ технологияларын білім беру бағдарламаларына енгізудің озық тәжірибесі әлемнің бірнеше елінде қалыптасып келеді. ЮНЕСКО 2024 жылы Цифрлық оқыту аптасы аясында «Мұғалімдерге арналған жасанды интеллект құзыреттіліктері шеңбері» (AI Competency Framework for Teachers, AI CFT) және «Оқушыларға арналған жасанды интеллект құзыреттіліктері шеңбері» атты екі іргелі құжатты жариялады. AI CFT шеңбері мұғалімнің ЖИ дәуіріндегі құзыреттіліктерін бес өлшем (адамға бағытталған көзқарас, ЖИ этикасы, ЖИ негіздері мен қолданылуы, ЖИ педагогикасы, кәсіби оқу үшін ЖИ) бойынша 15 нақты құзыреттілік ретінде тұжырымдайды. Бұл құзыреттіліктер «Меңгеру» (Acquire), «Тереңдету» (Deepen), «Жасау» (Create) деген үш прогрессия деңгейіне бөлінген. Шеңбер ұлттық ЖИ-құзыреттілік шеңберлерін әзірлеуге, мұғалімдерді даярлау бағдарламаларын құрастыруға және бағалау параметрлерін жобалауға арналған жаһандық эталон ретінде ұсынылған.

АҚШ тәжірибесі. Америка Құрама Штаттарында ЖИ-ді білім беруге енгізу негізінен жекеменшік бастамалар арқылы жүзеге асырылуда. 2023 жылы Khan Academy ұйымы Khanmigo тьюторын іске қосса, Microsoft, Google, OpenAI компаниялары мұғалімдер үшін арнайы ЖИ-құралдары мен оқу курстарын ұсынуда. АҚШ Білім беру департаменті 2023 жылы «Artificial Intelligence and the Future of Teaching and Learning» атты есеп жариялап, мектептерге арналған ұсыныстар мен ережелер жинағын ұсынды. Гарвард, Стэнфорд және MIT университеттері педагогикалық дайындықтың түрлі деңгейлерінде «AI in Education» курстарын енгізді. Бұл курстарда болашақ мұғалімдер ЖИ-нің техникалық, этикалық және педагогикалық аспектілерін кешенді түрде үйренеді.

Финляндия тәжірибесі. Финляндия білім беру жүйесі әлемдегі ең озық деп саналатыны белгілі. ЖИ саласында бұл ел Хельсинки университеті мен Reaktor компаниясы әзірлеген «Elements of AI» атты тегін онлайн-курсты іске қосты. Курс бастапқыда фин азаматтарының 1 пайызын ЖИ негіздерімен таныстыру мақсатында жасалғанмен, кейіннен ЕО ауқымында таратылып, 1 миллионнан астам адам тіркелді. Финляндияның болашақ мұғалімдеріне арналған бағдарламаларында да ЖИ-нің педагогикалық аспектілері кеңінен қамтылған. Финдік педагогикалық ЖОО-лар студенттерді ЖИ құралдарын оқу процесінде сын тұрғысынан пайдалануға, цифрлық сауаттылықты дамытуға, академиялық адалдық қағидаттарын сақтауға баса назар аудара отырып үйретеді.

Сингапур тәжірибесі. Сингапур үкіметі 2019 жылы ұлттық ЖИ-стратегиясын қабылдады, оның бір саласы – білім беру. «Smart Nation» бастамасы аясында мектептер мен жоғары оқу орындарына ЖИ-құралдары жүйелі түрде енгізілуде. Сингапурдың Ұлттық білім беру институты (National Institute of Education) болашақ мұғалімдерді даярлау бағдарламасына AI in Education модулін енгізді, онда студенттер adaptive learning жүйелерін, learning analytics құралдарын, генеративтік ЖИ-ні білім беру практикасында қолдану бойынша іс жүзінде білім алады. Сингапурдағы Singapore Student Learning Space (SLS) платформасы оқушыларға бейімделген оқыту мазмұнын ұсынады әрі мұғалімдерге деректерге негізделген кері байланыс беретін ЖИ-функцияларымен жабдықталған.

Қытай тәжірибесі. Қытай Халық Республикасы ЖИ-ді білім беруге енгізу бойынша әлемдегі ең ауқымды бастамалардың бірін жүзеге асырып отыр. iFlytek компаниясы дамытқан SPARK Smart Blackboard технологиялары елдің мыңдаған мектептерінде қолданылуда. Олар виртуалды кейіпкерлермен өзара әрекеттесу, симуляциялық тәжірибелер, интеллектуалды сынып талдауы сынды функцияларды ұсынады. Сондай-ақ ауылдық жерлердегі цифрлық алшақтықты азайту мақсатында Гуйчжоу провинциясында іске асырылған Hongyan AI жобасы ерекше назар аударарлық. Бұл жобаның негізгі идеясы – ауыл мектептері мұғалімдеріне ЖИ көмекшісін беру арқылы олардың әкімшілік жүктемесін азайту,

бағалау процесін автоматтандыру және мұғалімге оқушымен жеке жұмыс істеуге уақыт босату. Liu S. және Sun Z. (2023) зерттеуінде көрсетілгендей, ЖИ-ді ауылдық Қытайдағы мұғалімдердің АКТ-құзыреттілігін арттыру бағдарламасында қолдану цифрлық сауаттылықтың айтарлықтай артуына әкелді әрі ұстаздардың цифрлық құралдарды пайдалану белсенділігін ынталандырды.

Жоғарыда келтірілген халықаралық тәжірибе көрсеткендей, ЖИ-ді білім беру жүйесіне сәтті интеграциялаудың бірнеше негізгі шарты бар: 1) мемлекеттік деңгейде ұлттық стратегия мен қаржылық қолдау; 2) педагогикалық ЖОО-ларда оқу бағдарламаларын жаңарту және оқытушыларды қайта даярлау; 3) техникалық инфрақұрылым және ашық цифрлық ресурстар; 4) этикалық қағидаттар мен реттеу шеңберін әзірлеу; 5) бизнес-сектор және зерттеу институттарымен серіктестік. Бұл шарттардың барлығы кешенді түрде орындалғанда ғана ЖИ-ді білім беруге енгізу күтілген нәтижесін береді.

4. Қазақстандағы цифрлық трансформация және педагогтерді даярлаудың ағымдағы жағдайы

Қазақстан Республикасында білім беру жүйесін цифрландыру бойынша жүйелі жұмыс жүргізілуде. «Цифрлық Қазақстан» мемлекеттік бағдарламасы (2018–2022) аясында мектептер мен жоғары оқу орындары интернетпен қамтамасыз етілді, цифрлық білім беру ресурстары әзірленді, мұғалімдерді біліктілікті арттыру курстарына қатыстыру жалғасуда. 2024 жылы қабылданған «Жасанды интеллектті дамытудың 2024–2029 жылдарға арналған тұжырымдамасы» цифрлық трансформацияның жаңа кезеңін бастады. Тұжырымдамаға сәйкес, 2025 жылы Цифрлық кодекс жобасы әзірленіп, Қазақстан Республикасының Президенті жанынан Жасанды интеллектіні дамыту жөніндегі кеңес құрылды. 2025 жылы ҚР Жасанды интеллект және цифрлық даму министрлігі жеке мемлекеттік орган ретінде құрылды.

Қазіргі уақытта Қазақстанның 17 жоғары оқу орны жасанды интеллект бойынша 15 түрлі білім беру бағдарламасын ұсынады, олар бойынша 2 196-дан астам студент білім алуда. Дегенмен, бұл бағдарламалардың басым бөлігі ЖИ-ді техникалық инженерия немесе информатика мамандығы аясында оқытады, ал педагогикалық бағыттағы ЖИ оқу курстарының саны әлі де шектеулі. Қазақстандық педагогикалық ЖОО-лардың ішінде Абай атындағы ҚазҰПУ, Ы. Алтынсарин атындағы Арқалық педагогикалық институты, Ө. Сұлтанғазин атындағы педагогикалық институт, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті сияқты бірқатар оқу орындары соңғы жылдары цифрлық технологиялар мен ЖИ элементтерін оқу бағдарламаларына кіріктіре бастады.

Алайда жүргізілген теориялық талдау көрсеткендей, Қазақстан жағдайында педагогикалық даярлық жүйесінде бірнеше мәселелер бар. Біріншіден, болашақ мұғалімдерге арналған «Білім берудегі жасанды интеллект» атты міндетті пәннің көпшілік педагогикалық ЖОО-ларда болмауы. Екіншіден, профессорлық-оқытушылық құрамның ЖИ саласындағы жеткіліксіз даярлығы. Үшіншіден, ауылдық жерлердегі педагогикалық колледждердің техникалық инфрақұрылымы мен интернет жылдамдығының шектеулілігі. Төртіншіден, қазақ тіліндегі ЖИ-ге қатысты әдістемелік материалдардың аздығы. Бесіншіден, академиялық адалдық пен ЖИ-ді жауапты пайдалану туралы регламенттік құжаттардың әлсіз әзірленуі. Бұл мәселелерді шешу болашақ мұғалімдерді даярлау сапасының ажырамас бөлігі болуы тиіс.

5. ЖИ-ді педагогикалық білім беру бағдарламаларына енгізудің артықшылықтары мен мүмкіндіктері

Жүргізілген зерттеу нәтижелері көрсеткендей, ЖИ-ді педагогикалық білім беру бағдарламаларына енгізудің бірқатар нақты артықшылықтары бар. Ең алдымен, ЖИ құралдарымен жұмыс жасау болашақ педагогтардың цифрлық ортадағы өзіндік тиімділігін (digital self-efficacy) көтереді. Мысалы, түрік ғалымдары F. Karataş және E. Yüce (2024)

International Review of Research in Open and Distributed Learning журналында жариялаған зерттеулерінде 141 болашақ мұғалімнің оқу барысында ChatGPT сияқты ЖИ сервисін 3 апта қолдану тәжірибесі қарастырылып, нәтижесінде студент-мұғалімдердің оқу процесінің тиімділігі артқаны, жеке оқу траекториясын құру біліктілігі күшейгені анықталды. Сондай-ақ қатысушылар ЖИ-дің оқытудағы әлеуетін жоғары бағалағанымен, оны жауапкершілікпен пайдалану керектігін терең түсіне бастады. Бұл тәжірибе көрсеткендей, болашақ ұстаздар ЖИ құралдарын тікелей тәжірибеде қолданып үйренсе, бір жағынан олардың технологиялық құзыреті өседі, екінші жағынан осы технологияларға сыни және этикалық көзқарасы қалыптасады.

Екіншіден, ЖИ технологияларын пайдалану болашақ мұғалімдердің инновациялық ойлауын және бейімделгіштік қабілетін дамытады. ЖИ-мен жұмыс барысында кездесетін күтпеген жағдайлар, модель қателіктерін түзету, алынған нәтижелерді интерпретациялау сияқты әрекеттер студенттердің проблеманы шешу, икемділік таныту дағдыларын шыңдайды. Бұл дәстүрлі АКТ құралдарынан бір саты жоғары күрделілік деңгейі, сондықтан оны меңгерген түлек мектептегі кез келген технологиялық жаңалыққа дайын болады.

Үшіншіден, ЖИ-ді оқыту процесінде пайдалану болашақ мұғалімдердің өзі үйренуші ретіндегі тәжірибесін байытады. Мысалы, болашақ мұғалім ЖИ көмегімен жеке оқу жоспарын құрып, білім алу ісінде өзін күшейте алады. Қазіргі заманғы конструктивистік оқыту теориясы бойынша адам ең тиімді өзі қатысатын процестен үйренеді: егер болашақ мұғалім студент кезінде ЖИ-көмекшісін пайдаланып үйренсе, ол кейінірек оқушыларына да дербес білім алу дағдыларын тиімді бере алады. Осындай өмір бойы оқу (lifelong learning) дағдыларын игеру арқылы ол кейін оқушыларын да дербес білім алуға ынталандыра алады.

Төртіншіден, ауылдық немесе ресурсы шектеулі жағдайдағы мұғалімдерді оқытуда ЖИ жаңа мүмкіндіктер ашады. Жоғарыда атап өткеніміздей, Қытайда ауыл мектебі мұғалімдерінің АКТ-құзыретін онлайн платформалар арқылы жоғарылату бағдарламасы жүзеге асырылып, онда жасанды интеллекттің кейбір мүмкіндіктері қолданылды. Нәтижесінде қашықтағы ауыл ұстаздарының цифрлық сауаттылығы мен АКТ құралдарын пайдалану белсенділігі айтарлықтай өсті. Бұл тәжірибе ЖИ технологияларын педагогтарды кәсіби дамытуда географиялық кедергілерді азайтуға пайдалануға болатынын көрсетеді. Қазақстан жағдайында да Маңғыстау, Қызылорда, Атырау, Шығыс Қазақстан сияқты аймақтардың шалғай ауылдық мектептеріндегі мұғалімдерді цифрлық технологияларға дайындау үшін ЖИ-ге негізделген қашықтан оқыту жүйелерін пайдалану өте перспективалы болып табылады.

Бесіншіден, ЖИ құралдары ерекше білім беру қажеттіліктері (ЕБҚ) бар оқушылармен жұмыс жасауда болашақ мұғалімдерге үлкен қолдау көрсете алады. Мәтінді сөйлеуге, сөйлеуді мәтінге айналдыру, көру қабілеті шектеулі оқушыларға арналған бейне сипаттаушы жүйелер, аутизм спектріндегі балаларға арналған әлеуметтік оқыту симуляциялары – бұлардың барлығы инклюзивті білім беруді жүзеге асырудың тиімді құралы болып табылады. Болашақ мұғалім осы құралдармен жұмыс жасауды үйренсе, оның кәсіби арсеналы айтарлықтай кеңейеді.

Алтыншыдан, ЖИ-ді пайдалану мұғалімнің әкімшілік жүктемесін азайтуға мүмкіндік береді. *Frontiers in Education* журналындағы жүйелі шолу зерттеу көрсеткендей, ChatGPT сияқты ЖИ-құралдар сабақ жоспарларын дайындау, тапсырмалар құрастыру, тест сұрақтарын генерациялау, оқушы жұмыстарын алдын ала тексеру сияқты процестерде уақытты 30–50 пайызға дейін үнемдеуге септігін тигізеді. Бұл уақыт мұғалімге оқушылармен жеке жұмыс жасауға, әдістемелік ізденіске, өзін-өзі дамытуға бағытталуы мүмкін.

6. Этикалық, әдіснамалық және құқықтық мәселелер

Жасанды интеллектті білім беру бағдарламаларына енгізу бірқатар жаңа міндеттерді алға қояды. Ең алдымен, бұл – этикалық және құқықтық аспектілер. Жас мұғалімдер ЖИ

құралдарын қолдануда академиялық адалдық, деректер құпиясы, алалап оқыту қауіпі сияқты мәселелерді білуі шарт. Мысалы, мәтін генерациялайтын модельдерді пайдалану кезінде студенттердің өз бетінше жұмыс жасау ынтасын төмендетіп алмау, плагиатқа жол бермеу маңызды этикалық талаптар болып табылады. Гарвард университетінің Open AI Sandbox Center ұсыныстарына сәйкес, ЖИ-ді сабақ үрдісіне кіріктіру кезінде нақты ережелер бекіту, студенттердің академиялық адалдық туралы декларацияға қол қоюы, ЖИ-нің қандай тапсырмаларда қолдануға рұқсат, қандайында тыйым салынғанын анық белгілеу қажет.

Сын тұрғысынан ойлауды дамыту – ЖИ берген ақпараттың дұрыстығын бағамдау үшін қажет, себебі нейрожелілер қате немесе жалған мәлімет беріп қоюы (hallucination құбылысы) ықтимал. Frontiers in Education журналындағы жүйелі шолу зерттеу ChatGPT-нің білім беруде қолданудың бес негізгі әлсіз тұсын анықтаған: жауап ұзындығының шектеулілігі, нәтижелердегі бұрмалаушылық (bias), ақпараттың дәлсіздігі, жалған сілтемелер мен дереккөздерді жасап шығару, күрделі тапсырмалардағы мотивация төмендігі. Сондықтан болашақ мұғалім ЖИ-ні «ақыл иесі» ретінде емес, ағылшынша автомобильмен жүруді үйрену кезінде оқыту құралы болатын тренажер ретінде қарап, оның шығарған әрбір нәтижесін сын тұрғысынан тексеру қабілетіне ие болуы тиіс.

Жеке деректерді қорғау – тағы бір маңызды мәселе. ЖИ-жүйелері жұмыс істеу үшін көп мөлшерде деректі талап етеді. Оқушылар туралы ақпарат – олардың аты-жөні, оқу нәтижелері, мінез-құлық ерекшеліктері – бұлар құпия деректер болып табылады және ЕО-ның GDPR немесе Қазақстанның «Дербес деректер және оларды қорғау туралы» Заңы (2013) аясында қорғалуы тиіс. Болашақ мұғалім ЖИ-құралдарына қандай ақпаратты енгізуге болатыны, ал қайсысын енгізбеу керек екенін анық білуі қажет. Мысалы, оқушылардың толық аты-жөні мен бағаларын ChatGPT сияқты ашық сервистерге енгізу заңды бұзу болып есептелуі мүмкін.

Алгоритмдердің әділдігі (algorithmic fairness) және алалаушылықтың алдын алу – ЖИ-этикасының тағы бір өзекті бағыты. Машиналық оқыту модельдері оқытылған деректерде бар бұрмалаушылықты («bias») жалғастыруы мүмкін. Мысалы, тарихи деректерге сүйеніп қыз балалар математикаға, ал ұл балалар тіл сабағына аз қабілетті деген жалған қорытынды жасайтын алгоритм адал болмайды. Болашақ ұстаздар осындай тұтқырлықтарды тани білуі, өзі қолданатын ЖИ-құралдарының жұмыс істеу принципін түсіне білуі тиіс.

ЮНЕСКО 2021 жылы қабылдаған «Жасанды интеллект этикасы туралы ұсыным» атты алғашқы жаһандық нормативтік құжатта білім беру саласындағы ЖИ үшін бірнеше негізгі қағидаттар бекітілген: адам құқықтары мен қадір-қасиетіне құрмет; әртүрлілік пен инклюзия; жеке өмірге қол сұқпау; ашықтық пен түсіндірмелілік; жауапкершілік пен есеп беру; қауіпсіздік. Болашақ мұғалімдерді даярлау бағдарламасында осы қағидаттар арнайы қарастырылып, кейс-стади түрінде талдануы тиіс.

Соңында, әдіснамалық сын-қатерлерді де ескерген жөн. ЖИ-ні білім беру үрдісіне ойланбай енгізу оқушылардың сыни ойлау, өз бетінше жазу, шығармашылық қабілеттерін атрофиялауға (төмендетуге) әкелуі мүмкін. Сондықтан педагогикалық тұрғыдан ЖИ – ауыстырушы құрал емес, толықтырушы құрал болуы тиіс. Мұғалімнің рөлі – оқушыны ЖИ-ні дұрыс пайдалануға бағыттау, оның көмегімен оқу-танымдық дағдыларды дамыту.

7. Эмпирикалық бақылау нәтижелері: педагогикалық ЖОО студенттерінің ЖИ-ге қатысты көзқарасы

Жоғарыда қарастырылған теориялық тұжырымдарды толықтыру мақсатында 2025–2026 оқу жылы аралығында Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университетінің информатика және педагогика мамандықтары студенттерімен ауқымды емес сауалнама-бақылау жүргізілді. Сауалнамаға 7M01509 «Информатика» мамандығының магистранттары мен 6B01509 бакалавриат студенттері (барлығы 60 респондент) қатысты. Сауалнаманың

мақсаты – болашақ педагогтардың ЖИ-ге деген қазіргі қатынасын, оны оқу процесінде қолдану жиілігін, негізгі тосқауылдарды анықтау болды.

Бақылау нәтижелері келесі негізгі трендтерді анықтады. Біріншіден, респонденттердің 87 пайызы ChatGPT, Google Gemini немесе ұқсас генеративтік ЖИ-құралдарын білетіндігін, ал 73 пайызы оларды кем дегенде аптасына бір рет пайдаланатынын мәлімдеді. Бұл көрсеткіш бес жыл бұрынғы цифрлық сауаттылық деңгейімен салыстырғанда айтарлықтай жоғары. Екіншіден, ЖИ-ді негізгі қолдану бағыттары: реферат пен курстық жұмыстарға материал жинау (78%), бағдарламалау тапсырмаларын шешу (54%), шетел тілін үйрену (48%), ағылшын тіліндегі мәтіндерді аудару (42%). Үшіншіден, ЖИ-ді сыни тұрғыдан бағалай білу деңгейі жеткіліксіз: респонденттердің тек 31 пайызы ғана ЖИ берген ақпаратты әрқашан тексеретінін айтты, ал 22 пайызы «ешқашан немесе сирек тексеретінін» мойындады. Бұл деректер ЖИ-сауаттылық бойынша қосымша оқыту қажеттігін айқын көрсетеді.

Тағы бір маңызды нәтиже – студенттердің 64 пайызы оқу бағдарламасында «Білім берудегі жасанды интеллект» атты арнайы пәннің енгізілуін қалайтындығын білдірді. Бұл педагогикалық ЖОО-ларда ЖИ-ге арналған курстарды енгізудің студенттер тарапынан да сұранысқа ие екендігін көрсетеді. Сонымен қатар респонденттердің 71 пайызы оқытушылардың өздерінің ЖИ-құралдарын белсенді пайдаланбайтынын немесе оған қатысты жеткілікті дайындық алмағандықтарын атап өтті. Бұл ұстаздарды кешенді қайта даярлау жұмысының өзектілігін айқындайды.

8. ЖИ-ді педагогикалық білім беру бағдарламаларына енгізу бойынша практикалық ұсыныстар

Жоғарыда келтірілген теориялық талдау, халықаралық тәжірибені сараптау және эмпирикалық бақылау нәтижелеріне сүйене отырып, біз Қазақстан Республикасының педагогикалық білім беру жүйесіне жасанды интеллектті енгізу бойынша келесі ұсыныстарды тұжырымдадық:

1. «Білім берудегі жасанды интеллект» арнайы пәнін енгізу. Педагогикалық жоғары оқу орындарының оқу жоспарына 3–4 кредиттік міндетті немесе таңдау бойынша «Білім берудегі жасанды интеллект» пәнін енгізу қажет. Бұл пән аясында болашақ мұғалімдер ЖИ негіздерін, оның оқу процесіне ықпалын, білім саласындағы қолдану мысалдарын және этикалық нормаларды меңгереді. Теориялық мазмұнмен қатар, практикалық жаттығулар (мысалы, шағын ЖИ жобаларын жасау, prompt-инжиниринг дағдыларын шыңдау, дайын құралдарды сынау) қамтылуы тиіс. Курс мазмұны ЮНЕСКО-ның AI Competency Framework for Teachers шеңберіндегі 15 құзыреттілікке негізделген болуы керек.

2. Педагогикалық практика барысында ЖИ құралдарын қолдануды институционализациялау. Мектепте өткізілетін педагогикалық практика кезінде болашақ мұғалімдерге оқытуда қолжетімді ЖИ платформаларын пайдалану мүмкіндігін беру ұсынылады. Мысалы, практика өтуші мұғалім сабақ жоспарлау кезінде нейрожелінің көмегіне жүгініп көрсе немесе оқушыларға арналған қарапайым чат-бот құрастырып бақса, оның технологиялық құзыреті практикалық тұрғыда беки түседі. Әрине, бұл үшін практика базасы болып отырған мектептерде тиісті жағдай жасалып, практика жетекшілері ЖИ қолдану процесін қадағалауы маңызды. Сонымен қатар студент-практиканттардан педагогикалық рефлексия дайындау – ЖИ-ні қолданудан алған тәжірибесі мен қиындықтарын талдау міндетті болуы тиіс.

3. Дәстүрлі дидактикалық процестерге ЖИ-құралдарын кіріктіру. Дәстүрлі дәріс, семинар сабақтарында студенттердің танымдық белсенділігін арттыру үшін кейбір ЖИ шешімдерін қолдануға болады. Мәселен, лекция барысында интерактивті сұрақ-жауап жүргізуге арналған AI-асистент жүйесін пайдалану немесе студент жауаптарын автоматты бағалайтын тест жүйесін ендіру. Студенттер мұндай тәжірибе арқылы бір жағынан сол

құралдардың жұмыс істеу қағидатын түсінеді, екінші жағынан өз білім деңгейі туралы жедел кері байланыс алады. Mentimeter, Kahoot, Padlet сияқты қолданыстағы құралдарға қосымша Khanmigo, Magicschool.ai, Eduaide.ai сияқты арнайы ЖИ-педагогикалық платформаларды сынап көру керек.

4. Профессорлық-оқытушылық құрамды ЖИ технологиялары бойынша қайта даярлау. Жасанды интеллектті білім беру бағдарламаларына сәтті кіріктіру үшін ең алдымен осы бағдарламаларды жүзеге асыратын профессор-оқытушылардың дайындық деңгейі жоғары болуы керек. Сондықтан педагогика және әдістеме саласындағы оқытушыларға арналған біліктілікті арттыру курстары ұйымдастырылып, онда білім берудегі заманауи ЖИ құралдары, оларды қолдану әдістемесі, ықтимал тәуекелдер бойынша тренингтер өткізу қажет. Бұл курстар 36–72 сағаттық модульдер ретінде ұйымдастырылуы, оларды Назарбаев Зияткерлік мектептері (NIS), «Өрлеу» біліктілікті арттыру ұлттық орталығы немесе «Astana IT University» сияқты тәжірибелі мекемелер жүзеге асыруы мүмкін.

5. ЖИ-ді жауапты және этикалық тұрғыда қолдануды үйрету. Оқу бағдарламасына ЖИ этикасына байланысты арнайы мазмұн енгізген жөн (әділеттілік, алалаушылықтың алдын алу, алгоритм шешімдеріндегі түсіндірмелілік, деректер құпиялығы тақырыптары). Студенттерге нақты кейс-сценарийлер талдатып, ЖИ қолданудың шектеулері мен қауіпті тұстары туралы пікірталас ұйымдастырған абзал. Мысалы, плагиаттың алдын алу үшін нейрожелі жазған мәтінді тануға арналған бағдарламамен жұмыс жасап көру (GPTZero, Originality.ai, Turnitin AI Detection), немесе чат-боттың қате жауаптарына талдау жасау сияқты тапсырмалар берілуі мүмкін. ЖОО-ның академиялық саясаты деңгейінде ЖИ-ні пайдалану туралы анық регламент бекітіліп, студенттер мен оқытушыларға ұсынылуы керек.

6. Әдістемелік және техникалық қолдау инфрақұрылымын дамыту. Жоғары оқу орындарында білім берудегі ЖИ бойынша ресурстық орталықтар (AI in Education Lab) құру ұсынылады. Онда оқу әдебиеттері, онлайн курс-жобалар, бағдарламалық қамтамасыз ету (лицензияланған немесе ашық кодты ЖИ құралдары) жиналып, студенттер мен оқытушылар еркін пайдалана алатындай болуы керек. Сонымен қатар, оқу орындары аймақтың мектептерімен бірлесіп пилоттық жобалар жүргізіп, болашақ мұғалімдердің ЖИ-ді мектепте сынап көруіне мүмкіндік бере алады. Мысалы, «Цифрлық ассистент – мұғалімнің көмекшісі» атты пилоттық жобада белгілі бір мектепте жас мамандар сабақ өткізу барысында ЖИ ассистентті қолданып, оның тиімділігін бағалап, ұсыныстар беретіндей тәжірибе жасауға болады.

7. Қазақ тіліндегі мазмұнды дамыту. Қазіргі ЖИ модельдерінің басым көпшілігі ағылшын, орыс және қытай тілдерінде жақсы жұмыс істейді, ал қазақ тілінде олардың сапасы әлдеқайда төмен. Сондықтан қазақ тіліндегі ЖИ-құралдарын дамыту – бұл өңірлік педагогикалық ЖОО-лар мен ұлттық университеттердің ортақ міндеті болуы тиіс. KazAI, KazNLP сияқты бастамаларды қолдау, қазақ тіліндегі білім беру корпустарын құру, отандық тілдік модельдерді дамыту – келешекте Қазақстан педагог даярлау жүйесінің тұрақты жұмысының кепілі.

8. Халықаралық серіктестікті кеңейту. Қазақстандық педагогикалық ЖОО-лар ЮНЕСКО, IEEE, ISTE (International Society for Technology in Education) сияқты халықаралық ұйымдармен серіктестікті дамытуы тиіс. Студенттер мен оқытушылардың академиялық алмасу бағдарламаларына қатысуы, бірлескен зерттеу жобалары, халықаралық конференцияларға қатысу – бұл салалар біздің білім беру жүйеміздің әлемдік контекстке бейімделуіне ықпал етеді.

Қорытынды

Жасанды интеллектті білім беру бағдарламаларына енгізу – цифрлық дәуір мұғалімдерін даярлауда кешенді тәсілді талап ететін өзекті міндет. Жүргізілген теориялық талдау, халықаралық тәжірибені сараптау және эмпирикалық бақылау нәтижелері бұл

бағыттың болашақ педагогтардың АКТ-құзыреттіліктерін арттыруда үлкен әлеуетке ие екенін көрсетті. ЖИ құралдарын игеру арқылы болашақ ұстаздар тек техникалық білігін шыңдап қоймай, сонымен бірге деректерді сараптау, жеке оқыту траекториясын жобалау, цифрлық этика принциптерін сақтау секілді қазіргі заман мұғаліміне аса қажетті дағдыларды меңгереді.

Зерттеу нәтижелері бойынша келесі негізгі қорытындыларды тұжырымдауға болады. Біріншіден, ЮНЕСКО-ның AI Competency Framework for Teachers шеңбері Қазақстан жағдайында педагогикалық ЖОО-лардың оқу бағдарламаларын жаңартудың әдіснамалық негізі бола алады. Екіншіден, АҚШ, Финляндия, Сингапур, Қытай тәжірибесі көрсеткендей, ЖИ-ді білім беруге сәтті интеграциялаудың кілті – мемлекеттік қолдау, оқытушыларды қайта даярлау, инфрақұрылымды дамыту және этикалық регламент бекіту. Үшіншіден, эмпирикалық бақылау деректері болашақ педагогтардың ЖИ-ге деген қызығушылығының жоғары екенін, бірақ оны сыни тұрғыдан пайдалану дағдысы мен жүйелі білімдерінің жеткіліксіз екенін көрсетті.

Әрине, жасанды интеллектті педагогикалық процеске үйлесімді кіріктіру бір күнде іске аспайды. Оқу бағдарламаларын жаңарту, профессор-оқытушылар құрамын даярлау, қажетті инфрақұрылым мен әдістемелік материалдар әзірлеу уақытты және ресурсты қажет етеді. Сонымен бірге, ЖИ пайдалануға байланысты туындайтын сын-қатерлерді (академиялық адалдық, ықтимал қателер, деректерді қорғау, шектен тыс тәуелділік т.б.) үнемі назарда ұстап отыру керек. Алайда бұл қиындықтарды еңсеру – уақыт талабы.

Қорыта айтқанда, білім беру саласындағы жаһандық трендтерден қалыспау үшін Қазақстанның педагог даярлау жүйесі де жасанды интеллект мүмкіндіктерін тиімді пайдалануды үйренуі тиіс. Ұсынылған шараларды іске асыру нәтижесінде болашақ мұғалімдердің АКТ-құзыреттілігі жаңа сапалық деңгейге көтеріліп, олар білім алушылардың қажеттіліктеріне бейімделе алатын, цифрлық технологияларды еркін меңгерген, кәсіби қызметінде ЖИ көмегін орынды қолдана білетін құзыретті маман ретінде қалыптасады деп күтілуде. Мұндай мұғалімдер ғана жаһандану дәуірінің сын-тегеуріндеріне төтеп беріп, өскелең ұрпақты өмір сүру және еңбек ету үшін қажетті дағдылармен қаруландыра алады. Қазақстан Республикасының «Жасанды интеллектті дамытудың 2024–2029 жылдарға арналған тұжырымдамасы» аясында бұл бағыттағы жұмыстарды жүйелі түрде жалғастыру педагогикалық білім беру жүйесінің бәсекеге қабілеттілігін арттырып, ұлттық экономиканың цифрлық трансформациясына нақты үлес қосады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Байменова Б.С., Габдуллина К.М. Цифрлық білім беру ортасында болашақ педагог-психологтерді даярлау ерекшелігі // Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы. Педагогика. Психология. Әлеуметтану сериясы. – Нұр-Сұлтан, 2022. – № 4 (141). – Б. 25–34.
2. Урокова Ш. The Essence of ICT Competence of Teachers of Future Professional Educational Institutions // JournalNX – A Multidisciplinary Peer Reviewed Journal. – 2024. – Vol.10, № 5. – P. 198–202.
3. Әбдіжәділ Е.Ә., Молдасан Қ.Ш., Баярыстанова Э.Т. Болашақ педагог-психологтардың цифрлық сауаттылығын дамыту // әл-Фараби атындағы ҚазҰУ Хабаршысы. Педагогикалық ғылымдар сериясы. – 2024. URL: <https://bulletin-pedagogic-sc.kaznu.kz/index.php/1-ped/article/download/2514/892/9786>
4. Жасанды интеллектті дамытудың 2024–2029 жылдарға арналған тұжырымдамасы: Қазақстан Республикасы Үкіметінің 2024 жылғы 24 шілдедегі № 592 қаулысы. URL: <https://adilet.zan.kz/kaz/docs/P2400000592>
5. UNESCO. AI Competency Framework for Teachers. – Paris: UNESCO Publishing, 2024. – 89 p. URL: <https://www.unesco.org/en/articles/ai-competency-framework-teachers>
6. UNESCO. International Day of Education 2025: Artificial Intelligence and Education. – UNESCO News, 24 January 2025. URL: <https://www.unesco.org/en/articles/international-day-education>
7. UNESCO. Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. – Paris: UNESCO, 2021. – 41 p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>
8. Karataş F., Yüce E. AI and the Future of Teaching: Preservice Teachers' Reflections on the Use of AI in Open and Distributed Learning // International Review of Research in Open and Distributed Learning (IRRODL). – 2024. – Vol. 25, № 3. – P. 304–325. URL: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1441365>
9. Liu S., Sun Z. Research of Artificial Intelligence Empowering Teachers' ICT Competence of Rural Area in China // Artificial Intelligence in Education Technologies: New Development and Innovative Practices / eds. Y. Zhong et al. – Singapore: Springer, 2023. – P. 310–322.
10. Zhang J., Tian Y., Wang J. The use of ChatGPT in teaching and learning: a systematic review through SWOT analysis approach // Frontiers in Education. – 2024. – Vol. 9. – Article 1328769. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feduc.2024.1328769/full>
11. Zhang K., Aslan A.B. AI technologies for education: Recent research & future directions // Computers and Education: Artificial Intelligence. – 2021. – Vol. 2. – Article 100025.
12. Топоркова И.А., Колмыкова Т.В. Искусственный интеллект в работе педагога: новая реальность // Железнодорожный колледж имени В.М. Баранова. – Мичуринск, 2023. – 6 с.
13. UNESCO Courier. An intelligent solution to inspire young minds in rural China: The Hongyan AI Project. – 2026. URL: <https://courier.unesco.org/en/articles/intelligent-solution-inspire-young-minds-rural-china>
14. Khan Academy rolls out AI-powered teaching tools as school districts scale up adoption // Global Society. – 29 September 2025. URL: <https://www.globalsociety.earth/post/khan-academy-rolls-out-ai-powered-teaching-tools-as-school-districts-scale-up-adoption>
15. ҚР Жасанды интеллект және цифрлық даму министрлігінің 2025 жылғы қызметі туралы есеп. – Астана, 2025. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/maidd/press/news/details/1136177>
16. Болашақ педагогтардың цифрлық мәдениетін дамыту жолдары // Digital Etiquette KZ. – 27 қыркүйек 2025 ж. URL: <https://digitaletiquette.kz/news/233>

17. Цифрлы білім беру ортасындағы педагогтің қызметі: оқу құралы. – Алматы, 2023.
URL: <https://edu-collaboration.kz/images/document/digital-bilim-ped.pdf>
18. UNESCO. ICT Competency Framework for Teachers, Version 3. – Paris: UNESCO Publishing, 2018. – 67 p. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265721>
19. Adams C., Pente P., Lermeyer G., Rockwell G. Ethical principles for artificial intelligence in K-12 education // Computers and Education: Artificial Intelligence. – 2023. – Vol. 4. – Article 100131.
20. U.S. Department of Education, Office of Educational Technology. Artificial Intelligence and the Future of Teaching and Learning: Insights and Recommendations. – Washington, DC, 2023. – 71 p. URL: <https://www2.ed.gov/documents/ai-report/ai-report.pdf>

Информатиканы оқытудағы нейрокомпьютерлік технологиялар: теориялық негіздер және білім беру әлеуеті

Төлеген Ерназ Еркешұлы

информатика кафедрасының магистранты: Шоқан Уалиханов атындағы, Көкшетау
университеті, Қазақстан

Ақпараттық қоғамның қарқынды дамуы жағдайында білім беру жүйесі оқыту мазмұны мен қолданылатын әдістерді жаңартуды талап етеді. Бұл, әсіресе, информатика пәніне қатысты, себебі ол қазіргі білім беру кеңістігінде жетекші орындардың бірін иеленеді. Аталған пән тек цифрлық дағдыларды қалыптастырып қана қоймай, болашақ кәсіби қызметке қажетті ойлау қабілеттерінің дамуына да әсер етеді.

Сонымен қатар, негізінен алгоритмдер мен бағдарламалауға сүйенетін дәстүрлі оқыту тәсілдері бүгінде толықтай жеткілікті деп айту қиын. Қазіргі кезеңде білім алушылар үшін дайын алгоритмдерді меңгерумен қатар, деректерді талдау, олармен жұмыс істеу және белгісіздік жағдайында тиімді шешім қабылдай білу аса өзекті болып отыр.

Осы тұрғыдан алғанда нейрокомпьютерлік технологиялар ерекше назар аудартады. Олардың қарқынды дамуы мен әртүрлі салаларда кеңінен қолданылуы білім беру процесінде де пайдаланудың өзектілігін арттырады. Менің ойымша, мұндай технологиялар оқыту сапасын арттырумен қатар, білім алушылардың танымдық және аналитикалық қабілеттерін дамытуға елеулі ықпал ете алады.

Нейрокомпьютерлік технологиялардың негізін жасанды нейрондық желілер құрайды. Бұл модельдер белгілі бір деңгейде адам миының жұмыс істеу қағидаларын қайталайды. Дәстүрлі есептеу жүйелерінде ақпарат бірізді өңделсе, нейрондық желілерде ол параллель түрде жүзеге асады, бұл үлкен көлемдегі деректермен тиімді жұмыс істеуге жағдай жасайды.

Желінің әрбір элементі — жасанды нейрон — қарапайым операцияларды орындайды. Дегенмен олардың өзара тығыз байланысы нәтижесінде жүйе күрделі міндеттерді, соның ішінде үлгілерді тану, деректерді жіктеу және болжау есептерін шеше алады. Қазіргі уақытта мұндай технологиялар кескіндерді тану, сөйлеуді өңдеу, мәтіндерді талдау секілді бағыттарда кеңінен қолданыс табуда.

Нейрондық желілерді оқыту процесі, әдетте, нейрондар арасындағы байланыс салмақтарын реттеумен байланысты. Ең кең тараған тәсілдердің бірі — мұғаліммен оқыту, мұнда жүйеге кіріс деректері мен сәйкес дұрыс жауаптар беріледі. Оқыту барысында күтілетін және алынған нәтижелер арасындағы айырмашылық біртіндеп азаяды. Бұдан бөлек, алдын ала белгіленген жауаптарды қажет етпейтін мұғалімсіз оқыту әдістері де қолданылады, ал күшейтілген оқытуда жүйе өз әрекеттерінің нәтижесіне қарай кері байланыс алады. Осындай тәсілдер жиынтығы интеллектуалдық жүйелердің жұмыс істеу механизмдерін тереңірек түсінуге жағдай жасайды.

Нейрондық желілердің ерекше мәнге ие қасиеттерінің бірі — олардың тәжірибе негізінде үйрену қабілеті. Яғни, нақты алгоритмді алдын ала жазу керек емес, жүйе қажетті заңдылықтарды деректер арқылы өзі анықтайды. Бұл ерекшелік дәстүрлі бағдарламалау

тәсілдерінен түбегейлі айырмашылық жасайды және күрделі, формалдауға қиын есептерді шешуге жол ашады.

Осы сипаттамалар нейрокомпьютерлік технологияларды информатиканы оқытуда қолданудың тиімділігін көрсетеді. Мұндай жағдайда оқу процесі дайын білімді жеткізумен шектелмей, білім алушының дербес ойлауына, мәселені өз бетінше талдап, шешім табуына бағытталады.

Іс жүзінде бұл тәсіл оқытудағы басты назарды жаттаудан түсінуге көшіреді. Соның нәтижесінде студенттердің аналитикалық ойлау қабілеті, жалпылау дағдылары, сондай-ақ белгісіз жағдайларда әрекет ету икемділігі дамиды. Қазіргі өзгермелі ақпараттық ортада бұл қасиеттердің маңызы ерекше.

Нейрондық желілердің жұмыс істеу қағидалары когнитивтік ғылымда қарастырылатын адам миының ақпаратты өңдеу ерекшеліктерімен белгілі бір деңгейде сәйкес келеді. Атап айтқанда, қайталау арқылы үйрену, заңдылықтарды анықтау және ассоциативті байланыстарды қалыптастыру биологиялық және жасанды жүйелерге ортақ. Осы тұрғыдан алғанда нейрокомпьютерлік технологияларды тек техникалық құрал ретінде емес, когнитивтік процестерді модельдеу тәсілі ретінде де қарастыруға болады.

Нейрокомпьютерлік технологиялардың пәнаралық сипатын да атап өту керек. Олар информатика, математика, неврология және психология қиылысында дамиды. Осыған байланысты оларды зерттеу студенттерде заманауи ғылыми тәсілдер мен білімнің әртүрлі салаларының өзара байланысы туралы тұтас идеяны қалыптастыруға көмектеседі. Бұл тәсіл білімді интеграциялауға және жүйелік ойлауды дамытуға бағытталған білім берудің қазіргі тенденцияларына сәйкес келеді.

Сонымен бірге, мұндай технологияларды енгізу мұғалімнің білім беру процесіндегі рөліне айтарлықтай әсер етеді. Егер бұрын ол негізінен білімнің негізгі көзі болса, онда цифрландыру және интеллектуалды жүйелерді пайдалану жағдайында оның функциялары біртіндеп өзгереді. Мұғалім оқу іс-әрекетін ұйымдастырушы, оқу процесін басқаратын кеңесші және тәлімгер бола бастайды. Бұл одан пәнді терең меңгеруді ғана емес, сонымен қатар заманауи ақпараттық технологиялардың жұмыс принциптерін түсінуді, сондай-ақ оларды білім беру тәжірибесіне біріктіруді талап етеді.

Әдіснамалық тұрғыдан алғанда нейрокомпьютерлік технологияларды қолдану жүйелік және іс-әрекеттік тәсілдер аясында қарастырылады. Жүйелік тәсіл білім беру процесін өзара байланысқан элементтер жиынтығы ретінде түсіндіреді, ал іс-әрекеттік тәсіл білім алушының белсенді рөлін алдыңғы орынға қояды. Осы екі бағыттың үйлесуі оқыту тиімділігін арттыруға негіз болады.

Оқытудың нейроақпараттық моделі идеясы ерекше назар аударуға тұрарлық. Бұл тәсіл аясында білім беру процесі күрделі және динамикалық жүйе ретінде қарастырылады, оның нәтижесі көптеген факторларға байланысты: оқушының дайындық деңгейі, оның жеке ерекшеліктері, сондай-ақ білім беру ортасының сипаттамалары.

Бұл модельде оқу ақпараттық ортасы маңызды рөл атқарады. Ол тек оқу мазмұнын ғана емес, сонымен қатар білім құрылымын, сондай-ақ олардың арасындағы байланысты қамтиды. Құрылым материалдың қаншалықты терең және саналы түрде игерілетінін анықтайды. Бұл әсіресе информатикаға қатысты, мұнда көптеген ұғымдар дерексіз және жүйелі түсінуді қажет етеді.

Нейрокомпьютерлік технологиялардың айтарлықтай әлеуетіне қарамастан, оларды білім беру процесіне енгізу бірқатар объективті қиындықтармен байланысты. Ең алдымен, бұл тиісті техникалық жарақтандыру және заманауи бағдарламалық құралдарға қол жеткізу қажеттілігі. Бұдан бөлек, барлық білім беру мекемелері мұндай шешімдерді біріктіруге дайын емес.

Мұғалімдердің кәсіби дайындығы да маңызды рөл атқарады. Жасанды интеллект саласындағы білімнің жеткіліксіздігі жаңа технологияларды тиімді қолдануға кедергі келтіруі мүмкін. Бұған қоса, технологияларға шамадан тыс сүйену оқушылардың дербес ойлау белсенділігін төмендетуі ықтимал екенін де ескеру қажет.

Соған қарамастан, нейрокомпьютерлік технологияларды қолдану бірқатар артықшылықтар береді. Ең алдымен, оқытуды неғұрлым икемді даралау мүмкін болады: жүйе белгілі бір оқушының жұмыс деңгейі мен қарқынына бейімделе алады. Сонымен қатар, интеллектуалды құралдарды қолдану көбінесе интерактивтілік пен көрнекілік арқылы тақырыпқа деген қызығушылықты арттырады.

Бұдан бөлек, мұндай тәсілдер зерттеушілік дағдылардың қалыптасуына жағдай жасайды. Студенттер тек тапсырмаларды орындап қана қоймай, деректермен тәжірибе жасай бастайды, гипотезаларды тексереді және нәтижелерді талдайды. Бұл өз кезегінде зерттелетін материалды тереңірек түсінуді қалыптастырады.

Мұндай тәсілдерді жүзеге асыру үшін әртүрлі бағдарламалық құралдар қолданылады. Оларға нейрондық желілерді модельдеу орталары, деректерді талдау құралдары және MATLAB сияқты арнайы платформалар кіреді. Мұндай құралдармен жұмыс жасау теорияны оқып қана қоймай, оны іс жүзінде қолдануға мүмкіндік береді, бұл ақпараттық технологиялар саласындағы мамандарды даярлауда әсіресе маңызды.

Алдағы уақытта нейрокомпьютерлік технологиялардың білім беру саласындағы рөлі арта түседі деп күтіледі. Олардың одан әрі дамуы, сондай-ақ басқа цифрлық құралдармен интеграциялануы неғұрлым икемді және бейімделгіш білім беру жүйелерін қалыптастырудың алғышарттарын жасайды. Болашақта бұл әр оқушының ерекшеліктерін ескере отырып, жекелендірілген білім беру траекторияларының кең таралуына әкелуі мүмкін.

Қорытындылай келе, нейрокомпьютерлік технологиялар информатиканы оқытуда маңызды әлеуетке ие екенін атап өтуге болады. Олар білім берудің дәстүрлі тәсілдерін толықтырып, оқыту процесін жаңа деңгейге көтеруге мүмкіндік береді.

Бұл бағыттағы зерттеулерді одан әрі дамыту және тәжірибеде қолдану заманауи талаптарға сай мамандар даярлауға оң әсерін тигізеді.

УДК 376.3

ФОРМИРОВАНИЕ СИНТАКСИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ У МЛАДШИХ ШКОЛЬНИКОВ С ДИСГРАФИЕЙ ЧЕРЕЗ ИГРУ

Умарова Фатима Мансуровна

Магистр педагогических наук, КазНПУ им. Абая, Алматы, Казахстан

Билял А.Н.

студент бакалавриата, КазНПУ им. Абая, специальность «Специальная педагогика», Алматы, Казахстан

Бишемova Ш.Р.

студент бакалавриата, КазНПУ им. Абая, специальность «Специальная педагогика», Алматы, Казахстан

Абликимова Д.К.

студент бакалавриата, КазНПУ им. Абая, специальность «Специальная педагогика», Алматы, Казахстан

Аннотация

Проблема формирования синтаксической стороны речи у младших школьников с дисграфией обусловлена высокой распространённостью аграмматических нарушений и ограниченной эффективностью традиционных коррекционных методов, ориентированных преимущественно на отработку отдельных грамматических форм. В современных условиях особую значимость приобретает развитие механизмов синтаксического программирования как основы связной письменной речи.

Исследование проведено на базе специальной школы-интерната №9 г. Алматы с участием 45 учащихся в возрасте 8-10 лет. Применён педагогический эксперимент в формате Action Research, включающий констатирующий, формирующий и контрольный этапы. В качестве основного средства коррекции использована дидактическая игра «Собери предложение», основанная на принципах визуального моделирования и поэтапного формирования синтаксической структуры высказывания.

Установлено значительное снижение количества синтаксических ошибок: средний показатель уменьшился с 10,5 до 4,3 (снижение на 59%). Существенно сократилось количество ошибок согласования (с 60% до 25%) и нарушений порядка слов (с 52% до 18%). Зафиксированы качественные изменения, включая развитие навыков самоконтроля, увеличение длины высказываний и переход к более сложным синтаксическим конструкциям.

Полученные результаты подтверждают эффективность использования игровой деятельности как средства формирования синтаксического программирования. Применение визуального моделирования способствует переходу от внешних опор к внутреннему программированию высказывания. Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения методики в логопедическую практику. Перспективы связаны с расширением выборки и изучением устойчивости результатов.

Ключевые слова: дисграфия; аграмматическая дисграфия; синтаксическая сторона речи; синтаксическое программирование; младшие школьники; коррекционная работа; дидактическая игра; игровые методы обучения; визуальное моделирование; развитие письменной речи

Abstract

The development of syntactic aspects of speech in primary school children with dysgraphia remains a significant challenge due to the high prevalence of agrammatic errors and the limited effectiveness of traditional correctional approaches focused mainly on isolated grammar skills. Therefore, particular importance is given to the development of syntactic programming as a basis for coherent written speech.

The study was conducted at a specialized boarding school in Almaty with 45 children aged 8-10. A pedagogical experiment was designed using the Action Research framework, including diagnostic, formative, and control stages. The main intervention tool was the didactic game “Build a Sentence,” based on visual modeling and step-by-step formation of syntactic structures.

The results showed a significant reduction in syntactic errors: the average number decreased from 10.5 to 4.3 (a 59% reduction). Errors in agreement decreased from 60% to 25%, and word order violations from 52% to 18%. Qualitative improvements were also observed, including the development of self-monitoring skills, increased sentence length, and the use of more complex syntactic constructions.

The findings confirm the effectiveness of game-based methods in developing syntactic programming. Visual modeling supports the transition from external support to internal speech regulation. The practical value lies in the applicability of the method in speech therapy practice. Future research should focus on larger samples and long-term effects.

Keywords: dysgraphia; agrammatic dysgraphia; syntactic aspect of speech; syntactic programming; primary school children; correctional work; didactic game; game-based learning; visual modeling; written speech development

Проблема развития синтаксической стороны речи у младших школьников с дисграфией занимает одно из центральных мест в современной логопедии и специальной педагогике. Дисграфия рассматривается как специфическое нарушение письменной речи, проявляющееся в стойких ошибках при письме, обусловленных несформированностью высших психических функций. При аграмматической форме дисграфии ведущим дефектом выступает нарушение синтаксического программирования высказывания, что приводит к искажению структуры предложения, нарушению согласования и порядка слов.

Синтаксическая сторона речи является ключевым компонентом речевой деятельности, обеспечивающим логическую связность, грамматическую правильность и смысловую завершенность высказывания. В младшем школьном возрасте происходит активное формирование грамматического строя речи, и именно в этот период нарушения синтаксиса оказывают наиболее выраженное влияние на учебную деятельность, препятствуя усвоению письменной речи и снижая уровень коммуникативной компетентности учащихся [1].

Актуальность исследования определяется приоритетами системы образования Республики Казахстан, ориентированной на формирование функциональной грамотности и коммуникативной компетенции, что отражено в Государственном общеобязательном стандарте образования (ГОСО РК, 2022) [2]. В условиях обновленного содержания

образования особую значимость приобретает развитие синтаксических навыков как основы успешного освоения учебных дисциплин.

Цель исследования заключается в научном обосновании и проверке эффективности использования дидактической игры «Собери предложение» как средства развития синтаксической стороны речи у младших школьников с аграмматической дисграфией.

Задачи исследования - Проанализировать психолингвистические, педагогические и логопедические подходы к формированию синтаксической стороны речи у младших школьников.

1. Выявить особенности синтаксических нарушений у детей с аграмматической дисграфией на основе диагностического этапа исследования.
2. Разработать и апробировать методику коррекционной работы с использованием дидактической игры «Собери предложение».
3. Оценить эффективность предложенной методики в условиях организации исследования в формате Action Research.

Научная новизна исследования заключается в обосновании и внедрении дидактической игры «Собери предложение» как средства формирования синтаксического программирования высказывания у младших школьников с аграмматической дисграфией.

В отличие от традиционных методик, ориентированных на отработку отдельных грамматических форм, предложенный подход основан на наглядном моделировании структуры предложения и активной игровой деятельности, что позволяет обеспечить переход от внешних действий к внутреннему синтаксическому программированию.

В отечественной научной традиции проблема формирования синтаксической стороны речи рассматривается как сложный психолингвистический процесс, связанный с механизмами внутреннего программирования высказывания. Л.С. Выготский [3] определяет речь как средство организации мышления, подчеркивая переход от внутреннего замысла к внешнему высказыванию. А.Р. Лурия [4] рассматривает письмо как функциональную систему, в которой синтаксическая структура обеспечивается механизмами программирования и контроля. В логопедических исследованиях Р.И. Лалаева [5] и И.Н. Садовникова [6] отмечают, что аграмматическая дисграфия проявляется в стойких нарушениях согласования, управления и структуры предложения. Л.С. Волкова [7] подчеркивает системный характер письменной речи, а Т.В. Ахутина связывает синтаксические трудности с дефицитом грамматического кодирования. А.А. Леонтьев [8] и П.Я. Гальперин [9] рассматривают формирование синтаксических навыков как результат речевой деятельности и поэтапного усвоения действий, что имеет принципиальное значение для коррекционной работы.

В казахстанской научной школе развитие синтаксической стороны речи рассматривается в контексте инклюзивного образования и формирования функциональной грамотности. Г.Б. Ибатова [10] подчеркивает необходимость системного формирования грамматического строя речи у детей с особыми образовательными потребностями. З.А. Мовкебаева [11] рассматривает адаптацию образовательной среды как ключевое условие эффективного обучения, а Ж.М. Омирбекова [12] акцентирует внимание на развитии письменной речи как интегративного процесса. Г.С. Оразаева [13] отмечает значимость логопедической работы в условиях общеобразовательной школы, тогда как Р.А. Сулейменова [14] подчеркивает необходимость комплексного подхода к коррекции речевых нарушений. В совокупности данные исследования обосновывают необходимость использования наглядных и игровых методов для формирования синтаксических навыков.

В зарубежных исследованиях синтаксическая сторона речи рассматривается в контексте когнитивных и языковых механизмов. С позиции генеративной грамматики Ноам Хомский [15] определяет синтаксис как систему правил, обеспечивающих построение

грамматически правильных высказываний. Джоанна Докрелл [16] и Вивьен Коннелли [16] отмечают, что трудности письма у детей связаны с недостаточной сформированностью синтаксических структур. Кейт Нэйшн подчеркивает, что нарушение грамматической организации предложения затрудняет понимание текста. Маргарет Сноулинг [17] и Чарльз Хьюлм [18] рассматривают нарушения письменной речи как результат комплексных языковых дефицитов. В работах Вирджиния Бернингер [19] и Беверли Вульф [20] акцентируется роль когнитивных процессов и необходимость комплексного подхода к обучению детей с дисграфией.

Таблица 1. Сравнительный анализ подходов Р. И. Лалаевой и И. Н. Садовниковой

Критерий сравнения	Р. И. Лалаева	И. Н. Садовникова
Подход	Рассматривает аграмматическую дисграфию как результат несформированности языковых обобщений.	Рассматривает аграмматическую дисграфию через нарушение синтаксической организации речи.
Уровень нарушения	Морфологический уровень.	Синтаксический уровень.
Проявление	Ошибки в словообразовании, нарушении форм слова, трудности усвоения грамматических категорий.	Нарушение структуры предложения, ошибки в согласовании и управлении.
Причина нарушения	Несформированность морфемного анализа и синтеза.	Нарушение связей между словами и синтаксического программирования.
Особенность анализа	Акцент на формировании грамматических категорий.	Акцент на связности и структуре высказывания.

Несмотря на значительное количество исследований в области коррекции дисграфии, традиционные методы обучения в большей степени ориентированы на отработку отдельных грамматических форм и не обеспечивают формирование целостного механизма синтаксического программирования. Недостаточное использование наглядных и игровых технологий, способствующих активному включению ребенка в процесс конструирования высказывания, ограничивает эффективность коррекционной работы. Это определяет наличие научного пробела, связанного с необходимостью разработки и обоснования методов, направленных на формирование синтаксических связей через активную деятельность учащихся.

В качестве перспективного средства рассматривается дидактическая игра «Собери предложение», позволяющая визуализировать структуру высказывания, снизить когнитивную нагрузку и обеспечить переход от внешних опор к внутреннему программированию речи. Использование данной игры соответствует деятельностному подходу и принципам поэтапного формирования умственных действий, что обуславливает ее потенциальную эффективность в коррекционной работе.

Исследовательский вопрос: каким образом использование дидактической игры «Собери предложение» влияет на развитие синтаксической стороны речи у младших школьников с аграмматической дисграфией?

Цель исследования заключается в обосновании эффективности использования дидактической игры «Собери предложение» в развитии синтаксической стороны речи у младших школьников с аграмматической дисграфией.

Формирование синтаксической стороны речи рассматривается в современной науке как сложный многоуровневый процесс, находящийся на пересечении лингвистики, психологии и нейропсихологии. Существующие теоретические подходы по-разному объясняют механизмы построения высказывания, что имеет принципиальное значение для разработки коррекционных методик.

С позиций культурно-исторической теории Л.С. Выготского [3] синтаксис рассматривается как компонент речевой деятельности, формирующийся в процессе социального взаимодействия и перехода от внешней речи к внутренней. Ключевым механизмом построения высказывания выступает внутреннее программирование, в рамках которого замысел преобразуется в грамматически оформленную структуру. Синтаксическая организация речи в данном подходе напрямую связана с развитием мышления и регуляторных функций.

В отличие от деятельностного подхода, нейропсихологическая концепция А.Р. Лурии [4] акцентирует внимание на мозговых механизмах речевой деятельности. Синтаксическое развертывание высказывания обеспечивается работой передних отделов коры головного мозга, отвечающих за программирование, контроль и последовательную реализацию речи. Нарушение этих механизмов приводит к распаду структуры предложения, что проявляется в аграмматизмах, пропусках членов предложения и нарушении порядка слов. Синтаксис в данном случае интерпретируется как результат скоординированной работы когнитивных и нейродинамических процессов.

Иной взгляд представлен в рамках генеративной лингвистики Н. Хомского, где синтаксис трактуется как автономная система правил, обусловленная врожденными универсальными грамматическими структурами. Согласно данному подходу, способность к построению предложений рассматривается как биологически заданная и реализуется через внутренние грамматические механизмы, относительно независимые от внешнего обучения и речевой практики.

Сравнительный анализ представленных подходов демонстрирует принципиальные различия в понимании природы синтаксиса. В теории Л.С. Выготского акцент делается на социально-деятельностном характере формирования речи, в то время как в концепции А.Р. Лурии ключевую роль играют нейропсихологические механизмы программирования. Подход Н. Хомского, в свою очередь, ориентирован на врожденные грамматические структуры и их универсальность.

Наиболее значимыми для коррекционной педагогики являются деятельностный и нейропсихологический подходы, поскольку они позволяют объяснить механизмы синтаксических нарушений и обосновать необходимость целенаправленного формирования внутреннего программирования высказывания. Генеративная теория, несмотря на теоретическую значимость, в меньшей степени ориентирована на практическую коррекцию речевых нарушений [21].

Синтаксическая сторона речи формируется в результате взаимодействия когнитивных, нейропсихологических и деятельностных факторов. Это определяет необходимость использования методов, направленных на активное конструирование высказывания и формирование устойчивых синтаксических связей у младших школьников с нарушениями письменной речи [22].

Особенности аграмматической дисграфии у младших школьников. Аграмматическая дисграфия в современной логопедии рассматривается как специфическое нарушение письменной речи, связанное с несформированностью грамматического строя языка.

Установлено, что данная форма дисграфии затрагивает преимущественно морфологический и синтаксический уровни, проявляясь в стойких ошибках согласования, управления и построения предложений [23].

С позиций Лев Семёнович Выготский [3] процесс порождения высказывания представляет собой переход от внутреннего замысла к его языковому оформлению. У младших школьников с аграмматической дисграфией данный механизм нарушен: внутренняя программа высказывания остается неразвернутой, что приводит к фрагментарности и грамматической несвязанности письменной речи.

Сходной позиции придерживается А.Р. Лурия [4], который связывает синтаксические нарушения с дефицитом программирования и контроля речевой деятельности. При аграмматической дисграфии наблюдается нарушение «динамической схемы» высказывания, вследствие чего ребенок не способен удерживать грамматическую структуру предложения в процессе письма.

В логопедической классификации Р.И. Лалаева аграмматическая дисграфия рассматривается как результат несформированности морфологических обобщений. Основное внимание в данном подходе уделяется трудностям словообразования, усвоения грамматических категорий и морфемного анализа. В отличие от этого, И.Н. Садовникова [24] акцентирует внимание на нарушении синтаксической организации речи, подчеркивая трудности установления связей между словами в предложении.

Лалаева преимущественно рассматривает аграмматизм на морфологическом уровне, тогда как Садовникова - на синтаксическом. При этом оба подхода дополняют друг друга, поскольку отражают различные аспекты единого процесса нарушения грамматического строя речи. Комплексное рассмотрение проблемы позволяет утверждать, что аграмматическая дисграфия носит системный характер и затрагивает как формообразование слов, так и их объединение в целостное высказывание.

В работах казахстанских исследователей (Г.Б. Ибатова, З.А. Мовкебаева, Ж.М. Омирбекова) подчеркивается влияние билингвальной среды на формирование письменной речи. У детей, обучающихся на русском языке в условиях доминирования казахского языка, могут наблюдаться интерференционные ошибки. В отличие от билингвизма, при аграмматической дисграфии ошибки носят устойчивый и системный характер, воспроизводятся в различных речевых ситуациях и не зависят от языкового контекста.

Письменная речь младших школьников с аграмматической дисграфией позволяет выделить ряд типичных проявлений:

- нарушение структуры предложения и порядка слов;
- ошибки согласования по роду, числу и падежу;
- пропуски членов предложения;
- упрощение синтаксических конструкций;
- ограниченность грамматических средств.

Кроме того, отмечается фрагментарность письменной речи, выражающаяся в отсутствии логической последовательности и средств связи между предложениями. Дети часто избегают распространенных конструкций, ограничиваясь простыми двухсловными высказываниями, что свидетельствует о недостаточной сформированности механизмов синтаксического планирования.

Возрастная динамика нарушений показывает, что на ранних этапах обучения (1-2 классы) преобладают морфологические ошибки, тогда как в 3-4 классах усиливаются синтаксические трудности, связанные с построением предложений и связного текста. Это обусловлено усложнением требований к письменной речи и необходимостью использования более сложных грамматических конструкций [25].

Традиционные методики преимущественно ориентированы на отработку отдельных грамматических форм и не обеспечивают формирование целостной синтаксической модели высказывания. В результате наблюдается ограниченный перенос сформированных навыков в самостоятельную письменную речь.

Учитывая указанные особенности, особую значимость приобретает использование методов, направленных на формирование внутреннего программирования высказывания и развитие синтаксического контроля. В этом контексте перспективным представляется применение дидактических игр, обеспечивающих наглядное моделирование структуры предложения и активное включение ребенка в процесс речевого конструирования [26].

Исследование проводилось на базе КГУ «Специальная школа-интернат № 9» управления образования города Алматы, в условиях специализированной образовательной среды, ориентированной на обучение детей с нарушениями речи и задержкой психического развития. Выбор данной базы обусловлен возможностью комплексного анализа речевого развития учащихся при участии логопедов, дефектологов и педагогов-психологов, что обеспечило достоверность полученных данных.

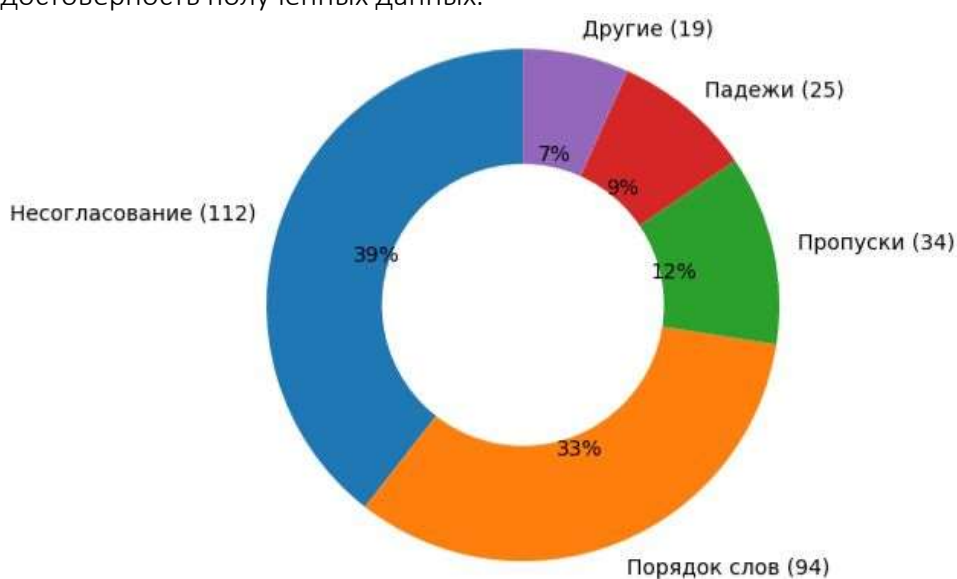


Рисунок 1. Количественное распределение типов синтаксических ошибок (в абсолютных показателях)

Кольцевая диаграмма показывает абсолютное количество выявленных ошибок: 112 случаев несоответствия, 94 случая нарушения порядка слов, 34 пропуска членов предложения, 25 нарушений падежных форм и 19 других ошибок. Такой формат визуализации позволяет одновременно увидеть количественную нагрузку каждого типа нарушений и их удельный вес в общей структуре ошибок. С позиции исследовательского анализа данные результаты свидетельствуют о выраженном преобладании грамматических нарушений, требующих целенаправленного и поэтапного педагогического воздействия. Таким образом, уже на этапе первичной диагностики становится очевидной необходимость организации коррекционной работы как циклического процесса, включающего последовательное введение изменений, их проверку и корректировку. Диагностическая процедура проводилась логопедом с многолетним профессиональным опытом, что обеспечило единообразие критериев оценки и достоверность фиксации результатов.

Таблица 2. Структура синтаксических ошибок на 1 цикле

Тип ошибки	Количество (всего)	% от общего числа ошибок
Несогласование подлежащего и сказуемого	112	38 %
Неправильный порядок слов	94	32 %
Пропуски сказуемых / подлежащих	34	12 %
Нарушения падежных форм	25	8 %
Другие (стилистические и др.)	19	6 %
Итого	284	100 %

Эти данные свидетельствуют о преобладании аграмматических ошибок в синтаксисе и подтверждают сосредоточенность исследовательской группы на проблемах грамматической структуры предложения. С позиции исследователя данные результаты рассматриваются как исходная точка для проектирования формирующего этапа, в рамках которого планируется поэтапное устранение выявленных нарушений через внедрение специально организованной дидактической деятельности. Результаты качественного анализа позволили выявить характерные речевые паттерны и уточнить механизм возникновения ошибок. Установлено, что многие учащиеся строили высказывания по упрощённой схеме, ограничиваясь двухсловными конструкциями. Данная особенность может быть интерпретирована как проявление синтаксической редукции, обусловленной стремлением минимизировать вероятность ошибки.

Проведение исследования осуществлялось с согласия администрации образовательного учреждения и при взаимодействии со специалистами сопровождения. Предварительно были изучены логопедические заключения, психолого-педагогические характеристики учащихся и результаты предыдущих обследований, что позволило уточнить состав выборки и уровень выраженности речевых нарушений [27].

В исследовании приняли участие 45 учащихся младшего школьного возраста (8-10 лет), обучающихся в 3А, 3Б и 3В классах. Средний возраст составил 9,2 года.

По результатам логопедического обследования:

- у 20 учащихся (44%) выявлены признаки аграмматической дисграфии;
- у 25 учащихся (56%) диагностировано общее недоразвитие речи II-III уровня.

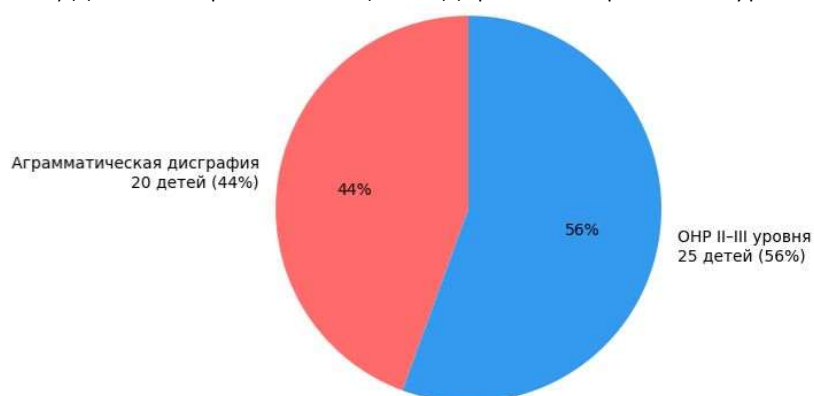


Рисунок 2. Процентное распределение учащихся по речевым нарушениям

Указанные процентные показатели были получены на основе анализа результатов логопедического обследования, проведенного на констатирующем этапе исследования. Диагностика включала комплекс заданий, направленных на выявление особенностей синтаксической организации речи, в том числе анализ письменных работ, выполнение заданий на восстановление деформированных предложений и составление фраз из

заданного набора слов. Оценка осуществлялась по совокупности критериев, включающих характер и устойчивость аграмматизмов, типичные ошибки согласования, нарушения порядка слов и пропуски членов предложения. На основании полученных данных все учащиеся были распределены по группам в соответствии с доминирующим типом речевого нарушения. Количественные показатели (44% и 56%) отражают долю учащихся в каждой категории от общего объема выборки (n=45) и рассчитаны по результатам первичной диагностики, что обеспечивает их объективность и достоверность.

Выборка характеризуется относительной однородностью по условиям обучения и уровню педагогической поддержки, что позволило минимизировать влияние внешних факторов и сосредоточиться на анализе эффективности коррекционного воздействия.

В исследовании использовался комплекс теоретических и эмпирических методов:

Теоретические методы:

- анализ и обобщение психолого-педагогической и логопедической литературы [28];
- изучение нормативно-правовой базы Республики Казахстан [29].

Методы обработки данных:

- количественный анализ (подсчет частоты ошибок, процентное распределение);
- качественный анализ речевых паттернов;
- методы математической статистики (U-критерий Манна–Уитни).

Дизайн исследования в формате «Action Research». Исследование было организовано в логике «Action Research» [30,31,32], предполагающей цикличность педагогического воздействия, анализа и последующей корректировки методики.

Цикл 1 (диагностико-пробный этап). На данном этапе проводилась первичная диагностика уровня сформированности синтаксической стороны речи, а также пробное внедрение дидактической игры «Собери предложение».

Несмотря на повышение интереса учащихся, использование игры в базовом виде не обеспечивало достаточного уровня осознанности грамматических связей. Дети выполняли задания преимущественно на основе внешних опор, без формирования внутреннего синтаксического программирования.

Цикл 2 (коррекционно-адаптивный этап). На основе анализа результатов первого цикла методика была модифицирована. В коррекционную работу были включены:

- этапы обязательного проговаривания предложений;
- задания на объяснение грамматических связей;
- усиленная визуализация синтаксических ролей;
- упражнения на обнаружение и исправление ошибок.

ВЫЯВЛЕНО, что данные изменения способствовали повышению осознанности речевой деятельности и частичному переносу сформированных навыков в письменную речь.

Цикл 3 (контрольно-обобщающий этап). На заключительном этапе основное внимание уделялось закреплению навыков, вариативности заданий и развитию самостоятельности учащихся.

Результаты показали устойчивое снижение количества синтаксических ошибок и формирование навыков самоконтроля, что свидетельствует о переходе от внешней опоры к внутреннему программированию высказывания.

Таблица 3. Циклы

Цикл	Цель	Содержание коррекционной работы	Наблюдаемые результаты	Анализ и корректировка
Цикл 1 (первичное внедрение)	Формировани е первичных представлени й о структуре предложения	– Использование игры «Собери предложение» в базовом варианте – Составление предложений из набора слов – Работа по образцу – Использование визуальных опор (карточки)	– Высокий интерес учащихся – Механическое составление предложений – Недостаточное понимание грамматических связей – Сохранение большого количества ошибок	Использование игры без дополнительных приемов не обеспечило осознанного формирования синтаксических связей. Учащиеся опирались на внешние подсказки. Необходимость усиления осознанности через речевое сопровождение
Цикл 2 (модификаци я методики)	Формировани е осознанного понимания синтаксическ ой структуры	– Введение проговаривания предложений – Объяснение функций слов в предложении – Использование вопросов («почему так?») – Формирование навыков самоконтроля – Анализ структуры предложения	– Снижение количества ошибок – Появление осознанности в построении предложений – Развитие навыков самокоррекции – Усложнение синтаксических конструкций	Включение речевого анализа активизировало процессы внутреннего программирования. Необходим переход к автоматизации и переносу навыков в самостоятельную речь
Цикл 3 (закрепление и автоматизаци я)	Автоматизаци я синтаксическ их навыков и их перенос в письменную речь	– Составление предложений без опоры на карточки – Письменные задания (диктанты, самостоятельны е тексты) – Использование распространённ ых предложений – Работа с сюжетными заданиями	– Существенное снижение количества ошибок (≈59%) – Самостоятельно е построение предложений – Повышение грамматическо й правильности – Перенос навыков в письменную речь	Сформировался внутренний синтаксический шаблон. Навыки приобрели устойчивый характер. Подтвержде на эффективность методики

Формирующий этап исследования проводился в течение трех месяцев (ноябрь-январь 2025-2026 года). Всего было проведено 24 коррекционных занятия с периодичностью 2 раза в неделю. Продолжительность каждого занятия составляла 30-40 минут.

Основным средством коррекции выступала дидактическая игра «Собери предложение», основанная на принципе поэтапного формирования синтаксической структуры:

- моделирование структуры предложения;
- самостоятельное конструирование;
- усложнение синтаксических моделей;
- развитие самоконтроля.

В работе использовались цветные карточки, отражающие синтаксические роли слов (подлежащее, сказуемое, дополнение), что обеспечивало визуализацию грамматических связей и снижало когнитивную нагрузку учащихся.

Результаты первичной диагностики показали низкий уровень сформированности синтаксической стороны речи у младших школьников. Установлено, что среднее количество грамматических ошибок в письменных работах одного учащегося составляло от 10 до 12.

Структуры ошибок преобладали аграмматических нарушений, связанных с нарушением грамматических связей и линейной организации предложения. Наиболее распространёнными оказались:

- ошибки согласования - 38%;
- нарушения порядка слов - 32%;
- пропуски членов предложения - 12%;
- нарушения падежных форм - 8%;
- другие ошибки - 6%.

Полученные данные свидетельствуют о том, что основная трудность заключается в несформированности механизма синтаксического программирования, а не в изолированных грамматических ошибках.

Учащиеся преимущественно использовали упрощённые синтаксические конструкции, ограничиваясь короткими предложениями и избегая распространённых форм. Наблюдалась тенденция к пропуску второстепенных членов предложения и нарушению логико-грамматических связей, что снижало информативность высказывания.

После реализации коррекционной программы с использованием дидактической игры «Собери предложение» была зафиксирована выраженная положительная динамика.

Среднее количество грамматических ошибок на одного учащегося снизилось с 10,5 до 4,3, что составляет снижение примерно на 59%.

Наиболее значимые изменения отмечены по следующим показателям:

- уровень ошибок согласования снизился с 60% до 25%;
- нарушения порядка слов - с 52% до 18%.

Полученные результаты демонстрируют более чем двукратное снижение ключевых аграмматических показателей.

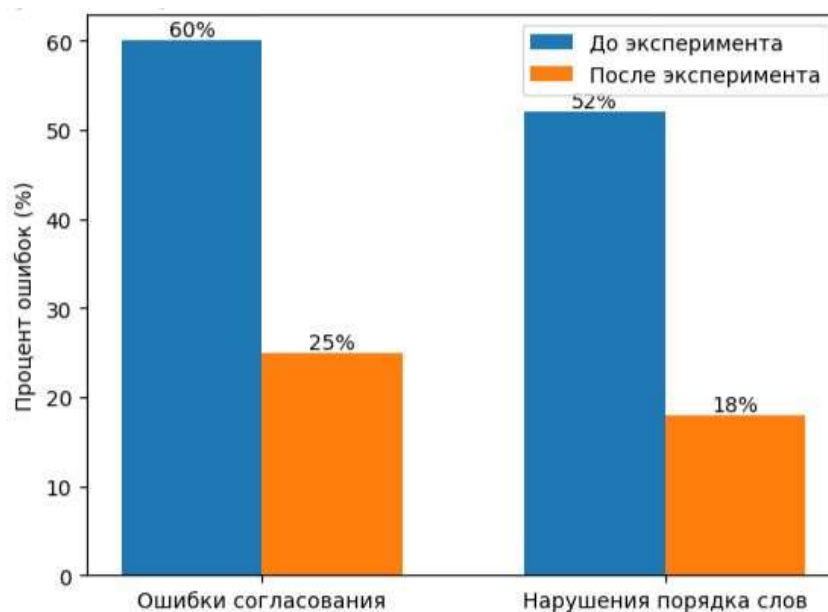


Рисунок 3. Сравнительная динамика снижения синтаксических ошибок

Динамика изменений и статистический анализ. Сравнительный анализ данных «до» и «после» показал устойчивую положительную динамику формирования синтаксических навыков.

Снижение количества ошибок носит системный характер и наблюдается по всем типам нарушений. Особенно выраженные изменения зафиксированы в области согласования и линейной организации предложения, что указывает на формирование базовой синтаксической модели.

Результаты статистической обработки данных с использованием U-критерия Манна-Уитни подтвердили значимость полученных различий между показателями на констатирующем и контрольном этапах ($p < 0,05$), что свидетельствует об эффективности реализованной коррекционной программы.

Качественные изменения речевой деятельности. Помимо количественного снижения ошибок, выявлены существенные качественные изменения:

- уменьшение грубых аграмматизмов;
- сокращение пропусков членов предложения;
- увеличение длины и структурной сложности высказываний;
- формирование навыков самоконтроля.

Учащиеся начали осознанно контролировать грамматическую структуру высказывания, самостоятельно исправлять ошибки и использовать более развернутые синтаксические конструкции.

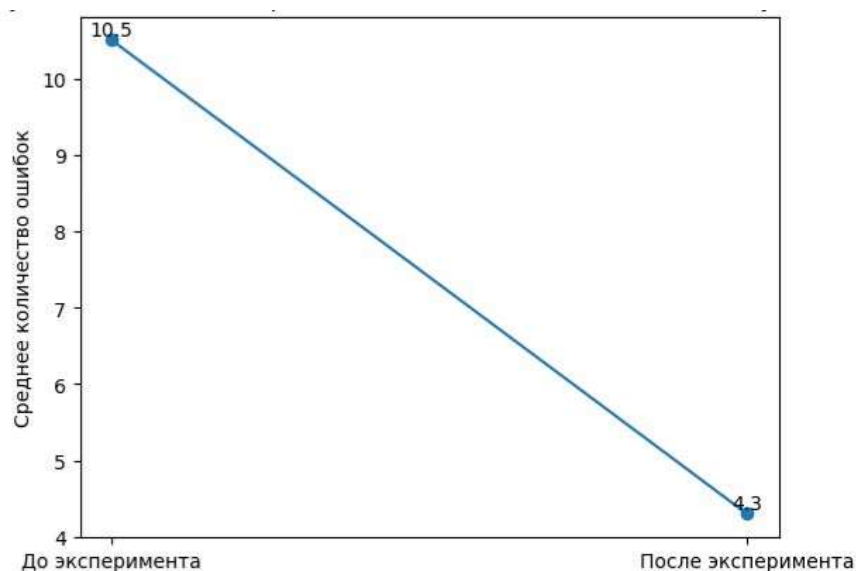


Рисунок 4. Динамика среднего количества грамматических ошибок на одного учащегося

Линейный график показывает общее снижение среднего количества ошибок с 10,5 до 4,3 на одного учащегося. Снижение составляет примерно 59%, что свидетельствует о системной положительной тенденции и устойчивом формировании синтаксических навыков. Анализ индивидуальной динамики позволил выявить значительные положительные изменения у отдельных участников исследования. Наиболее заметные результаты показали учащиеся, которые активно участвовали в занятиях. Например, мальчик из 3А, у которого до эксперимента было 14 ошибок в диктанте, после эксперимента показал только 3 ошибки в аналогичном тексте. Девочка из 3Б сократила количество ошибок с 11 до 4, сохранив при этом скорость письма. Такие показатели свидетельствуют об эффективности программы для каждого отдельного ребенка.

Отмечается частичный перенос сформированных навыков в письменную речь, что свидетельствует о переходе от выполнения заданий по образцу к самостоятельному использованию синтаксических моделей.

Наиболее выраженные изменения наблюдаются у учащихся, активно включённых в игровую деятельность, что подтверждает значимость мотивационного компонента в процессе коррекционной работы.

Результаты исследования подтверждают эффективность использования дидактической игры «Собери предложение» в развитии синтаксической стороны речи у младших школьников с аграмматической дисграфией. Анализ динамики изменений показывает, что положительный эффект формировался поэтапно и был обусловлен рядом факторов.

На первом этапе внедрения методики значительных качественных изменений не наблюдалось. Несмотря на повышение мотивации и интереса к заданиям, учащиеся выполняли их преимущественно на основе внешних опор. Механическое конструирование предложений без осмысления грамматических связей не обеспечивает формирования внутреннего синтаксического программирования. Данное положение соотносится с идеями Л.С. Выготского о необходимости перехода от внешних действий к внутренним.

После модификации методики (введение этапов проговаривания, объяснения и самоконтроля) наблюдается выраженная положительная динамика. Включение речевого анализа активизирует процессы внутреннего программирования и способствует

осознанному усвоению синтаксических связей. Эти положения согласуются с нейropsихологической концепцией А.Р. Лурии о роли программирования и контроля в организации высказывания.

Наиболее устойчивые изменения зафиксированы на заключительном этапе, когда учащиеся начали самостоятельно использовать сформированные синтаксические модели в письменной речи. Формирование внутреннего шаблона предложения снижает когнитивную нагрузку и способствует автоматизации грамматических операций.

Сравнение с зарубежными исследованиями (в частности, К.Э. Бернингер) показывает, что эффективность коррекционной работы определяется воздействием не только на языковые, но и на когнитивные механизмы, включая рабочую память и исполнительные функции.

Несмотря на положительные результаты, в ходе исследования выявлены определенные ограничения. У части учащихся сохраняется зависимость от визуальных опор, а перенос сформированных навыков в самостоятельную письменную речь происходит постепенно. Кроме того, отсутствие контрольной группы и ограниченный объем выборки не позволяют в полной мере обобщить результаты исследования.

Проведённое исследование показывает, что развитие синтаксической стороны речи у младших школьников с аграмматической дисграфией требует использования методов, ориентированных на формирование внутреннего программирования высказывания.

Применение дидактической игры «Собери предложение» способствует снижению количества аграмматических ошибок, улучшению структуры предложения и формированию навыков самоконтроля. Отмечается устойчивое снижение количества ошибок (в среднем на 59%), а также качественные изменения в речевой деятельности учащихся.

Мы сделали такой вывод, что количественные данные, полученные на этапе контроля, подтверждают эффективность выбранной методики. Среднее количество ошибок на учащегося снизилось более чем вдвое – примерно с одиннадцати до четырех, что на пятьдесят девять процентов меньше. Кроме того, наиболее заметное улучшение наблюдается в областях, которые изначально вызывали большие трудности, а именно координация слов и порядок их расположения. Значительно сократилось количество рассылок членов предложения, увеличилась длина и структурная сложность высказываний.

Эти изменения указывают не только на уменьшение количества ошибок, но и на качественное преобразование речи. Качественный анализ результатов позволяет сделать еще более глубокие выводы. После ряда занятий дети стали проявлять способность к самоконтролю, что является важным показателем формирования навыков. Они стали замечать свои ошибки, исправлять их, перестраивать предложение в соответствии с грамматическими нормами. Появилась тенденция использовать более детализированные конструкции, что свидетельствует о развитии не только синтаксической, но и общей речевой компетентности. Речь была целостной, логичной и содержательной. Таким образом, можно говорить о формировании целостной системы грамматического мышления, а не только навыка. В рефлексивном анализе особое внимание уделяется роли мотивационного компонента.

Игровая форма занятий создает эмоционально приятную атмосферу, снижает тревожность и боязнь ошибок, которые часто сопровождают детей с нарушениями письма. Ребенок воспринимает задачу не как проверку, а как возможность действовать, экспериментировать, находить решения. Это кардинально меняет отношение к учебной деятельности и способствует активному включению в процесс. Повторение материала в игровой форме не вызывает усталости, а скорее способствует интересу и вовлеченности.

Важно отметить, что игра "Собери предложение" способствует развитию аналитического мышления, не ограничиваясь формированием индивидуальных

грамматических навыков. Ребенок учится анализировать структуру высказывания, устанавливать связи между словами, учитывать их грамматические характеристики. Это послужит основой для дальнейшего развития языковой интуиции и грамотности. Постепенно формируется возможность переноса изученных моделей на новые речевые ситуации, что является важным показателем устойчивости навыка. Кроме того, рефлексивный анализ позволяет выявить определенные ограничения проводимого исследования. Выборка участников была относительно небольшой и однородной, что ограничивало возможность обобщения результатов. Отсутствие контрольной группы не позволяет полностью исключить влияние внешних факторов. Продолжительность эксперимента была достаточной для выявления краткосрочных изменений, но не позволяла оценить долгосрочную устойчивость приобретенных навыков. Кроме того, оценка результатов часто основана на экспертном наблюдении, которое может включать элемент субъективности.

Несмотря на указанные ограничения, полученные данные отражают реальную положительную динамику и позволяют рассматривать дидактическую игру как эффективное средство коррекции синтаксической стороны речи. Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения данного метода в логопедическую практику. Игра легко адаптируется к различным условиям, может использоваться как в индивидуальной, так и в групповой работе, позволяет учитывать уровень подготовки и особенности каждого ребенка.

Полученные данные подтверждают гипотезу о том, что использование наглядного моделирования и игровой деятельности повышает эффективность коррекционной работы за счёт активизации когнитивных и речевых механизмов.

Практическая значимость исследования заключается в возможности внедрения разработанной методики в логопедическую практику общеобразовательных и специальных школ, а также в условиях инклюзивного образования.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением выборки, включением контрольных групп, а также изучением долгосрочной устойчивости сформированных синтаксических навыков.

Список использованных источников

1. Волкова Л.С. Логопедия. Москва: Владос; 2022.
2. Министерство образования и науки Республики Казахстан. Государственный общеобязательный стандарт образования Республики Казахстан (ГОСО РК). 2022.
3. Выготский Л.С. Мышление и речь. Москва: Лабиринт; 2023.
4. Лурия А.Р. Язык и сознание. Москва: Питер; 2022.
5. Лалаева Р.И. Нарушения письменной речи у младших школьников. Санкт-Петербург: Речь; 2021.
6. Садовникова И.Н. Коррекция дисграфии. Москва: Владос; 2020.
7. Волкова Л.С. Логопедия. Москва: Владос; 2022.
8. Ахутина Т.В. Нейропсихологический подход к письму. Москва; 2018.
9. Леонтьев А.А. Теория речевой деятельности. Москва; 2019.
10. Ибатова Г.Б. Формирование грамматического строя речи у детей с особыми образовательными потребностями. Интеграция образования. 2022;26(2):150–162.
11. Мовкебаева З.А. Инклюзивное образование: современные подходы. Алматы: Қазақ университеті; 2021.
12. Омирбекова Ж.М. Развитие письменной речи младших школьников. Алматы: Білім; 2022.
13. Оразаева Г.С. Логопедическая работа в условиях инклюзивного образования. Алматы: Нур-Пресс; 2020.
14. Сүлейменова Р.А. Развитие системы специального образования. Алматы; 2020.
15. Chomsky N. Aspects of the Theory of Syntax. Cambridge: MIT Press; 1965
16. Dockrell J.E., Connelly V. Writing development and difficulties. Reading and
17. Snowling M.J., Hulme C. Reading disorders. Journal of Child Psychology and
18. Berninger V.W., Wolf B.J. Teaching students with dysgraphia. New York: Guilford Press; 2016.
19. Berninger V.W. Developmental dysgraphia and writing processes. Topics in Language Disorders. 2021;41(3):210–225.
20. Berninger V.W., Wolf B.J. Teaching students with dysgraphia. New York: Guilford Press; 2016.
21. Леонтьев А.А. Теория речевой деятельности. Москва; 2019.
22. Ахутина Т.В. Нейропсихологический подход к письму. Москва; 2018.
23. Парамонова Л.Г. Нарушения письменной речи у детей. Санкт-Петербург: Детство-Пресс; 2020.
24. Садовникова И.Н. Формирование грамматического строя речи у детей. Москва: Владос; 2021.
25. Денисова И.А. Когнитивные аспекты формирования грамматических навыков. Образование и наука. 2021;23(5):45–60.
26. Dockrell J.E., Connelly V. Writing development and difficulties. Reading and Writing. 2022;35(2):321–345.
27. Жинкин Н.И. Механизмы речи. Москва; 2018.
28. Гальперин П.Я. Формирование умственных действий. Москва; 2019.
29. Министерство просвещения Республики Казахстан. Нормативные документы в сфере образования Республики Казахстан. 2023.
30. Kemmis S., McTaggart R. The Action Research Planner. Singapore: Springer; 2014.
31. McNiff J. Action Research: Principles and Practice. London: Routledge; 2017.
32. Burns A. Doing Action Research in English Language Teaching. New York: Routledge; 2010.

Chemical Sciences

УДК 615.014.2

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Бугубаева Гульнар Оспанакунвна

Алматинский Технологический Университет (Алматы, Казахстан)

Абилкасова Сандугаш Орынбаевна

Алматинский Технологический Университет (Алматы, Казахстан)

Мусина Зухра Маликовна

Алматинский Технологический Университет (Алматы, Казахстан)

Алипбаев Аманбол Намаджанович

Алматинский Технологический Университет (Алматы, Казахстан)

Аннотация: Общеизвестно, что потребность в электроэнергии с каждым годом растет во всем мире и с каждым годом сильно возрастает эта потребность. Соответственно, активно ведутся многочисленные исследования по методам получения энергии. Необходимость в исследовании пиротехнических резервных источников тока обусловлена тем, что существующие аккумуляторы не имеют достаточно большую удельную мощность и не обладают долгосрочным ресурсом работы при чрезвычайных ситуациях

Ключевые слова: Пиротехнический резервный источник тока, химические источники тока, дифференциальный термический анализ, вольтамперные характеристики

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING PYROTECHNIC SUBSTANCES TO GENERATE ELECTRIC CURRENT

Abstract: It's common knowledge that the demand for electricity is growing worldwide, and this demand is increasing dramatically. Consequently, extensive research is underway into energy generation methods. The need to research pyrotechnic backup power sources stems from the fact that existing batteries lack sufficient power density and do not offer long-term operational life in emergency situations.

Keywords: Pyrotechnic backup current source, chemical current sources, differential thermal analysis, voltage characteristics

Актуальность темы:

Пиротехнические материалы представляют собой перспективную основу для создания альтернативных источников тока, предлагая решения для задач, где критически важны компактность, высокая энергоемкость и автономность
Возможные направления исследования:

▣ Разработка пиротехнических термобатарей: Создание новых устройств, использующих пиротехнические реакции для выработки тепла.

▣ Изучение новых составов пиротехнических смесей для генерации тепла: Поиск и тестирование новых химических смесей, способных эффективно выделять тепло при горении.

☐ Оптимизация материалов термоэлектрических генераторов (ТЭГ) для преобразования тепла в электричество: Улучшение компонентов, которые превращают тепло, выделяемое пиротехникой, в электрическую энергию.

☐ Повышение стабильности и безопасности работы таких батарей: Обеспечение надежности и безопасности функционирования пиротехнических источников питания.

Химические источники тока (ХИТ) - принято называть устройства, вырабатывающие электрический ток за счёт энергии окислительно-восстановительных реакций химических реагентов. Самый простой ХИТ состоит из катода, анода и электролита. В результате окислительно-восстановительных химических реакции устанавливается разность потенциалов — ЭДС между катодом и анодом, которая определяется разностью энергии Гиббса, окислительно-восстановительной химической реакции.

Общеизвестно, что электрохимические, окислительно-восстановительные реакции, которые происходят в ХИТ (в том числе и в ПРИТ) являются гетерогенными процессами. Другими словами, электрохимические процессы могут протекать только вблизи межфазовой границы. В случае, когда в ХИТ переносчиками тока являются электроны, то перенос электрона осуществляется посредством электронного перекрывания между ключевыми химическими реагентами и материалом электрода (анода и катода). Очевидно, что для осуществления этого процесса необходим процесс механического приближения химического реагента к электроду. При этом очень важную роль играет строения границы раздела между твердым электродом и жидким раствором. Большую роль также играет направление потока окислителя и восстановителя (в гетерогенной реакции поток частиц химического реагента всегда направлен к поверхности твердых электродов, а поток частиц продуктов реакции — от электродов в объем электролита или же в пористый объем электрода. В этом случае, львиная доля химической энергии, при электрохимическом способе прохождения реакции, превращается в электрическую энергию. Заметим, что в электрохимических реакциях можно добиться большого КПД по сравнению с превращением энергии тепла в механическую работу в тепловых устройствах, в полном соответствии с циклом Карно для тепловых процессов.

Рассмотрим принцип работы простейшего устройства - элемента Вольта (рис. 1), который является самым простым химическим источником тока.

Элемент Вольта состоит из двух удаленных друг от друга пластинок, причем один из меди (Cu), а другой из цинка (Zn). Эти две пластинки опускаются в сосуд имеющий раствор серной кислоты (H_2SO_4). Схема элемента Вольта приведена ниже на рисунке 1. Теперь, если эти две пластинки замкнуть через внешнюю электрическую цепь, то по цепи пойдет ток.



Рисунок 1 - Элемент Вольта (простейший химический источник тока)

При этом химическая реакция начинается происходит между цинком и серной кислотой, и на цинке образуется избыток электронов. Соответственно, цинк зарядится

отрицательно и станет отрицательным полюсом. Точно через такой процесс медная пластинка зарядится положительно. В результате появится ЭДС, величина которой составит примерно 1 вольт. Другими словами, химическая энергия исходных реагентов в результате химической реакции может потенциально преобразовываться в электрическую энергию при замыкании внешней электрической цепи.

Если эти пластинки (имеющее ЭДС) замкнуть внешней цепью, то пойдет электрический ток. Внутри сосуда (внутри элемента Вольта) параллельно будет идти процесс выделения водорода, покрывающий поверхность пластинок слоем пузырьков. Этот слой газов уменьшает напряжение на полюсах элемента. Такое явление носит название поляризации. Другими словами, чем больше ток, тем сильнее поляризация и тем быстрее уменьшается напряжение элемента. Для уменьшения поляризации в сосуд вводят вещества, способные поглощать водород и называемые деполяризаторами. Деполяризатор должен быстро поглощать молекул водорода, чтобы напряжение при работе элемента оставалось стабильным. Во время электрохимической реакции деполяризатор поглощая водород, постепенно приходит в негодное состояние. Но обычно до погашения водорода деполяризатором, портится электролит и под действием электролита цинк вступает в химическую реакцию. В этом ХИТ электрическая энергия получается за счёт расхода цинка, электролита и деполяризатора; поэтому каждый элемент обладает определенным запасом энергии и может работать лишь ограниченное время.

Научная основа работы химических источников тока (гальванических элементов) объясняется с помощью теории электролитической диссоциации. В соответствии с этой теорией молекулы исходных реагентов, растворенного в воде диссоциируют на ионы. Причем энергия распада исходных веществ достаточно для покрытия энергетических затрат на образования ионных растворов. Такое явление характерно для электролитов, представляющих собой растворы кислот, щелочей и солей.

Отметим, что ионы образованные в электролите подвижны. Вначале за счет взаимодействия электролита с цинком (анодом) происходит окончательное образование ионов цинка на поверхностях анодного электрода из цинка. Тогда положительные ионы цинка начинают переходить в раствор, притягиваясь к отрицательным ионам электролита. При этом анод (цинковый электрод) зарядится отрицательно. Между ним и электролитом возникает разность потенциалов, следовательно, возникнет электрическое поле, которое будет препятствовать дальнейшему переходу положительных ионов цинка в раствор. Это явление называется двойным электрическим слоем. Соответственно создается некоторое термодинамическое и электрическое равновесие с определенной разностью потенциалов между цинком и раствором. Отметим, что другие металлы и растворы, естественно, будет иметь иное значение разности потенциалов.

Пиротехнический резервный источник тока (ПРИТ) представляет собой резервный первичный гальванический элемент. Электрод анода включает в себе пиротехнический заряд с избытком горючего, а катода - с избытком окислителя.

При разработке ПРИТ существуют ряд проблем для его реализации, требующие детальных и обширных исследований. Необходимо повысить надежность работы ПРИТ при очень больших вибрационных перегрузках, а так же решить потерю емкости источника во время его разряда.

По анализу литературного обзора в качестве объекта и предмета исследования был выбран резервный источник тока на основе пиротехнических материалов: магния, цинка и алюминия.

Список использованных источников:

- 1 Врублевский Б.И., Лебедева С.Н, Невзорова А.Б. Основы энергосбережения // под ред Б.И. Врублевского Учебное пособие. – Гомель: ЧУП ЦНТУ «Развитие». – 2002 . – 190 с.
- 2 Дасоян М. А. Производство электрических аккумуляторов // Под ред. Дасоян М. А., Уч. Пособие. - Высшая школа, Москва. – 1965. – 412 стр.
- 3 <http://electrik.info/main/school/914-himicheskie-istochniki-toka.html>
- 4 Просянюк, В.В., Н.М. Варёных, В.Н. Емельянов Современное состояние и перспективы развития пиротехнических источников тока // Современные проблемы пиротехники:матер. Всероссийской конф. - М.: ЦЭИ «Химмаш». – 2011. - С. 74-75.
- 5 Нижниковский Е.А. Портативные химические источники ток // М. Изд-во «Компания Спутник+». – 2008. – 220 с.
- 6 Хранилов Ю.П., Носков О.В., Ежов С.Б., Фантгор В.М. Расчет характеристик водоактивируемого источника тока длительного режима разряда // Сб. работ по ХИТ НПО Источник. М. – 2013.- С. 51-55.
- 7 Варыпаев Н. , Дасоян М.А. , Никольский В.А. Химические источники тока // М.: Высш. Школа. – 2012. – 240

Psychological Sciences

ОБЗОР ОПЫТА ИССЛЕДОВАНИЙ, ПОСВЯЩЕННЫХ НАСТОЛЬНО-РОЛЕВЫМ ИГРАМ

Атконова Ангелина Сергеевна

Студент, 4 курс, 6B03103 – Психология, Высшая школа психологии, Университет «Туран», г. Алматы, Казахстан

Нечепуренко София Романовна

Студент, 4 курс, 6B03103 – Психология, Высшая школа психологии, Университет «Туран», г. Алматы, Казахстан

Селищева Софья Алексеевна

Студент, 4 курс, 6B03103 – Психология, Высшая школа психологии, ORCID ID: 0009-0004-9522-920X, Университет «Туран», г. Алматы, Казахстан

Касымжанова Анаргуль Алиакпаровна

Кандидат психологических наук, профессор-исследователь, Высшая школа психологии, ORCID ID: 0000-0001-5802-5129, Университет «Туран», г. Алматы, Казахстан

Актуальность данного исследования обусловлена растущим интересом к настольным ролевым играм как возможному инструменту психологической поддержки и развития социальных навыков. Современные исследования показывают, что D&D и другие НРИ могут помочь снизить тревожность, развить эмпатию, коммуникативные навыки, самопознание и чувство социальной поддержки, а также использоваться в качестве дополнительного ресурса в психологической, педагогической и терапевтической практике. В то же время вопрос о механизмах их влияния на психическое благополучие игроков остается недостаточно изученным, что делает данную тему особенно актуальной.

Dungeons & Dragons (D&D)- это настольная ролевая игра в жанре фэнтези, изданная издательством Wizards of the Coast. Данные свидетельствуют о том, что D&D используется клиническими психологами в качестве терапевтической практики, и сообщения об успехах этих вмешательств указывают на то, что они могут иметь положительные результаты для игроков. Однако существует мало исследований, которые бы с психосоциальной точки зрения доказывали, каким образом игра D&D предоставляет возможности для поддержания психического здоровья постоянных игроков.

Одним из важных факторов, повлиявших на использование ролевых игр в терапии, стала психодрама, разработанная Морено в 1920-х годах. Ролевые игры также используются в когнитивно-поведенческой терапии, которая применяется как метод, помогающий людям практиковаться и развивать новые навыки. Этнографическое исследование ролевых игр, в частности Dungeons & Dragons (D&D), проведенное Файном в 1983 году, проливает свет на то, как игроки переключаются между разными точками зрения или «фреймами» во время игры. Файн обнаружил, что игроки в D&D оперируют тремя разными точками зрения: игрок как личность, игровая механика и точка зрения персонажа. Он также исследовал, как игроки коллективно создают и поддерживают эту общую вымышленную реальность [1]. Существует множество подтверждений того, что ролевые игры приносят пользу. Например,

предположение, что они дают возможность развивать навыки чтения и счёта (Davis and Johns 2020) [2]. Кроме того, интерактивная природа ролевых игр создаёт атмосферу, которая может способствовать развитию социальных навыков и чувства общности (Davis and Johns 2020) [2]. Исследование преобразующего потенциала ролевых игр (Daniau 2016) [3] подчёркивает, что ролевые игры могут способствовать творческому сотрудничеству и личностному развитию игроков. Кроме того, в обзоре литературы Lehto в 2021 году отмечается, что ролевые игры могут положительно влиять на общее самочувствие [4]. Исследование мотивов, побуждающих людей играть в настольные ролевые игры, проведённое Сое в 2017 году с использованием теории психологии развития Эрика Эриксона, показывает, что D&D связана с поиском идентичности и преодолением кризиса идентичности [5]. Согласно теории Эриксона, на этом этапе подростки ищут своё «я» и идентичность, исследуя убеждения и цели. Дэвис и Джонс предполагают, что игра в D&D в подростковом возрасте может помочь преодолеть трудности, связанные с эриксоновскими стадиями развития. Они также связывают D&D с четвёртой стадией развития (стадия «Компетентность- неполноценность»). По мере того, как игрок становится важной частью успешной команды героев, он может укрепить в себе уверенность в том, что он компетентен, а не неполноценен [2]. Боуман и Либерот (2024) отмечают, что, по мнению авторов клинических кейсов, положительное влияние D&D на психическое здоровье связано с чувством товарищества и ощущением достижения цели [6]. Это показывает, какую пользу игра в D&D может принести игрокам.

Примечательно, что специализированные врачи-терапевты имеют возможность управлять игрой, поощряя использование определенных навыков/ моделей поведения [2]. Было проведено качественное исследование с участием пяти практикующих психиатров, которые используют НРИ в качестве средства вмешательства (Гутьеррес, 2017) [7]. Участники подчеркнули эффективность этого вмешательства, особенно в отношении подростков. Участники определили, что наиболее выгодной особенностью вмешательства является адаптированный к потребностям клиента нарратив.

В одном исследовании люди с диагнозом "социальная тревожность" были приглашены для участия в кампании D&D в течение 1 года. (Abbott et al., 2022) [8]. Все участники признали, что испытывают беспокойство по поводу совершения ошибок в социальном контексте. Участники сообщили, что игра в D&D позволила им совершать ошибки без изнуряющей тревоги. НРИ использовались наряду с КПТ в исследовании Varrette et al (2023) [9]. Результаты этого исследования показали среднее снижение самооценки тревожности и улучшение социальных навыков. Это исследование внедряет элементы КПТ в игровой процесс наряду с использованием психометрии, что отличается от результатов исследования Abbott et al (2022) [8]. Исследование, посвященное D&D и восстановлению психического здоровья, предполагает, что это может помочь в развитии адаптивных навыков (Causo and Quinlan, 2020) [10].

Целью исследования Уолш и Линехан «Roll for Insight: Understanding How the Experience of Playing Dungeons & Dragons Impacts the Mental Health of an Average Player» было изучить влияние игры в D&D на психическое здоровье постоянных игроков и то, какие особенности способствуют получению такого опыта. Они выделили пять тем и две подтемы, которые способствуют позитивному психическому здоровью игроков: а) эскапизм; б) исследование себя; в) творческое самовыражение; забота о других; г) социальная поддержка; безопасное пространство; д) рутина.

Поднятые темы указывали на многие преобразующие особенности D&D. Особое внимание было уделено эскапизму и положительному влиянию, которое это оказывает на психическое здоровье игроков. Игроки сообщали, что чувствовали контроль в игре в те моменты, когда они не могли контролировать происходящее за ее пределами. С терапевтической точки зрения это является привлекательной особенностью D&D. Тема

самопознания указывает на то, что D&D может быть использована в терапевтических целях, поскольку игроки чувствуют себя более комфортно, исследуя проблемы / отрабатывая навыки в пространстве, отличном от реального мира. Игроки также сообщили о преимуществах в своей повседневной жизни, что свидетельствует о потенциальной передаче навыков. Что касается творческого самовыражения и помощи другим, участники положительно отреагировали на то, что им предоставили творческую свободу действий. Кроме того, игроки мотивированы удовлетворять свою психологическую потребность в творчестве посредством игры. В терапевтической обстановке это позволило бы человеку создать любой тип персонажа или сценарий, который ему заблагорассудится. С терапевтической точки зрения, социальная поддержка и безопасное пространство, предоставляемые D&D, могут обеспечить игрокам эмоциональную и социальную поддержку со стороны основной группы людей и предоставить им пространство, в котором они могут выразить себя. Наконец, рутина и возможность еженедельных занятий могут обеспечить стабильность. Это демонстрирует, как игра в D&D может привести к ощущению автономии и личностному росту [1].

Важно понимать, что, хотя D&D может принести терапевтическую пользу, оно не должно заменять другие формы поддержки. Вместо этого его следует рассматривать как дополнительный аспект целостного подхода к психическому здоровью, который может включать индивидуальную терапию, сети социальной поддержки и доступ к соответствующим ресурсам. Эта точка зрения подтверждается существующими исследованиями по терапевтическому использованию D&D (Henrich and Worthington, 2021) [11].

В современной научной литературе встречается все больше данных, свидетельствующих о потенциале настольных ролевых игр как инструмента психолого-педагогического сопровождения, в том числе в работе с лицами, имеющими нарушения развития. Особый интерес в этом контексте представляет исследование автора Като Кохэй «Employing Tabletop Role-Playing Games (TRPGs) in Social Communication Support Measures for Children and Youth with Autism Spectrum Disorder (ASD) in Japan: A Hands-On Report on the Use of Leisure Activities», посвященное применению настольно-ролевых игр для развития социальной коммуникации и повышения качества жизни детей и подростков с расстройством аутистического спектра [12]. Данная работа включает в себя два взаимосвязанных исследования, выполненных в рамках подхода, ориентированного на использование досуговой активности как естественной среды для формирования межличностных навыков.

Первое исследование, представленное в статье, было направлено на количественный и качественный анализ изменений в коммуникативном поведении детей с РАС в процессе участия в сессиях НРИ. В исследовании приняли участие четверо младших школьников (двое юношей и две девушки) в возрасте 13–14 лет с диагнозом РАС, посещавших амбулаторную клинику. Группа провела 16 игровых сессий, для анализа были отобраны расшифровки аудиозаписей первого и четырнадцатого занятий. Высказывания детей кодировались по категориям: «намеренная речь, направленная на других детей» и «речь, не направленная на других детей» (монологи, обращения к ведущему или вспомогательному персоналу). Кроме того, фиксировались случаи «достижения консенсуса» – принятия решений группой в ходе переговорного процесса.

Результаты первого исследования показали статистически значимую динамику. Доля намеренной речи, адресованной другим детям, возросла с 36,7% на первом занятии до 52,4% на четырнадцатом. Количество эпизодов достижения консенсуса увеличилось с нуля на первой сессии до пяти на четырнадцатой. При этом качественно изменился сам характер консенсуса, то есть, если на начальном этапе решения принимались преимущественно

большинством голосов без учета аргументации, то на поздних сессиях участники демонстрировали способность выслушивать мнения других и выстраивать логические дискуссии. Като Кохэй связывает полученные эффекты со структурными особенностями настольных ролевых игр, такими как прояснение ролей и наличие косвенной коммуникации через персонажа, что позволяет снизить тревожность и стимулировать спонтанные высказывания.

Второе исследование, описанное в статье, было посвящено оценке влияния участия в НРИ на качество жизни подростков с РАС. Выборка составила 51 человек (41 юноша и 10 девушек) со средним хронологическим возрастом 14 лет. Участники заполняли японскую версию стандартизированного опросника Kid-KINDL до начала участия в пяти ежемесячных игровых сессиях и после их завершения. Для статистического сравнения использовался t-критерий. Дополнительно были проведены полуструктурированные интервью с десятью участниками (семь юношей и три девушки) для получения качественных данных об их субъективном опыте участия в НРИ.

Анализ количественных данных выявил значимое улучшение общего балла качества жизни. Наиболее выраженные изменения были в сферах эмоционального благополучия и отношений со сверстниками. В интервью участники отмечали, что участие в НРИ позволило им получать больше удовольствия от общения, чем ранее. Один из респондентов указал, что в игре существует больше вариантов поведения, чем в повседневной жизни, а другой подчеркнул высокую степень свободы действий через своего персонажа. Важным наблюдением стало то, что даже неудачные действия персонажа воспринимались участниками как часть сюжетного развития, а не как личная неудача. Также участники осознавали положительные изменения в собственных коммуникативных навыках, в частности в способности к естественному общению, после сессий.

В заключительной части статьи автор подчеркивает, что досуговые мероприятия с использованием НРИ могут выступать эффективной альтернативой или дополнением к традиционным тренингам социальных навыков, поскольку подобные форматы позволяют участникам свободно проявлять свои творческие способности и получать удовольствие от спонтанного взаимодействия в структурированных рамках [12].

Подводя итоги данного теоретического обзора, следует отметить, что настольно-ролевые игры представляют собой перспективный вспомогательный инструмент в психотерапевтической практике, который способен позитивно воздействовать на психическое здоровье участников, а также улучшать качество жизни людей с РАС позволяя им повышать свои коммуникативные и социальные навыки.

Список используемой литературы:

1. Walsh, O., Linehan C. [Электронный ресурс] // Roll for Insight: Understanding How the Experience of Playing Dungeons & Dragons Impacts the Mental Health of an Average Player. International Journal of Role-Playing, 2024, (15), 36–60. URL: <https://journals.uu.se/IJRP/article/view/321> (дата обращения 5.01.2026)
2. Davis, Adam, and Adam Johns. 2020. "Dungeons, Dragons, and Social Development." In Integrating Geek Culture into Therapeutic Practice: The Clinician's Guide to Geek Therapy, edited by Anthony M. Bean, Emory S. Daniel Jr., Sarah A. Hays, 95-107. Fort Worth, TX, USA: Leyline Publishing.
3. Daniau, Stéphane. 2016. "The Transformative Potential of Role-playing Games: From Play Skills to Human Skills." Simulation and Gaming 47, no. 4: 423–444.
4. Lehto, Kerttu. 2021. "Role-playing Games and Well-Being." International Journal of Role-Playing 11: 72-93.

5. Coe, Darrin. 2017. "Why People Play Table-Top Role-playing games: A Grounded Theory of Becoming as Motivation." *The Qualitative Report* 11. doi:10.46743/2160-3715/2017.3071.
6. Bowman, Sarah Lynne, and Andreas Lieberoth. 2024. "Psychology and Role-playing Games." In *The Routledge Handbook of Role-playing Game Studies*, edited by José P. Zagal and Sebastian Deterding. London: Routledge
7. Gutierrez, Raul. 2017. "Therapy and Dragons: A Look into the Possible Applications of the Possible Applications of Tabletop Role Playing Games in Therapy with Adolescents." *Electronic Theses, Projects, and Dissertations* 527: 1-39. <https://scholarworks.lib.csusb.edu/etd/527>
8. Abbott, Matthew S., Kimberly A. Stauss, and Allen F. Burnett. 2021. "Table-top Role-playing games as a Therapeutic Intervention with Adults to Increase Social Connectedness." *Social Work with Groups* 45, no. 1 (16-21).
9. Varrette, Matthew, Jack Berkenstock, Adams Greenwood-Ericksen, Anthony Ortega, Faith Michaels, Veronica Pietrobon, and Marc Schodorf. 2023. "Exploring the Efficacy of Cognitive Behavioural Therapy and Role-playing games as an Intervention for Adults with Social Anxiety." *Social Work with Groups* 46, no. 2: 140-165.
10. Causo, Francesco, and Elly Quinlan. 2021. "Defeating Dragons and Demons: Consumers' Perspectives on Mental Health Recovery in Role-playing games." *Australian Psychologist* 56, no. 3: 256–267.
11. Henrich, Sören, and Rachel Worthington. 2021. "Let Your Clients Fight Dragons: A Rapid Evidence Assessment Regarding the Therapeutic Utility of 'Dungeons & Dragons'." *Journal of Creativity in Mental Health*: 1-19. <https://doi.org/10.1080/15401383.2021.1987367>
12. Katō, Kōhei. 2019. "Employing Tabletop Role-playing games (TRPGs) in Social Communication Support Measures for Children and Youth with Autism Spectrum Disorder (ASD) in Japan: A Hands-On Report on the Use of Leisure Activities." *Japanese Journal of Analog Role-playing Game Studies* 0: 23-28.

Взаимосвязь движения, эмоций и сознания в танцевальной импровизации: эмпирический анализ

Пивоварова Елизавета Валерьевна

Магистрант, Университет «Туран», Республика Казахстан, г. Алматы

Касымжанова Анаргуль Алиакпаровна

Научный руководитель, к.психол.н., профессор-исследователь, Университет «Туран», Республика Казахстан, г. Алматы

Аннотация

В статье представлены результаты эмпирического исследования, направленного на изучение психологических особенностей лиц, регулярно практикующих танцевальную импровизацию. Актуальность работы обусловлена необходимостью поиска эффективных практик развития эмоциональной компетентности и повышения качества жизни в молодежной среде.

В исследовании приняли участие 71 респондент в возрасте от 17 до 24 лет, разделённые на экспериментальную (практикующие танцевальную импровизацию, $n=32$) и контрольную (не занимающиеся танцами, $n=39$) группы. Диагностика осуществлялась с использованием методик Н. Холла, Д. В. Люсина (ЭМИн), опросников QOLI Дж. Фриша и SF-36. Статистическая обработка данных проводилась с применением непараметрического критерия Манна–Уитни и корреляционного анализа Спирмена.

В ходе исследования выявлены статистически значимо более высокие показатели эмоционального интеллекта у практикующих танцевальную импровизацию, в частности по шкалам эмоциональной осведомлённости, эмпатии и межличностного понимания эмоций. При этом значимые межгрупповые различия по интегральному показателю качества жизни не обнаружены. Вместе с тем выявлена специфика корреляционных связей: у танцоров эмоциональная регуляция тесно связана с удовлетворённостью межличностными отношениями, тогда как в контрольной группе она преимущественно связана с показателями соматического благополучия.

Полученные результаты подтверждают гипотезу о системном влиянии танцевальной импровизации как формы телесно-ориентированной практики на психологические характеристики личности.

Annotation

The article presents the results of an empirical study aimed at examining the psychological characteristics of individuals who regularly practice dance improvisation. The relevance of the study is обусловлена the need to identify effective practices for developing emotional competence and improving quality of life among young people.

The study involved 71 participants aged 17 to 24 years, divided into an experimental group (dance improvisation practitioners, $n=32$) and a control group (non-dancers, $n=39$). Data were collected using N. Hall's Emotional Intelligence test, D. V. Lyusin's Emotional Intelligence questionnaire (EmIn), J. Frisch's Quality of Life Inventory (QOLI), and the SF-36 Health Survey. Statistical analysis was conducted using the Mann–Whitney U test and Spearman's rank correlation coefficient.

The results revealed significantly higher levels of emotional intelligence among dance improvisation practitioners, particularly in emotional awareness, empathy, and interpersonal

understanding of emotions. At the same time, no significant differences were found between the groups in the overall quality of life index. However, specific patterns of correlations were identified: in the dancer group, emotional regulation was closely associated with satisfaction in interpersonal relationships, whereas in the control group it was primarily related to indicators of somatic well-being.

The findings support the hypothesis of a systemic influence of dance improvisation as a body-oriented practice on the psychological characteristics of the individual.

Ключевые слова: эмоциональный интеллект, качество жизни, танцевальная импровизация, телесность, эмпатия, эмоциональная саморегуляция.

Keywords: emotional intelligence, quality of life, dance improvisation, embodiment, empathy, emotional self-regulation

Введение

Современная психологическая наука уделяет значительное внимание поиску эффективных ресурсов адаптации личности в условиях динамично меняющейся социальной среды. Одним из таких ресурсов выступает эмоциональный интеллект, понимаемый как совокупность способностей к распознаванию, пониманию и регуляции собственных и чужих эмоциональных состояний. В свою очередь, качество жизни рассматривается как интегральный показатель субъективного благополучия, отражающий степень удовлетворённости различными сферами жизнедеятельности. В этой связи актуализируется задача поиска практик, способствующих гармонизации эмоциональной и личностной сфер.

В данном контексте танцевальная импровизация представляет собой перспективный объект исследования. В отличие от традиционных хореографических форм, она основана на спонтанности, осознании телесных импульсов и отказе от жёстко заданных двигательных паттернов, что создаёт условия для развития рефлексии и эмоциональной экспрессии.

Проблема исследования заключается в необходимости эмпирической проверки влияния регулярной практики танцевальной импровизации на когнитивно-эмоциональные характеристики личности. Предполагается, что опыт импровизации, связанный с непрерывной переработкой сенсорной информации и невербальным взаимодействием, способствует повышению уровня эмоциональной осведомлённости и развитию эмпатии.

Цель исследования — выявить особенности взаимосвязи эмоционального интеллекта и качества жизни у лиц, практикующих танцевальную импровизацию.

Гипотеза: регулярная практика танцевальной импровизации связана с более высоким уровнем эмоционального интеллекта и специфической структурой его взаимосвязей с качеством жизни.

1. Методическая организация эмпирического исследования

Эмпирическое исследование было проведено на базе молодежных творческих объединений из. Общий объем выборки составил 71 человек в возрасте от 17 до 24 лет (средний возраст — 20,5 лет), что обеспечивает достаточную однородность возрастного диапазона для анализа особенностей исследуемых психологических характеристик.

В соответствии с задачами исследования респонденты были разделены на две группы: экспериментальную группу, включающую лиц, занимающихся танцевальной деятельностью ($n = 32$), и контрольную группу, представленную лицами, не занимающимися танцами ($n = 39$). Данное разделение позволило выделить влияние именно регулярной практики танцевальной импровизации как самостоятельного фактора. Гендерная структура выборки характеризуется преобладанием лиц женского пола (70,4%), что отражает общую тенденцию большей вовлеченности женщин в танцевальные практики в молодежной среде.

Для диагностики использовался комплекс стандартизированных психодиагностических методик, направленных на оценку эмоционально-личностных и

субъективных характеристик качества жизни: тест эмоционального интеллекта Н. Холла, опросник эмоционального интеллекта «ЭМИн» Д. В. Люсина, методика оценки качества жизни QOLI Дж. Фриша (в адаптации Е. И. Рассказовой), а также краткая форма опросника здоровья SF-36. Применение комплекса методик позволило получить многомерную оценку исследуемых феноменов и повысить валидность эмпирических данных.

Математико-статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программного пакета IBM SPSS Statistics 23. Для анализа межгрупповых различий применялся U-критерий Манна–Уитни, что обусловлено непараметрическим характером распределения данных, а также для повышения надежности интерпретации при сравнении независимых выборок. Для выявления структурных взаимосвязей между показателями использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена, позволяющий оценить направленность и силу связей между переменными.

Анализ взаимосвязей между показателями эмоционального интеллекта и качеством жизни в контексте практики танцевальной импровизации

Корреляционный анализ в группе практиков танцевальной импровизации выявил 11 статистически значимых связей между показателями эмоционального интеллекта и качеством жизни ($p < 0,05$). Полученные результаты демонстрируют структурированную, но содержательно ограниченную систему взаимосвязей, отражающую специфику психологической организации данной группы.

Таблица 1 – Корреляционный анализ показателей ЭИ и качества жизни в экспериментальной группе

Шкалы КЖ / Шкалы ЭИ	Эмоциональная осведомлённость	Самомотивация	Эмпатия	Распознавание эмоций других	ВП	ВУ	ВЭ
Самооценка	0,124	0,171	0,035	0,002	0,138	0,396*	0,060
Игра	0,250	0,007	0,428*	0,357*	0,382*	0,181	-0,247
Обучение	0,239	0,216	0,427*	0,236	0,120	0,179	-0,336
Творчество	0,398*	0,061	0,299	0,230	0,164	0,175	-0,187
Помощь другим	0,113	0,093	0,132	-0,029	-0,036	-0,075	-0,378*
Любовь	0,125	0,398*	0,222	0,101	0,130	0,380*	-0,096
Родственники	0,178	0,326	0,003	0,067	0,352*	0,369*	0,016

Примечание: * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$

Сфера «Игра» (досуговая активность) обнаружила значимые связи с эмпатией ($r = 0,428$; $p = 0,014$), распознаванием эмоций других ($r = 0,357$; $p = 0,045$) и пониманием собственных эмоций ($r = 0,382$; $p = 0,031$). Это указывает на то, что удовлетворённость досугом у практиков танцевальной импровизации опирается на развитую эмоциональную чувствительность и способность к внутреннему и межличностному эмоциональному восприятию.

Шкала управления своими эмоциями (ВУ по Д. В. Люсину) продемонстрировала положительные связи с самооценкой ($r = 0,396$; $p = 0,025$), удовлетворённостью любовными отношениями ($r = 0,380$; $p = 0,032$) и семейными отношениями ($r = 0,369$; $p = 0,038$). Таким образом, эмоциональная саморегуляция выступает ресурсом качества близких межличностных связей и позитивного самоотношения.

Самомотивация (по Н. Холлу) связана с удовлетворённостью сферой «Любовь» ($r = 0,398$; $p = 0,024$), что отражает значимость внутренней эмоциональной устойчивости для романтических отношений.

Эмоциональная осведомлённость (по Н. Холлу) коррелирует с удовлетворённостью сферой «Творчество» ($r = 0,398$; $p = 0,024$), что подтверждает роль осознания эмоций как основы творческого самовыражения.

Понимание собственных эмоций (ВП по Д. В. Люсину) также связано с качеством семейных отношений ($r = 0,352$; $p = 0,048$), что указывает на значение эмоциональной рефлексии в поддержании семейной стабильности.

Обратная значимая связь выявлена между контролем экспрессии (ВЭ по Люсину) и удовлетворённостью сферой «Помощь другим» ($r = -0,378$; $p = 0,033$), что может свидетельствовать о снижении субъективного удовлетворения при чрезмерном подавлении эмоциональной экспрессии в социальном взаимодействии.

В целом структура корреляций в экспериментальной группе характеризуется:

- концентрацией значимых связей в сферах межличностных отношений, творчества и досуга;
- преобладанием перцептивных компонентов эмоционального интеллекта (осознание, эмпатия, распознавание эмоций);
- относительно ограниченной распространённостью связей, что может указывать на более интегрированную и автономную структуру психологических сфер.

Таблица 2 – Корреляционный анализ показателей ЭИ и качества жизни в контрольной группе

Шкалы КЖ \ Шкалы ЭИ	Эмоциональная осведомлённость	Управление своими эмоциями	Самомотивация	Эмпатия	МП	МУ	ВУ	ВЭ	ИЭМ	ВЭИ	УЭ
Здоровье	-0,189	0,528**	0,179	-0,264	-0,225	-0,088	-0,035	0,357*	-0,175	0,310	0,308
Самооценка	0,188	0,177	0,271	-0,007	0,038	0,085	0,217	0,439**	0,061	0,323*	0,285
Цели и ценности	0,309	0,253	0,471**	0,182	0,088	0,160	0,109	0,441**	0,125	0,258	0,305
Деньги	0,014	0,099	0,332*	0,051	0,015	0,112	-0,299	0,069	0,058	0,028	0,232
Работа	0,230	0,156	0,339*	0,342*	0,252	0,357*	-0,186	0,042	0,311	0,021	0,291
Игра	0,153	0,406*	0,432**	0,238	0,029	0,098	-0,215	0,155	0,061	0,087	0,247
Обучение	-0,085	0,351*	0,376*	0,020	-0,078	0,125	-0,114	0,109	0,008	0,130	0,259
Творчество	0,226	0,432**	0,572**	0,268	-0,017	0,184	-0,103	-0,143	0,071	0,088	0,237
Помощь другим	0,147	-0,037	0,179	0,119	0,281	0,330*	0,106	-0,083	0,316*	-0,005	0,107
Любовь	0,329*	0,153	0,345*	0,236	0,135	0,228	0,208	-0,396*	0,183	-0,023	-0,012
Друзья	-0,016	-0,183	0,088	0,241	0,402*	0,372*	0,022	-0,211	0,409**	-0,116	0,049
Родственники	-0,100	0,128	0,044	-0,227	0,138	0,237	0,143	0,348*	0,189	0,312	0,385*
Дом	0,223	0,360*	0,380*	0,124	0,156	0,287	0,171	0,096	0,222	0,282	0,363*

Примечание: * $p < 0,05$ ** $p < 0,01$

В контрольной группе выявлено 32 значимые корреляции, охватывающие значительно более широкий спектр жизненных сфер.

Наиболее выраженные связи обнаружены у самомотивации (по Холлу), которая коррелирует с удовлетворённостью сферами «Цели и ценности» ($r = 0,471$; $p = 0,01$), «Творчество» ($r = 0,572$; $p = 0,01$), «Игра» ($r = 0,432$; $p = 0,01$), а также работой, обучением, деньгами и любовью ($p \leq 0,05$). Это свидетельствует о её ключевой регуляторной роли в структуре субъективного благополучия.

Управление эмоциями (по Холлу) связано с удовлетворённостью здоровьем ($r = 0,528$; $p = 0,01$), творчеством ($r = 0,432$; $p = 0,01$), а также рядом других сфер (игра, обучение, дом). Контроль экспрессии (ВЭ по Люсину) демонстрирует как положительные связи (самооценка, здоровье, цели и ценности), так и отрицательную связь с любовными отношениями ($r = -0,396$; $p = 0,05$).

Межличностные и внутриличностные компоненты эмоционального интеллекта в контрольной группе преимущественно связаны с широким спектром социальных и жизненных сфер, что отражает их универсальный регуляторный характер.

Сопоставление групп выявляет принципиальные различия. В экспериментальной группе эмоциональный интеллект связан преимущественно с узким кругом сфер (отношения, творчество, досуг), тогда как в контрольной группе он выступает универсальным предиктором качества жизни, охватывающим практически все жизненные области.

Кроме того, у практиков танцевальной импровизации доминируют перцептивные компоненты эмоционального интеллекта, тогда как у контрольной группы — регуляторные. Это отражает различие в психологических механизмах: развитие танцевальной импровизации усиливает эмоциональную чувствительность и осознание, тогда как при отсутствии практики ключевую роль играет эмоциональная регуляция.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что танцевальная импровизация формирует специфическую структуру взаимосвязей между эмоциональным интеллектом и качеством жизни, в которой ведущую роль играют эмоциональное восприятие и осознание, а не только регуляция эмоциональных состояний.

Заключение

Полученные результаты подтверждают гипотезу исследования и свидетельствуют о специфическом влиянии танцевальной импровизации на структуру эмоционального интеллекта и качество жизни.

Практика танцевальной импровизации связана с развитием эмоциональной осознанности, эмпатии и способности к восприятию эмоциональных состояний. В отличие от контрольной группы, где эмоциональный интеллект функционирует как универсальный регулятор жизненного благополучия, у танцоров он приобретает более специализированный характер, связанный преимущественно с межличностными отношениями и творческой самореализацией.

Таким образом, танцевальная импровизация может рассматриваться как фактор формирования особой психологической организации, в которой телесный опыт становится основой эмоционального восприятия и личностного развития.

Art History

УДК 378.016:78:159.954.4

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ КРЕАТИВНОСТИ И ТВОРЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОСТРАНСТВЕ ВУЗА МУЗЫКАЛЬНОГО НАПРАВЛЕНИЯ

Курманаев Ермек Маликович

Доцент кафедры струнных инструментов, Казахская национальная консерватория имени Курмангазы, г. Алматы, Республика Казахстан

Есетова Айнур Такеевна

Кандидат педагогических наук, доцент кафедры СГД, Казахская национальная консерватория имени Курмангазы, г. Алматы, Республика Казахстан

Сулеева Гульжан Созакпаевна

Кандидат филологических наук, профессор кафедры СГД, Казахская национальная консерватория имени Курмангазы, г. Алматы, Республика Казахстан

Абсатарова Гулсара Бектургановна

Магистр педагогических наук, доцент кафедры СГД, Казахская национальная консерватория имени Курмангазы, г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация. В статье анализируются современные тенденции развития креативного и инновационного мышления как фундаментальных когнитивных компетенций в структуре высшего образования. На основе анализа классических и современных психологических подходов автор выявляет операциональный состав творческой деятельности, включая механизмы рефлексии, когнитивной гибкости и дивергентного поиска. Особое внимание уделяется специфике формирования данных навыков у будущих музыкантов. Обосновывается тезис о том, что существующий уровень развития способностей обучающихся зачастую не в полной мере отвечает требованиям времени, что актуализирует поиск методов активации интеллектуальных ресурсов личности. Авторами систематизированы ключевые индикаторы креативности, а также предложена модель развития творческой индивидуальности, базирующаяся на синтезе эмоционально-образного восприятия искусства и рационального анализа. Реализация данного комплексного подхода рассматривается как условие успешной адаптации специалиста к социальной реальности и фундамент его профессионального успеха.

Ключевые слова: креативное мышление, когнитивные компетенции, самопознание, образовательная парадигма, художественное образование, рефлексия, творческая индивидуальность, мотивация, восприятие искусства, субъект деятельности.

Введение. Актуальность данного исследования обусловлена, прежде всего, объективными потребностями общества в специалистах, способных эффективно решать сложные задачи современной общественной практики. В условиях стремительных социально-экономических изменений возрастает значимость субъектной роли личности, проявляющейся в способности к генерации инновационных идей и долгосрочному прогнозированию событий. Современный этап развития социума требует от индивида не только владения определенной базой знаний, но и высокого уровня развития когнитивных компетенций. К ним относятся:

- 1) Активизация психологических и мыслительных процессов познания.
- 2) Способность к глубокому анализу, обобщению и систематизации поступающей информации.
- 3) Развитие познавательной стороны мышления, позволяющей осуществлять сложный синтез данных.

Принципиальное значение приобретает умение аргументированно выстраивать выводы и принимать обоснованные решения в условиях неопределенности. Следовательно, необходимость поиска эффективных путей формирования указанных качеств определяет теоретическую и практическую значимость данной работы. Кроме того, в условиях глобализации и интенсивного межкультурного взаимодействия актуальность исследования усиливается необходимостью формирования культурологической восприимчивости субъекта. Интеллектуальные процессы анализа и синтеза протекают не в изолированном пространстве, а в рамках определенной знаково-символической среды, что требует от современного специалиста умения интерпретировать социокультурные коды и учитывать этические доминанты общества. В этой связи развитие мыслительного потенциала личности рассматривается нами не только как инструментальный набор навыков, но и как фундаментальный фактор сохранения культурной идентичности и социальной устойчивости. Реализация такого комплексного подхода позволяет подготовить специалиста, способного к осмысленному созиданию в поликультурном мире, что окончательно закрепляет статус данной проблемы как приоритетной для современной науки.

Литературно-теоретический обзор. Особое внимание современных исследователей сосредоточено на механизмах развития когнитивных функций в рамках учебного процесса, а также на конкретизации понятийного поля, описывающего формирование творческих компетенций. Под творческим мышлением В.С. Библер понимает специфический интеллектуальный процесс, направленный на креативное разрешение проблемных ситуаций, создание оригинальных идей, концептуальных теорий и теоретических обобщений [1]. В свою очередь, А.Л. Радугина характеризует мыслительную деятельность как качественно гетерогенный процесс, отличающийся многоаспектностью и сложностью структурной организации [2].

Систематизируя классификационные признаки мышления, М.В. Холодная выделяет такие ключевые параметры, как генезис развития, характер решаемых задач, степень развернутости, уровень новизны и оригинальности, а также функциональный инструментарий [3]. Несколько иной ракурс предлагает Д.Б. Богоявленская, трактуя творческое мышление как имманентную способность личности к генерированию нестандартных способов деятельности, нацеленных на создание субъективно нового продукта. К фундаментальным структурным компонентам данного феномена автор относит:

- Когнитивный базис личности;
- Опыт практической и творческой деятельности;
- Ценностное отношение индивида к образовательному процессу [4, с. 126].

Исследователь подчеркивает, что сущность творчества заключается не во внешней

активности, а во внутреннем акте созидания целостного образа мира. При этом ключевыми детерминантами выступают интенсивная поисковая мотивация и высокая сензитивность к образовательным стимулам [4]. Проблематика соотношения творчества и креативности также находит отражение в трудах Ю.Б. Гиппенрейтер, которая связывает данные понятия с осознанным и целенаправленным поиском инновационных возможностей [5, с. 88]. В противовес акценту на осознанности, Е.В. Гетманская указывает на такие атрибуты творческого процесса, как спонтанность и иррациональность, подчеркивая их слабую подвластность волевому контролю [6]. Аналогичной позиции придерживается В.Н. Дружинин, рассматривая творческий акт как проявление бессознательной активности духа, детерминированной внутренней спецификой психики как системы, а не внешними ситуативными факторами [7, с. 102–103].

В дидактическом аспекте значительный интерес представляют идеи И.Я. Лернера, который определяет операциональный состав творческого мышления через следующие умения:

- Самостоятельный трансфер знаний в принципиально новые ситуации;
- Рефлексия новых функций объекта в стандартных условиях;
- Способность к комбинаторике и принятию альтернативных решений на основе гибкости когнитивных стратегий [8, с. 35].

Развивая дискуссию о природе креативности, Р. Стернберг позиционирует ее как автономный фактор, обладающий относительной независимостью от общего интеллекта [9, с. 127]. Эту гипотезу подтверждает Э.П. Торренс, указывая на незначительную корреляцию между IQ и творческой продуктивностью. Согласно его концепции, доминирующую роль играют личностные ценности, когнитивная одаренность, чувствительность к проблемным зонам и независимость суждений в ситуациях неопределенности [10, с. 431].

В контексте художественного образования творческое мышление приобретает специфическую форму, оперируя эмоционально насыщенными образами. Процесс восприятия искусства, в частности музыкального произведения, инициирует глубокое сотворчество, активизируя ассоциативно-смысловые обобщения и инсайты. Формирование чувственно-образных моделей в данном случае выступает результатом сложнейшего синтеза и анализа, обеспечивая интеграцию интеллектуального и эмоционального опыта личности.

Итак, следует подчеркнуть, что многогранность феномена творческого мышления требует интегративного подхода в образовательном процессе. Синтез когнитивных, мотивационных и личностных факторов, отмеченных в трудах классиков психологии, актуализирует задачу создания специфической дидактической среды, способствующей переходу от механического накопления знаний к активному интеллектуальному поиску. В этом контексте особую значимость приобретает развитие рефлексивных способностей и прогностических навыков обучающихся. Формирование готовности к деятельности в ситуациях высокой неопределенности, а также развитие способности к многомерному видению проблемы становятся не просто академической задачей, но стратегическим вектором профессионального становления личности. Таким образом, теоретический базис, заложенный исследователями креативности, служит фундаментом для разработки инновационных методик, направленных на активизацию скрытых интеллектуальных резервов и гармонизацию когнитивной сферы в условиях современной образовательной парадигмы.

Методология и методы исследования. Методологический базис исследования строится на интеграции нескольких научных подходов, адекватных специфике музыкального образования: Субъектно-деятельностный подход, рассматривающий студента как активного инициатора инновационных преобразований; Системный подход, позволяющий

анализировать креативность как совокупность когнитивных и личностных структур; Культурологический подход, в рамках которого развитие мышления происходит через интерпретацию художественных смыслов и культурных кодов.

Методика исследования включает совокупность теоретических и эмпирических методов:

1. Теоретические: сравнительно-сопоставительный анализ психологических концепций, терминологическая дедукция и синтез междисциплинарных данных.
2. Практико-ориентированные (дидактические): метод моделирования проблемных ситуаций, алгоритмы развития ассоциативно-смыслового мышления при работе с нотным текстом, а также рефлексивные технологии самооценки творческой деятельности.

Закключение. Феномен многомерности творческого креативного мышления как высокоорганизованной формы человеческой деятельности, направленной на созидание ценностей культуры, подчеркивает фундаментальную сложность данного объекта исследования. Субъектная природа творчества, детерминированная личностным потенциалом творца, обуславливает объективные трудности в строгой детерминации этапов, признаков и критериев развития мыслительных процессов. Однако систематизация научного знания позволяет выявить ключевые закономерности развития творческого интеллекта в условиях интенсивного информационного потока.

На основе проведенного анализа нами выделена система критериев, необходимых современному специалисту для эффективной самореализации и формирования устойчивой модели креативной личности:

- 1) Инновационность и прагматика идей. Неповторимость, оригинальность и уникальность генерируемых концептов рассматриваются не как абстрактные категории, а как источники качественно нового прагматического элемента. Креативность здесь выступает сущностной составляющей творческого процесса, обладающей выраженной практической и прикладной значимостью для развития социума.
- 2) Прогностический и системный потенциал. Способность к творчеству предполагает готовность личности к продуцированию неординарных стратегий решения профессиональных задач. Это включает в себя последовательность логических построений, верификацию гипотез, оценку альтернатив и креативную переработку информационных ресурсов. Масштабность творческой деятельности напрямую зависит от владения системным подходом к организации нововведений.
- 3) Дивергентность и преодоление когнитивных стереотипов. Отказ от ригидных способов мышления в образовательном процессе активизирует реализацию внутреннего потенциала. Данный критерий тесно связан с развитием таких качеств, как интеллектуальная независимость, критичность восприятия, развитая интуиция и психологическая готовность к дивергентному поиску (многовариантности решений).
- 4) Технологическая обеспеченность образовательной среды. Выбор адекватных технологических элементов при проектировании содержания образования способствует формированию личностного компонента обучения. Это не только повышает внутреннюю учебную мотивацию, но и существенно увеличивает продуктивность образовательной деятельности, стимулируя развитие индивидуальных креативных качеств.
- 5) Интеграция рефлексии и самосознания. Творчески ориентированная личность рассматривается как сложный механизм, где развитие креативности неразрывно связано с формами рефлексии и самооценки. Являясь структурными компонентами самосознания, эти процессы определяют успешность деятельности и способствуют формированию целостного творческого «Я», делая внутренний мир субъекта более интегрированным и устойчивым.
- 6) Исследовательская активность и адаптивность. Участие в научно-

исследовательских проектах, конференциях и разработка инновационных идей создают пространство для межличностного обмена опытом. Взаимодействие с различными технологиями и инструментами позволяет личности обнаруживать новые возможности и гибко адаптироваться к изменениям глобального мира. При этом ключевое значение приобретают волевые и этические качества: настойчивость, самодисциплина, любопытство, открытость новому опыту и способность к продуктивной командной работе.

Представленный перечень критериев, применяемых в современной системе образования, не является исчерпывающим, однако он позволяет выстроить комплексную модель развития творческой личности. Резюмируя, можно утверждать, что формирование креативного мышления в современной образовательной парадигме представляет собой непрерывный процесс синтеза интеллектуальных способностей, аксиологических установок и психологической готовности к деятельности в условиях неопределенности. Предложенная система критериев — от инновационной прагматики до технологической адаптивности — позволяет не только диагностировать уровень развития когнитивных функций, но и целенаправленно моделировать процесс становления целостной творческой индивидуальности. В контексте музыкального и художественного образования этот процесс приобретает особую значимость, так как требует гармонизации рационального анализа и глубокого эмоционально-образного сотворчества.

Таким образом, теоретическое обоснование и практическая реализация модели развития креативного потенциала выступают стратегическим гарантом подготовки конкурентоспособных специалистов, способных к осмысленному созиданию и сохранению культурного суверенитета в динамично меняющемся глобальном пространстве.

Список литературы:

1. Библер, В. С. Мышление как творчество / В. С. Библер. — М.: Политиздат, 1975. — 399 с.
2. Радугина А.Л. Психология и педагогика: учеб. пособ. для вузов / А. Л. Радугина. — 2-изд. испр. и доп. — М.: Центр, 2002. — 252 с.
3. Холодная, М. А. Психология интеллекта. Парадоксы исследования / М. А. Холодная. — СПб.: Питер, 2012. — 386 с.
4. Богоявленская, Д.Б. Психология творческих способностей / Д. Б. Богоявленская. — М., 2009. — 320 с.
5. Гиппенрейтер, Ю.Б. Введение в общую психологию: [курс лекций] : учебное пособие / Ю. Б. Гиппенрейтер. — М.: АСТ, 2013. — 351 с.
6. Гетманская Е.В. Творческий процесс: признаки, этапы и критерии. Журнал Достижения науки и образования. 2018.- с.
7. Дружинин В.Н. Творчество: природа и развитие. Из книги «Когнитивные способности: структура, динамика, развитие», 2001 г. // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2005. Т. 2. № 3. С. 91–107.
8. Лернер И.Я. Развитие мышления учащихся в процессе обучения истории: Пособие для учителей. - М.: Просвещение, 1982. - 191 с.
9. Стернберг Р. Практический интеллект = Practical Intelligence in Everyday Life. — СПб.: Питер, 2002. — 272 с.
10. Торренс Э.П. Torrance E.P. Guiding creative talent — Englewood Cliffs / E.P. Torrance. — NY: Prentice-Hall, 1964. — 512 p.

КИНЕМАТОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕХНИКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕДИАКОНТЕНТА ДЛЯ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ

Жаксыбаев Джафар Маратович

магистрант, ОП «Медиа технологии», Astana IT University (г. Астана, Казахстан)

Научный руководитель:

Аскар Мурат

Senior lecturer, Astana IT University, г. Астана, Казахстан

Аннотация. В данной статье рассматривается использование кинематографических приемов при создании медиаконтента для цифровых платформ. Сегодня видео производится не только для кинотеатров и телевидения, но и для социальных сетей, стриминговых сервисов, мобильных приложений, рекламных кампаний и интерактивных форматов. В результате традиционные приемы киноязыка — композиция, свет, цвет, монтаж, звук, крупные планы, движение камеры и визуальные эффекты — приобретают новое практическое значение. Они помогают не только создать художественный образ, но и быстро привлечь внимание пользователя, удержать его интерес и усилить эмоциональное воздействие сообщения. В статье отдельно рассматриваются характеристики коротких видеоформатов, повествования в стиле «экранной жизни», визуальных эффектов и виртуального производства. Сделан вывод, что цифровая среда не отрицает классические принципы кино, а, наоборот, заставляет их адаптироваться к новым условиям просмотра, распространения и взаимодействия с аудиторией.

Ключевые слова: кинематографические техники; медиаконтент; цифровая среда; визуальное повествование; социальные сети; скринлайф; виртуальное производство; цифровая кинематография; VFX; монтаж; медиапроизводство.

Введение. Производство аудиовизуального контента за последние годы претерпело значительные изменения. Видео все чаще создается не только для кино и телевидения, но и для социальных сетей, видеоплатформ, мобильных приложений и онлайн-рекламы. В результате приемы, ранее считавшиеся преимущественно частью профессионального киноязыка, стали активно использоваться в более коротких, практичных форматах: рекламные ролики, Reels, видео TikTok, YouTube Shorts, брендированный контент и влоги. Ключевой особенностью цифровой среды является то, что зрители почти всегда сталкиваются с выбором. Они могут перемотать вперед через секунду, переключиться на другое видео или смотреть контент вообще без звука. Поэтому для создателя важно не только снимать качественные изображения, но и сразу же установить визуальный акцент, создать четкий ритм и вызвать интерес. В этом смысле кинематографические приемы становятся не просто декоративным элементом, а рабочим коммуникационным инструментом.

И. Боберец отмечает, что освещение, звук, композиция, кадрирование, раскадровка, монтаж и ритм особенно важны в процессе создания контента для социальных сетей. Эти факторы важны для привлечения зрителей в перенасыщенной информационной среде [3]. Это особенно важно в случае коротких видеоформатов, где у автора практически нет времени на длинную презентацию или постепенное развитие идеи. Более того, цифровизация повлияла не только на отдельные форматы, но и на понимание самого кино.

Исследования кинематографических медиа в цифровой культуре подчеркивают, что цифровые технологии повлияли почти на все аспекты киноиндустрии и расширили границы того, что ранее называлось кино [2]. Сегодня кинематографический язык можно увидеть не только в полнометражных фильмах, но и в рекламных роликах, музыкальных клипах, проектах экранной жизни, виртуальных студиях и интерактивных медиа.

Теоретические основы кинематографических техник.

Кинематографические техники определяются как набор приемов, используемых для создания экранного повествования. К ним относятся: композиция кадра, ракурс камеры, крупный план, движение камеры, свет, цвет, монтаж, звук, мизансцена и пространственная манипуляция. Каждый из этих элементов влияет на восприятие изображения зрителем и на эмоции, которые оно вызывает. Система Дж. Масчелли, представленная в его книге «Пять С кинематографии», занимает видное место в классической теории кинематографии. Автор выделяет пять основных принципов кинематографии: ракурсы камеры, непрерывность действия, монтаж, крупные планы и композиция [6]. Хотя книга была написана задолго до эры TikTok и мобильного видео, эти принципы остаются актуальными и сегодня. Разница в том, что теперь они применяются не только к фильмам, но и к видеороликам продолжительностью от 15 до 60 секунд.

Б. Браун также рассматривает кинематографию как визуальный язык. Его работы отличаются большим вниманием к созданию визуального мира, кадра, объектива, цвета, света, движения и точки зрения [4]. Это особенно актуально для цифрового контента, поскольку аудитория часто узнает автора, бренд или проект по его визуальному стилю. Например, узнаваемая цветовая палитра, определенный тип монтажа или определенный тип кадрирования могут стать частью узнаваемости аккаунта или медиапроекта. Кинематографические приемы влияют не только на эстетическое восприятие зрителя, но и на его эмоции. Н. Кашака отмечает, что освещение, цвет, композиция, музыкальное сопровождение, внутрикадровый звук и структура повествования помогают направлять восприятие зрителя и создавать эмоциональный отклик [5]. Другими словами, язык кино — это не только инструмент для «красивой съемки», но и инструмент для манипулирования вниманием, настроением и ожиданиями аудитории.

Цифровая трансформация кинематографического медиума.

Переход к цифровым технологиям изменил не только процесс съемки, но и весь производственный цикл аудиовизуального контента. С. Спарк пишет, что цифровые камеры сделали создание движущихся изображений гораздо более доступным: сегодня видео можно снимать не только профессиональной камерой, но и смартфоном или домашним устройством [11]. Это привело к демократизации медиапроизводства: у большего числа людей появилась возможность снимать, монтировать и публиковать собственные видео. Однако доступность технологий не означает автоматически качество. Напротив, с обилием контента возрастает роль профессиональных навыков. Создатель должен понимать, как скомпоновать кадр, как работать со светом, где делать монтаж, как использовать звук и как адаптировать видео к конкретной платформе. В то время как в традиционном кино производственный процесс мог занимать месяцы или годы, цифровые платформы требуют регулярного обновления контента. Это меняет темп работы и делает особенно важными навыки быстрого, но содержательного производства.

Особого упоминания заслуживает роль визуальных эффектов. Н. М. Салах Эльдин в своей статье «Кинематография визуальных эффектов: кинематографическая техника оператора от традиционной до цифровой эры» показывает, что до цифровой эры многие спецэффекты создавались непосредственно во время съемок или в лаборатории. С развитием цифровых визуальных эффектов и компьютерной графики съемка стала лишь

частью более сложного процесса, при этом значительная часть работы переносится на постпродакшн [10]. Это также меняет задачи оператора камеры: он должен думать не только о том, что сейчас снимает камера, но и о том, как изображение будет сочетаться с компьютерной графикой, 3D-моделями, виртуальными средами и элементами VFX позже. Отчет MovieLabs о будущем медиапроизводства показывает, что индустрия постепенно переходит к облачным, программно-ориентированным и ориентированным на данные производственным процессам [7]. Это означает, что материалы, созданные для одного проекта, могут быть использованы повторно: 3D-модели, модели VFX, звуковые элементы, цифровые архивы и другие ресурсы становятся частью гибкой производственной системы. Это открывает новые возможности для создания медиаконтента, но одновременно требует от специалистов более широкого спектра компетенций.

Кинематографические техники в социальных сетях.

Социальные сети стали одной из основных платформ, где американские методы используются в сжатой и адаптированной форме. В отличие от кинотеатра, где зрители уже готовы смотреть фильм, пользователи социальных сетей часто не тратят много времени на просмотр видео. Они просто пролистывают свою ленту. Поэтому первые несколько секунд становятся решающими. В исследовании И. Бобереца реклама в социальных сетях отличается от телевизионной рекламы не только третьим местом, но и способом обращения к аудитории [3]. Телевизионная реклама больше ориентирована на массовую коммуникацию, в то время как цифровая реклама может быть более точной, эмоциональной и нацеленной на определенную группу пользователей. Поэтому особенно важны сильный начальный кадр, четкая композиция, выразительное освещение, ритмичный монтаж и ясное сообщение.

Интерактивность также меняет характер видеоконтента. В цифровой среде зрители не только наблюдают, но и реагируют: ставят лайки, комментируют, сохраняют видео, открывают или переходят по ссылке. Боберет популярен среди наружной рекламы в социальных сетях: интерактивность, креативность, культурная значимость, эмоциональность, синергия каналов и адаптация к внешнему миру [3]. Поэтому американские методы здесь работают не сами по себе, а в сочетании с логикой платформы. Например, крупный план в коротком видеоролике может быстрее создать атмосферу доверия у любого человека. Динамичный монтаж помогает удерживать внимание. Цвет и освещение влияют на настроение и визуальное восприятие. Музыка и закадровый голос усиливают эмоциональное восприятие. Таким образом, даже короткий видеоролик в социальной сети может быть построен в соответствии с законами кинематографического языка, но в более концентрированной форме.

Таблица 1. Функции кинематографических техник в цифровой среде

Кинематографическая техника	Традиционная функция	Функция в цифровой среде	Пример применения
Композиция кадра	Организация пространства и смысла	Быстрое направление внимания на главный объект	Instagram Reels, TikTok, YouTube Shorts
Крупный план	Эмоциональное приближение к персонажу	Быстрое создание доверия и вовлечения	Экспертные видео, блогинг, реклама
Освещение	Создание атмосферы и жанрового настроения	Повышение профессионального качества и доверия	Брендинговый контент, интервью, видео о продукте
Цвет	Символика, настроение, визуальный стиль	Формирование узнаваемости бренда или автора	Единая визуальная палитра аккаунта
Монтаж	Ритм повествования и драматургия	Удержание внимания, повышение досмотра	Короткие видеоформаты, клипы, рекламные ролики
Звук	Эмоциональное сопровождение	Усиление вовлеченности и узнаваемости	Трендовые аудио, закадровый голос
Движение камеры	Динамика и эффект присутствия	Иммерсивность, ощущение реальности	Влоги, видео о путешествиях, съемочный процесс
Скринлайф-приемы	Альтернативная форма экранного повествования	Передача цифровой коммуникации через интерфейс	Чаты, видеозвонки, окна браузера
VFX / виртуальное производство	Расширение визуального мира	Интеграция съемочного материала, CGI, 3D-ассетов и цифровой среды	LED-павильон, Unreal Engine, виртуальные студии

Скринлайф как новая форма цифрового повествования.

Одним из наиболее показательных примеров изменения языка кино в цифровую эпоху является скринлайф. Скринлайф относится к экранной форме повествования, в которой действие разворачивается через интерфейс компьютера, смартфона, чатов, окон браузера, видеозвонков и социальных сетей. В этом формате экран устройства становится не просто средством отображения, а пространством для самого действия. А. Мураткызы и Б. Ногербек рассматривают экранную жизнь как новую повествовательную форму, возникшую в контексте цифровой коммуникации [8]. Они утверждают, что экранная жизнь — это больше, чем просто стилистический приём. Она меняет саму структуру кинематографического повествования, включая элементы интерфейса: сообщения, окна браузера, уведомления, курсоры, социальные сети и видеозвонки.

В экранной жизни многие традиционные приёмы получают новое выражение. Монтаж может происходить путём переключения вкладок или окон. Крупные планы заменяются фокусировкой на сообщении, фотографии или уведомлении. Напряжение создаётся не только музыкой или актёрской игрой, но и предвкушением ответа в чате, появлением нового сообщения или зависанием видеозвонка. Даже звук становится частью цифровой драматургии: уведомления, звонки, системные сигналы и голосовые сообщения помогают создать ритм сцены. Этот формат привлекает современную аудиторию, поскольку отражает знакомый опыт общения через экраны. Люди ежедневно читают сообщения, переключают вкладки, смотрят видеозвонки, отправляют голосовые сообщения и отслеживают уведомления. Таким образом, экранная жизнь не просто имитирует цифровую реальность; она превращает её в полноценный язык повествования.

Ещё одна тенденция, активно меняющая производство медиаконтента, — это виртуальное производство. Оно сочетает традиционные методы кинопроизводства с 3D-графикой, игровыми движками, светодиодными студийными павильонами, захватом движений, предварительной визуализацией и визуальными эффектами. Виртуальное производство позволяет создавать сложные окружения без необходимости полномасштабного строительства декораций или постоянных поездок на реальные локации. Это особенно важно для местных медиарынков. Съёмочные группы могут сталкиваться с ограниченными бюджетами, сложной логистикой, нехваткой студийных павильонов, погодными условиями или отсутствием необходимых локаций. Виртуальная декорация частично решает эти проблемы: историческое пространство, фантастический мир, другой город или сложный интерьер могут быть созданы в цифровой среде.

Технологии и визуальное повествование.

Технологии всегда влияли на то, как истории рассказываются на экране. Появление звука преобразило диалоги и музыкальные партитуры. Цвет расширил эмоциональный и символический потенциал кадра. Спецэффекты позволили нам изображать события и пространства, которые было невозможно запечатлеть традиционными методами. Цифровые камеры и программы для монтажа сделали производство более гибким. В статье «Влияние технологий на кинематографическое повествование» отмечается, что технологические изменения повлияли на монтаж, звук, визуальные эффекты и саму структуру кинематографического повествования [12]. В цифровой среде это еще более заметно, поскольку технологии влияют не только на производство, но и на распространение контента. Вертикальный формат меняет композицию. Короткие видеоролики требуют более плотной драматургии. Алгоритмы платформ усиливают значимость первых секунд. Интерактивность меняет отношения между создателем и зрителем.

Поэтому современный медиапродюсер должен учитывать сразу несколько уровней: художественный, технический и платформенный. Просто запечатлеть красивый образ недостаточно. Важно понимать, где будет опубликовано видео, как пользователь будет его просматривать, будет ли включен звук, какая частота кадров требуется, сколько времени зритель готов уделить просмотру видео и какие действия ожидаются после просмотра.

Профессиональные компетенции создателя цифрового медиаконтента.

Создание высококачественного цифрового контента требует сочетания художественных и технических навыков. Создатель должен понимать композицию, освещение, цвет, монтаж и звук, а также быть знаком со спецификой платформы, поведением аудитории и основными принципами продвижения. Боберек отмечает, что современный создатель контента должен освоить не только традиционную режиссуру, но и цифровые инструменты: монтаж, цветокоррекцию и спецэффекты [3]. На практике это особенно заметно в социальных сетях, где один человек часто совмещает функции режиссера, оператора, монтажера, продюсера и специалиста по SMM.

В сборниках по цифровой журналистике и медиакommunikациям также подчеркивается, что современная медиасреда невозможна без цифровых инструментов и интернета, которые стали основными платформами для общения с аудиторией [13], [15]. Это означает, что сегодня производство медиаконтента требует не только творческого мышления, но и цифровой грамотности. Профессиональные навыки не ограничиваются владением программным обеспечением. Важно уметь выстраивать семантическую структуру видео, понимать настроение аудитории, работать с визуальной идентичностью и поддерживать баланс между художественным качеством и требованиями платформы. Именно это отличает случайное видео от хорошо продуманного медиапродукта.

Заключение. Кинематографические приемы играют ключевую роль в создании медиаконтента для цифровой среды. Композиция, освещение, цвет, монтаж, звук, движение камеры, крупные планы, визуальные эффекты и приемы экранной жизни помогают создавать видео, которые не только выглядят профессионально, но и быстро привлекают внимание, вызывают эмоции и удерживают зрителей. Цифровая среда не разрушает классический язык кино. Скорее, она заставляет его меняться. Традиционные методы адаптируются к вертикальному видео, коротким форматам, просмотру на мобильных устройствах, социальным сетям, интерактивности, виртуальному производству и алгоритмическому распространению. В результате кинематографические приемы становятся частью не только кино, но и повседневной цифровой коммуникации. Сегодня особенно важны видео для социальных сетей, форматы Screenlife, визуальные эффекты и виртуальное производство. Социальные сети требуют быстрого вовлечения аудитории и эмоциональной выразительности. Screenlife отражает реальный опыт цифровой коммуникации. VFX расширяет границы визуального мира. Виртуальное производство открывает новые творческие и экономические возможности для медиаиндустрии. Поэтому современный медиапродюсер должен владеть не только операторской работой и монтажом, но и принципами визуального повествования, цифровой коммуникации и медиастратегией. Именно сочетание этих навыков делает кинематографические методы незаменимым ресурсом для создания высококачественного контента в цифровой среде.

Список литературы

- [1] Aidarbekov A., Ibraiyimov A., Murzabekova G., Grif M., Petrov B., Saulebayeva K. Filmmaking Business Processes for Video Content Production in Modern Social Media // Хабаршы. Журналистика сериясы. 2024. №4 (74). С. 46–58.
- [2] Bakulev G. P. Cinematic Media in Digital Culture // Вестник ВГИК. 2019. Т. 11. №1 (39). С. 8–14.
- [3] Boberets I. The Role of Directing and Cinematic Techniques in Creating Advertising Content on Social Media // EUJINI. 2024. Vol. 1. No. 1. P. 53–60.
- [4] Brown B. Cinematography: Theory and Practice: Imagemaking for Cinematographers and Directors. 3rd ed. New York: Routledge, 2016.
- [5] Kashaka N. D. Cinematic Techniques: Shaping Viewer Perception and Emotion // Research Inventy Journal of Current Issues in Arts and Management. 2025. Vol. 4. No. 2. P. 28–33.
- [6] Mascelli J. V. The Five C's of Cinematography: Motion Picture Filming Techniques. Los Angeles: Silman-James Press, 1965.
- [7] MovieLabs. The Evolution of Media Creation: A 10-Year Vision for the Future of Media Production, Post and Creative Technologies. Motion Picture Laboratories, 2019.
- [8] Muratkyzy A., Nogerbek B. Screenlife in New Media: A New Narrative Form in the Era of Digital Communication // Кепуен. 2026. №1 (90). С. 304–313.
- [9] Pan A. A. Виртуальные съемочные площадки как инструмент снижения производственных затрат и развития инновационной экономики в медиаиндустрии // Central Asian Scientific Journal. 2026. №2 (30). С. 1.
- [10] Salah Eldin N. M. Visual Effects Cinematography: The Cinematographer's Filmic Technique from Traditional to Digital Era // The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication. 2012. Vol. 2. No. 2. DOI: 10.7456/10202100/016.
- [11] Sparke S. Digital Cinematography: The Medium is the Message? // Athens Journal of Mass Media and Communications. 2015. Vol. 1. No. 1. P. 55–70.
- [12] The Impact of Technology on Cinematic Storytelling // Global Media Journal. 2023. Vol. 21. No. 66.
- [13] Журналистика и медиакоммуникации в цифровой среде: материалы международной студенческой научно-практической конференции. Москва: РГГУ, 2022.
- [14] Инновационные технологии в кинематографе, медиаиндустрии и образовании: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. Москва: ИПП «КУНА», 2022.
- [15] Цифровая журналистика: технологии, смыслы и особенности творческой деятельности: материалы II Международной научно-практической конференции. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2025.

Legal Sciences

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРГАНОВ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Сапаров Ризат Ерикович

Магистрант, Торайгыров университет, г. Павлодар, Республика Казахстан.

Аннотация

В статье представлен обзор современных научных подходов к исследованию системы государственных органов Республики Казахстан. Проанализированы ключевые проблемы функционирования государственного аппарата, включая вопросы эффективности государственной службы, разграничения полномочий между уровнями власти, развития местного самоуправления, взаимодействия государственных органов с институтами гражданского общества, а также оценки эффективности их деятельности. Особое внимание уделено анализу нормативно-правовой базы и существующих институциональных механизмов государственного управления. На основе обобщения научной литературы выявлены системные недостатки и противоречия, препятствующие повышению эффективности государственного управления. В статье предложены основные направления совершенствования системы государственных органов, направленные на повышение прозрачности, подотчётности и результативности их деятельности.

Ключевые слова: *государственные органы, государственное управление, государственная служба, местное самоуправление, эффективность управления, публичная власть, правовое государство.*

Введение

На современном этапе развития Республики Казахстан особую актуальность приобретают вопросы совершенствования системы государственных органов как ключевого элемента механизма государственной власти. Эффективное функционирование государственного аппарата напрямую связано с обеспечением устойчивого социально-экономического развития, реализацией принципов правового государства и повышением уровня доверия общества к институтам власти. В условиях глобализации, цифровизации и усложнения общественных отношений возрастает необходимость адаптации системы государственного управления к новым вызовам и требованиям.

Основы организации и деятельности государственных органов закреплены в Конституции Республики Казахстан, которая провозглашает принципы разделения властей, законности, приоритета прав и свобод человека и гражданина. Вместе с тем, несмотря на проведённые административные реформы и модернизацию государственной службы, в функционировании государственных органов сохраняется ряд проблем, имеющих как институциональный, так и организационно-правовой характер.

В научной литературе достаточно широко освещены отдельные аспекты данной проблематики. Так, Бейсембаев А. А. акцентирует внимание на необходимости

модернизации модели государственной службы, Жанузакова Л. Т. рассматривает вопросы развития местного самоуправления, Dontsov S. S. анализирует взаимодействие государственных органов с неправительственным сектором, а Junusbekova G. и Сембаев Д. К. исследуют проблемы оценки эффективности деятельности государственных органов. Вместе с тем, ряд вопросов, связанных с комплексным анализом системы государственных органов и выявлением её ключевых проблем, остаётся недостаточно разработанным.

Актуальность темы обусловлена необходимостью комплексного осмысления существующих проблем функционирования системы государственных органов Республики Казахстан, а также выработки научно обоснованных рекомендаций по их решению. В условиях продолжающихся реформ государственного управления особое значение приобретает поиск эффективных механизмов повышения качества государственного управления, усиления прозрачности и подотчётности государственных органов, а также развития взаимодействия государства и общества.

Целью настоящей статьи является проведение обзорного анализа актуальных проблем системы государственных органов Республики Казахстан и определение основных направлений их решения. Для достижения поставленной цели предполагается обобщить существующие научные подходы, выявить ключевые проблемные аспекты и сформулировать предложения по совершенствованию системы государственного управления.

Материалы и методы исследования

В качестве эмпирической и теоретической базы исследования выступили научные труды отечественных и зарубежных авторов, посвящённые вопросам функционирования системы государственных органов, государственной службы, местного самоуправления и административной реформы в Республике Казахстан. В частности, были проанализированы работы Бейсембаев А. А., Жанузакова Л. Т., Dontsov S. S., Junusbekova G., Сембаев Д. К., Аблаева Э. Б., Халикова Ш., Хайдарова А., Советова М. Б., Аuezова К. Т., Асенова А. Е., Duisenov E. и Şanşarova A.. Кроме того, в качестве источников использовались нормативные правовые акты Республики Казахстан, регулирующие деятельность государственных органов и государственной службы.

Методологическую основу исследования составил герменевтический метод, позволяющий осуществить интерпретацию правовых норм, научных концепций и теоретических подходов в контексте их содержания и практического применения. Использование герменевтики обусловлено необходимостью глубокого осмысления текстов нормативных правовых актов и научных исследований, выявления их внутреннего смысла, а также установления взаимосвязей между правовыми положениями и реальной практикой функционирования государственных институтов. Данный метод позволил провести комплексный анализ существующих подходов к пониманию проблем государственной службы и системы государственных органов, а также выявить скрытые противоречия и пробелы в правовом регулировании.

Наряду с герменевтическим методом в работе использовались общенаучные методы познания, такие как анализ и синтез, обобщение и систематизация. Метод анализа применялся для детального изучения отдельных аспектов функционирования государственных органов, в то время как синтез позволил объединить полученные результаты в целостную систему научных выводов. Метод обобщения способствовал формированию общих закономерностей и тенденций развития системы государственного управления, а системный подход обеспечил рассмотрение исследуемого объекта как единого комплекса взаимосвязанных элементов.

Таким образом, использование герменевтического метода в сочетании с другими научными методами обеспечило всесторонний и глубокий анализ проблем системы

государственных органов Республики Казахстан и позволило сформулировать обоснованные выводы и практические рекомендации.

Результаты исследования

Анализ современных научных исследований показывает, что проблемы функционирования государственной службы Республики Казахстан носят комплексный и системный характер. Так, Бейсембаев А. А. рассматривает современную модель государственной службы через призму её нормативно-правового обеспечения и практики реализации. Автор отмечает, что, несмотря на наличие разветвлённой законодательной базы, сохраняются существенные проблемы, связанные с эффективностью функционирования государственного аппарата, качеством кадрового состава и механизмами реализации полномочий. Причины данных проблем он связывает с необходимостью дальнейшей модернизации системы государственного управления, а также с несоответствием отдельных элементов государственной службы современным требованиям. При этом предлагаемые им меры направлены на повышение профессионализма государственных служащих и совершенствование организационно-правовых механизмов их деятельности [1].

Значительное внимание в научной литературе уделяется вопросам развития местного самоуправления как важного элемента системы публичной власти. Жанузакова Л. Т. подробно анализирует действующее законодательство и конституционные основы функционирования местного самоуправления в Казахстане. В её работе подчеркивается, что одной из ключевых проблем является недостаточная разграниченность функций между органами местного государственного управления и институтами самоуправления. Кроме того, автор акцентирует внимание на необходимости расширения участия населения в управлении местными делами, усиления ответственности органов власти перед населением, а также совершенствования финансово-экономической базы местного самоуправления. Предлагаемые ею меры направлены на развитие демократических механизмов и повышение самостоятельности местных сообществ [2].

Проблематика взаимодействия государственных органов с институтами гражданского общества раскрывается в исследовании Dontsov S. S., который анализирует современное состояние неправительственного сектора и его роль в системе государственного управления. Автор отмечает, что, несмотря на формальное наличие правовых механизмов взаимодействия, на практике сохраняются барьеры, ограничивающие эффективное сотрудничество государства и НПО. К таким барьерам относятся недостаточная финансовая поддержка, слабая институциональная устойчивость региональных организаций и ограниченный уровень доверия между сторонами. В связи с этим предлагаются меры по развитию партнерских отношений, совершенствованию системы государственного социального заказа и поддержке инициатив гражданского общества, особенно на местном уровне [3].

Существенный блок исследований посвящён оценке эффективности деятельности государственных органов. В частности, Junusbekova G. отмечает, что в Казахстане сформирована институциональная система оценки эффективности, однако её практическая реализация сталкивается с рядом трудностей. Основной проблемой является адаптация зарубежных моделей оценки к национальным условиям, что требует учёта специфики государственного управления страны. В свою очередь, Сембаев Д. К. подчеркивает, что внедрение систематической оценки деятельности государственных органов позволило выявить ряд системных недостатков и повысить качество государственных услуг. При этом важную роль сыграло заимствование международного опыта, в частности канадской модели, которая была адаптирована к казахстанским условиям. Тем не менее,

необходимость дальнейшего совершенствования методологических подходов остаётся актуальной [4–5].

Отдельное направление исследований связано с обеспечением законности и развитием административной юстиции. Аблаева Э. Б. указывает на то, что отсутствие полноценной специализированной системы административной юстиции длительное время сдерживало развитие эффективных механизмов защиты прав граждан в сфере публичного управления. Автор акцентирует внимание на сложности внедрения новых процессуальных форм административного судопроизводства, включая вопросы подсудности и разграничения компетенции между различными органами. Это свидетельствует о необходимости дальнейшего институционального развития данной сферы и укрепления принципа верховенства закона [6].

Вопросы административной реформы и повышения эффективности государственного управления комплексно рассматриваются Халикова Ш. и Хайдарова А.. Авторы отмечают, что реформирование государственного аппарата сопровождается значительными трудностями, включая внутреннее сопротивление изменениям и сложность трансформации управленческих структур. В качестве ключевых направлений реформ выделяются демократизация управления, децентрализация, развитие института местного самоуправления, а также совершенствование кадровой политики и системы подготовки государственных служащих. Данные меры направлены на формирование эффективного и профессионального государственного аппарата [7].

Стратегические аспекты развития государственной службы анализируются Советова М. Б. и Ауезова К. Т., которые подчеркивают, что реформирование кадровой политики должно быть ориентировано на формирование нового поколения государственных служащих, обладающих высоким уровнем профессионализма и соответствующих требованиям современной экономики. Важным направлением является создание эффективной системы отбора, мотивации и профессионального развития кадров, что в конечном итоге должно способствовать повышению качества государственного управления [8].

Проблемы контрольно-надзорной деятельности государственных органов подробно рассматриваются Асенова А. Е. и соавторами. В их исследовании выявляются недостатки действующей системы контроля, включая несовершенство механизмов управления рисками и несоразмерность применяемых санкций. Авторы предлагают внедрение новых подходов к оценке рисков, оптимизацию контрольных процедур и использование международного опыта, что должно способствовать снижению административной нагрузки на бизнес и повышению эффективности государственного регулирования [9].

Завершая обзор, следует отметить вклад Duisenov E. и Şanşarova A., которые акцентируют внимание на динамичности законодательства о государственной службе. Авторы указывают, что правовое регулирование данной сферы постоянно трансформируется под влиянием изменений в общественной жизни, что требует его систематизации и уточнения. Особое внимание уделяется разграничению политических и административных должностей, а также вопросам ответственности государственных служащих, что имеет важное значение для повышения эффективности функционирования государственного аппарата [10].

Проведённый анализ научной литературы позволяет сделать вывод о том, что выявленные проблемы системы государственных органов Республики Казахстан требуют комплексного и системного подхода к их решению. В первую очередь, представляется необходимым совершенствование нормативно-правовой базы с целью устранения дублирования функций и более чёткого разграничения полномочий между уровнями и ветвями власти. Важным направлением также является дальнейшее развитие механизмов

взаимодействия государства и общества, включая расширение участия граждан и неправительственных организаций в процессе принятия управленческих решений. Существенную роль должно сыграть и углубление цифровизации государственного управления, направленное на повышение прозрачности, доступности государственных услуг и снижение административных барьеров.

Наряду с этим, особое значение приобретает совершенствование кадровой политики и системы оценки эффективности деятельности государственных органов. Повышение профессионализма государственных служащих, внедрение современных методов их подготовки, мотивации и оценки, а также адаптация международного опыта с учётом национальных особенностей способны существенно повысить качество государственного управления. Кроме того, необходимо дальнейшее развитие институтов административной юстиции и усиление механизмов контроля и подотчётности государственных органов, что будет способствовать укреплению принципов законности и доверия со стороны общества. Реализация указанных мер в совокупности позволит повысить эффективность функционирования системы государственных органов и обеспечить её соответствие современным требованиям развития государства.

Заключение

Проведённый обзор научной литературы показал, что система государственных органов Республики Казахстан находится в стадии последовательного реформирования, направленного на повышение эффективности государственного управления и укрепление принципов правового государства. Вместе с тем, несмотря на достигнутые результаты, сохраняется ряд системных проблем, связанных с недостаточной эффективностью разграничения полномочий, несовершенством механизмов взаимодействия между государственными органами и обществом, а также ограниченной результативностью отдельных институтов государственного управления.

Установлено, что ключевыми направлениями совершенствования системы государственных органов являются развитие нормативно-правовой базы, повышение прозрачности и подотчётности, внедрение цифровых технологий, а также модернизация государственной службы. Особое значение имеет адаптация международного опыта с учётом национальной специфики, что позволит избежать формального заимствования моделей и повысить их практическую эффективность.

Таким образом, дальнейшее развитие системы государственных органов Республики Казахстан должно носить комплексный характер и основываться на согласованной реализации институциональных, организационных и правовых мер. Реализация предложенных направлений будет способствовать повышению эффективности государственного управления, укреплению доверия общества к государственным институтам и обеспечению устойчивого развития страны.

Список литературы

- 1 Бейсембаев А. А. Система государственной службы Республики Казахстан: тенденции и перспективы //Вопросы государственного и муниципального управления. – 2010. – №. 3. – С. 110-124.
- 2 Жанузакова Л. Т. Проблемы формирования местного самоуправления в Республике Казахстан //Актуальные проблемы российского права. – 2014. – №. 9. – С. 1871-1876.
- 3 Dontsov S. S. Проблемы и перспективы развития взаимодействия государственных органов и неправительственных организаций Республики Казахстан //BUKETOV BUSINESS REVIEW. – 2019. – Т. 94. – №. 2. – С. 224-231.
- 4 Junusbekova G. Совершенствование системы оценки эффективности деятельности государственных органов в Республике Казахстан //Viešoji politika ir administravimas. – 2015. – Т. 14. – №. 2. – С. 250-264.
- 5 Сембаев Д. К. Оценка эффективности деятельности государственных органов Республики Казахстан: особенности действующей модели //Вестник университета «Туран». – 2018. – №. 4. – С. 223-229.
- 6 Аблаева Э. Б. Формирование системы административной юстиции в республике Казахстан: проблемы и перспективы //Проблемы экономики и юридической практики. – 2017. – №. 5. – С. 208-215.
- 7 Халикова Ш., Хайдарова А. Административная реформа в Республике Казахстан: проблемы, тенденции, перспективы //Вестник КазНУ. Серия философии, культурологии и политологии. – 2014. – Т. 47. – №. 2. – С. 198-205.
- 8 Советова М. Б., Аuezова К. Т. Основные проблемы и задачи кадровой политики государственных служащих Республики Казахстан //Вестник Политеха. – 2018. – №. 1. – С. 128-130.
- 9 Асенова А. Е. и др. Совершенствование контрольной и надзорной деятельности государственных органов в Республике Казахстан //Новости науки Казахстана. – 2016. – №. 3 (129). – С. 24.
- 10 Duisenov E., Şanşarova A. Проблемы совершенствования законодательства о государственной службе в Республике Казахстан //Revista Moldovenească de Drept Internațional și Relații Internaționale. – 2013. – Т. 29. – №. 3. – С. 108-114.

International Legal Foundations for the Protection of the Rights of Convicted Persons: Principles, Standards and Mechanisms

Boroyev Ali Ahmadovich

Master's Degree Candidate in Transnational Criminal Law, Baku State University, Azerbaijan

Abstract. This article offers a comprehensive analysis of the international legal foundations for the protection of the rights of convicted persons. The study examines the fundamental principles of international law applicable to the execution of sentences — humanism, non-discrimination and normalisation — and identifies the dual nature of international penitentiary standards, divided into legally binding "hard law" norms and recommendatory "soft law" instruments. Particular attention is given to the role of the United Nations Standard Minimum Rules for the Treatment of Prisoners (the Nelson Mandela Rules) and the European Prison Rules as the principal regulators of the legal status of convicted persons. The two-tier architecture of supervisory mechanisms is examined systematically: the universal tier is represented by UN treaty bodies, while the regional tier is embodied in the European Court of Human Rights (ECtHR) and the European Committee for the Prevention of Torture (CPT). The author concludes that the system of international guarantees forms a supranational layer of protection for the legal status of convicted persons, which is of particular importance in the implementation of transnational penitentiary procedures.

Keywords: international legal standards; rights of convicted persons; principles of penitentiary law; Nelson Mandela Rules; ECtHR; supervisory mechanisms; transnational criminal law.

Introduction. The relevance of the present study is conditioned by the rapid processes of globalisation, which significantly complicate the legal position of persons serving criminal sentences. A person convicted of an offence involving a foreign element, or serving a sentence outside the territory of their own State, finds themselves in a vulnerable situation in which the application of domestic legal guarantees is frequently insufficient. In such circumstances, the international legal foundations for the protection of convicted persons' rights — universal principles, standards of treatment and supervisory mechanisms — cease to be a purely theoretical construct and become practically indispensable instruments.

The research problem is defined by the fact that, notwithstanding the extensive normative framework developed within the UN and the Council of Europe, the mechanisms for implementing international penitentiary standards remain imperfect. The dual nature of these standards — the coexistence of legally binding conventions and recommendatory "soft law" instruments — creates difficulties in their practical application. The aim of this article is to conduct a comprehensive analysis of the international legal principles, standards and mechanisms for the protection of convicted persons' rights. To achieve this aim, the following are examined in sequence: the system of principles of international penitentiary law; the role of specific international standards in regulating the legal status of convicted persons; and the architecture of universal and regional supervisory mechanisms.

The foundation of the international legal protection of convicted persons consists of basic, peremptory principles (*jus cogens*) that determine the direction of development of both national and transnational criminal enforcement law. The principle of humanism and respect for human dignity occupies a central position in this regard. In international law, this principle was first enshrined in mandatory terms in Article 10 of the International Covenant on Civil and Political Rights (ICCPR) of 1966, which provides: "All persons deprived of their liberty shall be treated with humanity and with respect for the inherent dignity of the human person." This means that no matter how grave the offences committed, the State has no right to subject a convicted person to measures that negate their human worth.

This foundational principle finds its elaboration in specialised sectoral principles, the most important of which are non-discrimination and normalisation. Rule 2 of the United Nations Standard Minimum Rules for the Treatment of Prisoners (the Nelson Mandela Rules) prohibits discrimination on grounds of race, colour, sex, language, religion or national origin. For transnational criminal law, this principle is of decisive importance, as it guarantees that foreign convicted persons will not be subjected to worse treatment than nationals of the State in which the sentence is being served (*lex loci executionis*). Rule 5 of the same instrument establishes the normalisation principle, which requires that the prison regime minimise, to the greatest extent possible, any differences between life in custody and life in free society, so as not to aggravate the suffering already inherent in deprivation of liberty [4, p. 15].

In international penitentiary doctrine, the system of principles is conventionally divided into two groups: generally recognised (fundamental) human rights principles, and special (sectoral) penitentiary principles.

Generally recognised principles possess the highest legal force and may not be restricted under any circumstances. The pivotal principle of this group is humanism and respect for human dignity. Inextricably linked to it is the principle of the absolute prohibition of torture, enshrined in Article 5 of the Universal Declaration of Human Rights of 1948 and elaborated in the UN Convention against Torture of 1984. For transnational law, this principle constitutes an absolute barrier: it categorically prohibits the surrender or transfer of a person to a jurisdiction in which that principle may be violated [5, p. 5; 6, p. 1]. The third fundamental principle is non-discrimination, expressly provided for in Rule 2 of the Nelson Mandela Rules of 2015, which guarantees that the status of a foreign convicted person will not be diminished solely on the basis of their nationality.

Special (sectoral) penitentiary principles reflect the specific character of isolation from society. The principal achievement of contemporary international law in this sphere is the normalisation principle. Rule 4 of the Nelson Mandela Rules and Rule 6 of the European Prison Rules establish that the supreme purpose of deprivation of liberty is to protect society from crime, which is achievable only by returning the convicted person to society as a law-abiding citizen. In transnational criminal law, it is precisely the principle of social reintegration (resocialisation) that underpins the mechanism for the transfer of convicted persons (whether by extradition or transfer): the international community recognises that reintegration is most effective in the State with which the individual has strong social, linguistic and cultural ties — that is, the State of which they are a national [4, p. 15].

Whereas international legal principles establish the fundamental philosophical and legal basis for the treatment of persons deprived of their liberty, international standards serve the function of a practical toolkit. In the doctrine of international criminal enforcement law, standards are understood as fixed normative prescriptions establishing the minimum permissible level of protection of human rights in conditions of detention. Within the international legal system, these standards have a dual nature: "hard law" norms — legally binding international treaties and

conventions — and "soft law" instruments — resolutions, sets of rules, declarations and recommendations adopted by authoritative international organisations such as the UN and the Council of Europe.

"Soft law" plays a particularly dominant role in the penitentiary sphere. This is because universal conventions cannot, and indeed should not, regulate the smallest everyday aspects of the execution of sentences — a gap filled by specialised sets of rules. At the international level, the principal instrument is the UN Standard Minimum Rules for the Treatment of Prisoners (the Nelson Mandela Rules), comprehensively revised in 2015. At the regional level, the benchmark standard is the European Prison Rules (Recommendation Rec(2006)2 of the Committee of Ministers of the Council of Europe). These instruments provide detailed guidance on the classification of prisoners, the maintenance of discipline, healthcare and other matters, and expressly regulate the procedures for contact between foreign prisoners and the diplomatic representations of their States [4, p. 15; 2, p. 10].

Although "soft law" instruments are formally recommendatory in character, their actual legal force in transnational criminal law is considerable, for two principal reasons. First, they serve as a template for incorporation into national legal systems: several progressive provisions of the Code on the Execution of Punishments of the Republic of Azerbaijan — particularly those extending rights to contact with the outside world — are a direct reception of European standards. Second, the process of transforming "soft law" into binding law occurs through the case law of international judicial bodies: when adjudicating cases, the ECtHR consistently uses the European Prison Rules and the reports of the European Committee for the Prevention of Torture (CPT) as objective criteria for the interpretation of Article 3 of the European Convention on Human Rights (ECHR). Where conditions of detention — for example, cell space or sanitary standards — fall short of these benchmarks, the Court treats this as inhuman or degrading treatment, which entails an absolute bar on the extradition or transfer of a person to that State [1, p. 2].

To ensure the effective operation of principles and standards, international law has developed a two-tier architecture of mechanisms for the protection of convicted persons' rights: a universal tier (within the framework of the United Nations) and a regional tier (within the framework of the Council of Europe). In transnational criminal law, these institutions serve as supranational arbiters to which a convicted person may have recourse once all available domestic remedies have been exhausted.

The universal mechanism is based on the work of the UN treaty bodies. A central role is played by the UN Human Rights Committee, which is empowered to receive individual communications (complaints) alleging violations by States of the provisions of the ICCPR of 1966. The UN Committee against Torture (CAT) also carries specialised importance in the penitentiary sphere. The adoption of the Optional Protocol to the Convention against Torture (OPCAT) in 2002 constituted a revolutionary step in the development of universal guarantees, establishing the Subcommittee on Prevention of Torture (SPT), endowed with a unique mandate to conduct preventive visits to any place of deprivation of liberty in States Parties without prior notice. This approach makes it possible to detect systemic violations of the rights of convicted persons — including foreign nationals — before they become the subject of adversarial proceedings.

The regional mechanism — that of the Council of Europe, whose jurisdiction extends to the Republic of Azerbaijan — is of a more rigorous and legally binding character. Judicial oversight is exercised by the European Court of Human Rights (ECtHR), whose judgments are binding on member States. The ECtHR has developed an extensive body of case law on matters of extradition, transfer, and conditions of detention of convicted persons. Applying the principle of non-refoulement, the Court categorically bars the surrender or transfer of persons to States where they face a risk of violation of Article 3 of the ECHR, which provides that no one shall be subjected to torture or to inhuman or degrading treatment or punishment. Alongside judicial oversight,

preventive institutional control is exercised by the European Committee for the Prevention of Torture (CPT). Unlike the ECtHR, which responds to violations after the fact, the CPT adopts a proactive approach: its delegations regularly inspect penitentiary establishments in Council of Europe member States, assessing the conditions of detention of foreign convicted persons and their access to consular assistance, interpreters and healthcare, and publishing reports containing mandatory instructions for governments [3, p. 200; 2, p. 10].

Conclusion. The analysis conducted allows for the conclusion that the international legal foundations for the protection of convicted persons' rights constitute a coherent three-tier system: fundamental principles (humanism, non-discrimination, normalisation, resocialisation) define the value framework; international standards — both binding conventions and authoritative "soft law" instruments — operationalise those principles; and the supervisory mechanisms of the UN and the Council of Europe transform declaratory norms into effectively protected legal guarantees.

A conclusion of particular importance is that "soft law" in the penitentiary sphere carries significant normative potential: the consistent application of the Nelson Mandela Rules and the European Prison Rules in ECtHR case law effectively transforms them into mandatory benchmarks for assessing the permissibility of extradition and transfer. Accordingly, the system of international guarantees forms a supranational layer of protection for the legal status of convicted persons — a layer that acquires special significance in the context of the transnationalisation of crime and the growing proportion of foreign nationals within the penitentiary systems of States.

REFERENCES

1. Code on the Execution of Punishments of the Republic of Azerbaijan. – Baku: Qanun, 2024. – 256 p.
2. European Prison Rules (Recommendation Rec(2006)2). // Council of Europe. – 2006.
3. Schabas W.A. The European Convention on Human Rights: A Commentary. / W.A. Schabas. – Oxford: Oxford University Press, 2015. – 1312 p.
4. UN Standard Minimum Rules for the Treatment of Prisoners (Nelson Mandela Rules). // UN Resolution 70/175. – 2015.
5. United Nations Charter. // 1 UNTS XVI. – 1945.
6. Universal Declaration of Human Rights. // UN General Assembly Resolution 217 A (III). – 1948.

Journalism

UNIVERSITY NEWS AND PUBLICITY OPTIMIZATION: DEVELOPING A STRATEGIC FRAMEWORK

Li Xiaofeng

Al-Farabi Kazakh National university, Social and educational work faculty of journalism

Introduction

In the context of the rapid development of digital technologies in the educational field and the growing competition between higher education institutions, there is an urgent need for effective optimization of university news and advertising communications.

The relevance of this study is explained by the fact that modern universities are not only educational, but also information and communication brands. The quality, speed and strategic orientation of news content directly affect the recognition, reputation and attraction of applicants.

In this regard, the question arises: how to develop and implement a strategic framework for optimizing university news and advertising in order to increase their effectiveness and purposefully influence the audience?

The purpose of this research is to create a strategic platform for optimizing university news and advertising materials, contributing to an increase in their informational and marketing value. To achieve the purpose of the study, several tasks were set for themselves:

1. To analyze the existing approaches to the creation of university news and advertising materials.
2. Develop recommendations for their strategic optimization, taking into account current trends in digital media.

The scientific novelty of our research lies in the fact that we systematized existing methods of managing information flows at universities and created a comprehensive strategic model that combines elements of marketing, PR and digital communications in the educational field.

Thus, our work is aimed at forming a holistic approach to improving the effectiveness of university media communications in modern conditions.

Literature review

A review of the scientific literature on the topic allows us to conclude that researchers in the field of university branding and marketing communications consider the university as an active participant in the competitive market of educational services.

In the works of H. Yaping and his colleagues emphasize that the university brand is formed through a system of positioning, marketing communications and visual identity[1]. The key problem is the lack of a comprehensive approach to communications management, including news and advertising channels. The authors note that many universities use disparate promotion tools, which reduces the effectiveness of information impact and leads to inconsistencies in messages for target audiences.

In their research, Schlesinger W., Cervera-Taulet A., Wymer W. emphasize that the formation of a university brand is inextricably linked to the perception of students and applicants, as well as the level of trust in the institution[2]. There is a problem that universities often underestimate the importance of internal and external communication, including news content,

which must be integrated into a brand strategy. This leads to a decrease in the level of audience engagement and a weakening of the competitive positions of universities in the educational market.

Research by Chaudhary R. K. demonstrates that digitalization significantly enhances the role of content marketing and online communications. In particular, they note that digital tools such as social media, websites, SEO and content platforms are becoming the main channels for the dissemination of university news and advertising[3]. Their use is often fragmented and not integrated into a single strategic system. This leads to a decrease in the effectiveness of communications and insufficient adaptation of content to different audience segments.

An analysis of the scientific literature allows us to conclude that the key problem in the field of university marketing is the lack of a comprehensive strategic model for optimizing news and advertising activities that would combine branding, PR and digital marketing.

The authors agree that universities need to move from disparate communication practices to integrated strategic information management systems. This approach will increase the university's recognition, strengthen the audience's trust and ensure more effective promotion of educational services in a highly competitive environment.

In the works of H. Yaping and his colleagues emphasize that the university's brand is created thanks to a well-thought-out positioning system, effective marketing communications and a vibrant visual identity. This approach is largely based on the classical theory of branding, in particular on the concept of brand identity, which states that a sustainable brand is formed through a harmonious combination of all elements of communication.

The main problem remains the lack of an integrated approach to communications management, including news and advertising channels. Many universities still use disparate promotion tools, which reduces their effectiveness and leads to inconsistent messages for the target audience.

The research of Schlesinger U., Server-Taulet A. and Wymer U. is based on the theory of consumer relations (relationship marketing), which emphasizes trust and long-term interaction with the audience. The authors note that the formation of the university's brand directly depends on the perception of students and applicants, as well as on the level of trust in the educational institution.

Many universities underestimate the importance of internal and external communication, including news content, which must be integrated into a brand strategy. The lack of a systematic approach to communication reduces audience engagement and may weaken the university's competitive position in the educational services market.

R. K. Chaudhary draws on the ideas of digital marketing and content management. He draws attention to the fact that in the era of digitalization, online communications are playing an increasingly important role.

Social networks, websites, SEO and digital platforms are becoming the main channels for the dissemination of university news and advertising. However, their use is often fragmented, without combining into a single strategy. This leads to a decrease in the effectiveness of communications and a decrease in opportunities for personalization of content.

The theory of integrated marketing communications (IMC) emphasizes that all channels of interaction with the audience should work as a single system. This is the only way to achieve consistent messages and strengthen the brand. In the context of universities, this theory is particularly important because educational institutions interact with a variety of stakeholders: students, applicants, teachers, employers, and the government.

Building upon the analysis of these scholarly perspectives, a groundbreaking theoretical framework for the research is proposed – a comprehensive model for the strategic optimization

of university communications and marketing efforts. This model integrates concepts from branding, integrated communication, and digital marketing, forming a cohesive framework.

The model comprises three interconnected components (figure 1).

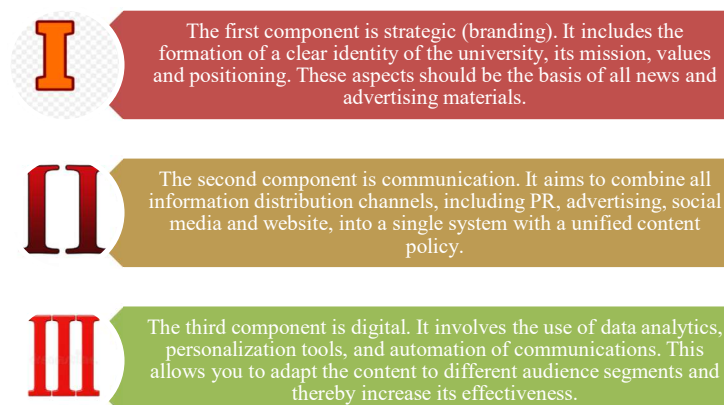


Figure 1 – An integrative model for strategic optimization of university news and advertising

Source: compiled by author

This model is not only theoretical, but also has significant practical significance, as it offers a comprehensive approach to solving key problems of university communications.

First of all, the implementation of this model helps to increase the consistency of the university's information policy. The integration of branding, news and advertising eliminates the fragmentation of messages, creating a single and recognizable image of the university in the minds of the target audience.

Secondly, the model increases the efficiency of communications. Combining all channels such as the website, social networks, PR and advertising into a single system allows you to enhance the informational effect of each message, reduce duplication of content and improve its quality.

Thirdly, thanks to the introduction of digital technologies, the model provides a more personalized interaction with the audience. Data analysis and modern tools allow you to adapt news and advertising messages to different segments: applicants, students, and partners. This significantly increases the level of engagement and response.

The implementation of the model helps to strengthen the university's brand and increase trust. Consistent and transparent communication forms a stable perception of the university as a reliable and modern educational institution.

From a practical point of view, the model also provides the following advantages:

- Increasing the competitiveness of the university in the educational market.
- An increase in the number of applicants due to more accurate and effective promotion.
- Improving the reputation in the national and international educational space.
- Optimization of marketing costs through more rational use of communication channels.

Thus, the proposed model makes it possible to move from the chaotic use of news and advertising to the creation of a strategically managed communication system. Each element of this system is aimed at achieving a single goal – strengthening the brand and improving the effectiveness of interaction with the audience.

The practical experience of leading universities proves the effectiveness of the proposed approach. For example, Harvard University in the USA has created a centralized digital ecosystem that combines news content, scientific publications and promotional materials in one platform. This ensures high consistency of communications.

Oxford University in the UK actively uses a storytelling strategy, turning scientific achievements and university events into fascinating stories. This approach increases audience engagement and strengthens the emotional connection with the brand.

The National University of Singapore demonstrates an effective data-driven approach to work. The University uses big data analytics and artificial intelligence to segment the audience and personalize communications, including newsletters and advertising campaigns.

The University of Hong Kong is also demonstrating its success by implementing a centralized content management system. This system provides uniform information standards for all departments, which helps to strengthen brand unity and reduce information overload.

Another example is the active participation of universities in interuniversity networks within the framework of European programs such as Erasmus+. In these networks, universities coordinate their communication strategies and use common digital platforms to promote educational opportunities internationally.

An analysis of scientific literature and practical examples allows us to conclude that one of the main problems of university marketing is the lack of a holistic strategy for optimizing news and advertising activities.

To solve this problem, it is possible to create an integrated communications management system that combines branding, PR and digital marketing. This will help move from disparate communication practices to a unified strategic model that will increase the university's visibility, strengthen audience trust, and effectively promote educational services in a globally competitive environment.

Research methodology

Two main methods are used in this study: case study and PESTEL analysis. These methods allow us to comprehensively study the problem of optimizing university news and advertising communications.

The first method is the case method, which involves a comparative analysis of two universities that differ in terms of digital development and approaches to communication strategy. For example, the Al-Farabi Kazakh National University and Beijing University can be considered as research objects.

This method allows you to study the real practices of organizing news content, the structure of PR services, as well as the use of social networks, official websites and advertising campaigns. In the process of analysis, it is possible to identify differences in the strategic approach: in one case, communications can be centralized, systemic and focused on brand strategy, while in the other, fragmented and mainly informational, without a clear marketing focus. This comparative analysis helps to identify the advantages and disadvantages of existing models and identify best practices that can be used to improve university news and advertising.

Within the framework of this study, the use of PESTEL analysis allows not only to assess the external conditions in which university communications operate, but also to create a strategic foundation for optimizing university news and advertising, taking into account key external factors.

At the initial stage, taking into account the political aspects, the strategic foundation should include the adaptation of university communications to the state educational policy and the requirements of openness of information. This implies the creation of official, reliable and regular news content that meets regulatory requirements and maintains the university's reputation as an open institution. Thus, the strategic foundation should consolidate the principles of openness of information and institutional responsibility.

In the second stage, taking into account the economic aspects, the strategy should include a reasonable allocation of resources between digital marketing and news platforms. This means that investments in online communications (website, social media, targeted advertising) should be prioritized over traditional channels.

The strategic framework should include a communications budgeting model that will focus on effective coverage and return of information impact.

At the third stage, taking into account the social aspects, the strategic framework should be aimed at interacting with the target audience, especially with generation Z. To do this, it is necessary to develop a content strategy based on visualization, brevity, interactivity and regularity of publications. The strategy should define the principles of news personalization, storytelling, and content adaptation for various digital platforms.

At the fourth stage, taking into account technological aspects, the strategic foundation should include the introduction of digital tools for content management: content management systems (CMS), data analysis, artificial intelligence for creating and optimizing news materials, as well as automation of publications on social networks. This makes it possible to speed up and improve the exchange of information, as well as make it possible to measure the effectiveness of communications.

At the fifth stage, taking into account environmental aspects, the strategic foundation should facilitate the transition to digital and paperless communications. This implies a reduction in print advertising and the development of reliable digital promotion channels. In this case, the university's communication strategy becomes part of the policy of sustainable development and environmental responsibility.

At the sixth stage, taking into account the legal aspects, the strategic foundation must ensure compliance with legislation in the field of advertising, copyright and personal information protection. This implies the development of rules for the publication of news, privacy policy and content moderation, which reduces legal risks and strengthens trust in the university's communications.

Thus, combining all the elements of the PESTEL analysis makes it possible to create a comprehensive strategic framework for improving university news and advertising, which combines regulatory stability, economic efficiency, social relevance, technological modernity, environmental responsibility and legal protection.

Results and discussion

The optimization of news and advertising communications at Al-Farabi Kazakh National University consists in the transition to a more well-coordinated and manageable system. Information materials are no longer just a report on events and begin to play a strategic role in promoting the university.

This is achieved by creating a logically consistent content stream that will be targeted at different audience categories. The emphasis is on the relevance, visual appeal and practical significance of news through social media.

At the same time, the role of digital channels is increasing, where content is adapted to the format of each platform. Advertising activities are becoming continuous and purposeful, including the use of targeted tools and the promotion of key educational products. A distinctive feature is the integration of news and advertising directions into a single communication system. Each published material is aimed at creating a sustainable image, improving recognition and increasing the competitiveness of the university.

Optimization of news and advertising communications at Beijing University is carried out within the framework of the already established digital ecosystem, which allows for more accurate and effective interaction with the audience.

The University is actively implementing analytical tools and big data to gain a deeper understanding of the interests of various target groups. This makes it possible to create personalized content tailored to specific segments, including international students and the academic community.

News materials are integrated into a global communication strategy that takes into account the cultural and linguistic characteristics of different countries, which strengthens the university's international positioning. The university's advertising campaign is organized

systematically and is carried out continuously. It uses modern digital channels and formats such as video content, interactive platforms, and virtual interaction tools. Due to this, the level of audience engagement remains high, and the university's brand is actively promoted on the global market.

Within the framework of this study, a comparative analysis reveals key differences in approaches to optimizing news and advertising processes. The table 1 below demonstrates the main parameters by which these universities differ in terms of effectiveness and strategic maturity of communications.

Table 1 – Comparative analysis of university news and advertising optimization

Criteria	KazNU	Beijing University
Approach to News	Primarily informational	Strategic and image-oriented
Audience Segmentation	Limited or отсутствует	Clearly defined segmentation
Communication Channels	Mainly website and some social media	Multichannel system (website, social media, video, international platforms)
Content	Event-based descriptions	Storytelling, brand content, scientific achievements
Advertising Strategy	Episodic, seasonal	Systematic, year-round
Integration of News and Advertising	Medium	High level of integration
Use of Technology	Limited	Active (analytics, AI, digital tools)
International Orientation	Medium	High

Source: compiled by author on the data [4-6]

The comparison shows that Al-Farabi Kazakh National University is currently at the stage of developing a strategic approach to communication, while Beijing University has already implemented a comprehensive and integrated model. This indicates that the main focus for optimization at Al-Farabi Kazakh National University should be on adopting best practices, such as digitalization, audience segmentation, integrating news and advertising, and transitioning to a systematic communication strategy.

The results of the PESTEL analysis, conducted taking into account the comparative analysis of Al-Farabi Kazakh National University and Beijing University, show that the differences in the level of optimization of news and advertising communications are largely due to the influence of the external environment and the degree of adaptation of universities to its requirements(table 2).

Factor	KazNU	Beijing University
Political	Operates under state regulation; communications are primarily formal and informational	Actively uses communications as a tool of national and international education policy
Economic	Limited investment in digital marketing; constrained resources	High level of investment in digital technologies and global promotion
Social	Focus on a broad audience; medium content personalization	Clear audience segmentation and personalized communication strategies
Technological	Limited use of analytics and digital tools	Active use of analytics, artificial intelligence, and digital platforms
Environmental	Gradual transition to digital formats	Systematic implementation of digital and sustainable communication practices
Legal	Compliance with basic regulatory requirements	Well-developed system of regulations and communication standards

Source: compiled by author on the data [7-8]

PESTEL analysis has a significant impact on the formation of a strategic concept for optimizing university news and advertising. This analysis allows us to take into account the external factors that shape the conditions in which the university's communication system operates. Within the framework of this research, it acts as a tool for identifying the limitations, opportunities and directions of communication policy development.

Political factors determine the requirements for information transparency and compliance with state educational standards, which sets the basic framework for the strategic model. Economic factors influence the level of resource provision and, as a result, the scale of digital marketing and advertising campaigns, which, in turn, affects the choice of promotion tools. Social factors dictate the need to target a digital audience and introduce personalized content, which is becoming one of the key elements of the strategic framework.. Technological factors determine the path to digital transformation of communications, including the use of analytics, automation and artificial intelligence. This allows you to significantly improve the efficiency of news and advertising processes.

Environmental factors play a key role in integrating the principles of sustainable development and the transition to digital communication channels, which reduces dependence on traditional media.

Legal factors play an important role in complying with regulatory requirements in the field of advertising and information activities, which ensures the legal reliability of the strategy.

Thus, PESTEL analysis is a systematic approach to substantiating a strategy, allowing us to develop a comprehensive model for optimizing university communications that takes into account the external environment and ensures their long-term effectiveness.

The discussion of the results obtained using the case method and PESTEL analysis allows for a comprehensive assessment of the process of creating a strategic framework for optimizing university news and advertising.

A comparative analysis of Al-Farabi Kazakh National University and Beijing University has shown that the main difference between these universities lies in the level of strategic integration of communications. KazNU is at the stage of transition from an information model to a system model, while Peking University is already applying a mature digital and marketing-oriented model.

This indicates not only differences in management practices within universities, but also their ability to adapt to the global demands of the digital age.

The results of the PESTEL analysis confirm this conclusion, demonstrating that external factors play a key role in shaping communication strategies. Political and legal conditions determine the scope of information activities, economic factors affect the level of available resources, social changes require personalization of content, and technological progress is becoming the main incentive for the transformation of university communications.

It is noteworthy that it is technological and social factors that are most significant in explaining the differences between the universities studied. They directly affect the quality of news content and the effectiveness of advertising campaigns, which, in turn, affects the performance of universities and their market positioning.

Comparing the results of the two methods shows that they complement each other. Case analysis reveals internal differences in communication strategies, while PESTEL analysis explains these differences through the influence of the external environment.

Thus, it can be concluded that the development of a strategic framework for optimizing university news and advertising should include both internal management practices and external contextual analysis. This will create a more stable and adaptive communication model that can function effectively in the context of the digital transformation of higher education.

Conclusion

In conclusion, I would like to note that the research conducted on this topic made it possible to comprehensively consider the problem under study by combining the case method and PESTEL analysis. The results showed that the effectiveness of university communications directly depends on the level of their strategic integration, digital maturity, and ability to adapt to changes in the external environment.

A comparison of al-Farabi Kazakh National University and Beijing University revealed a gap between information and strategically oriented communication models. This confirmed the need for a transition to a unified news and advertising management system based on digital technologies, audience segmentation and integration of marketing tools.

The theoretical significance of the research lies in the fact that it systematizes approaches to optimizing university communications and combines the concepts of marketing, PR and strategic management within a single model. The practical significance of the research lies in the fact that its results can be used to increase the effectiveness of news and advertising campaigns of universities, improve their image, increase audience engagement and increase competitiveness in the educational market.

The prospects for future research are related to the development of digital technologies such as artificial intelligence, automation of content management and the use of big data to personalize communications. This topic will become even more relevant in the future, given the growing global competition between universities and the increasing importance of digital branding in higher education.

The results of the study indicate that the optimization of university news and advertising is an important strategic direction that determines the sustainable development of modern educational organizations.

References

1. Yaping X. et al. University brand: A systematic literature review //Heliyon. – 2023. – T. 9. – №. 6.
2. Schlesinger W., Cervera-Taulet A., Wymer W. The influence of university brand image, satisfaction, and university identification on alumni WOM intentions //Journal of Marketing for Higher Education. – 2023. – T. 33. – №. 1. – P. 1-19.
3. Chaudhary R. K. How SEO Impacts on Websites Rank? //Multi-Disciplinary Explorations: The Kasthamandap College Journal. – 2024. – T. 2. – №. 2. – P. 161-174.
4. Zarubina V. et al. Digital transformation of the promotion of educational services of Kazakhstani universities //Journal of Innovation and Entrepreneurship. – 2024. – T. 13. – №. 1. – P. 3.
5. Abazov R. Developing a brand creation and PR strategy for media education //Bulletin of Journalism. – 2025. – Vol. 78. – No. 4. – P. 4-15.
6. Chan T. C., Xiao H. How a University in China Enhances Its Institutional Publicity //Exploring Knowledge Production and Policy Shifts in Global Higher Education. – IGI Global Scientific Publishing, 2026. – P. 267-298.
7. Qiping Y., White G. The 'marketisation' of Chinese higher education: a critical assessment //People's Republic of China, Volumes I and II. – Routledge, 2023. – P. Vol1: 409-Vol1: 430.
8. Duan K. et al. A Survey on the Employment Outlook of Senior Students in Beijing Universities--Taking Beipec College of Economics and Management as an Example. – 2024.

Physical and Mathematical Sciences

УДК 372.853

ДЕМОНСТРАЦИЯЛЫҚ ТӘЖІРИБЕЛЕРДІ КӨРСЕТУ ӘДІСТЕРІ

Рахымбеков Айтбай Жапарович

ф-м.ғ.к., доцент, қауымдастырылған профессор

Аралова Динара Кувондиқовна

І.Жансүгіров атындағы Жетісу университетінің физика және математика кафедрасының студенті

Шаймардан Құралай

І.Жансүгіров атындағы Жетісу университетінің физика және математика кафедрасының студенті

Аннотация: Бұл мақалада мектептегі оқушыларға физикадағы көрсетілетін тәжірибені түсінуге дайын болу керектігі, яғни тәжірибені жасамас бұрын осы тәжірибеден оқушылар қандай құбылысты немесе заңдылықты түсіну керектігін алдын-ала түсіндіріп беретін әдістер баяндалған.

Кілттік сөздер: модель, демонстрация, виртуалды, эксперимент, нысана, тәжірибе.

КІРІСПЕ

Демонстрациялық тәжірибе (яғни демонстрациялық эксперимент) – арнайы күрделі құрал-жабдықтарды пайдалана отырып, мұғалімнің бүкіл сыныпқа бір мезгілде көрсететін тәжірибесі. Мұндай тәжірибелер әдетте оқушылардан белгілі бір қашықтықта (шамамен 1–9 метр аралығында) жүргізіліп, баршаға айқын көрінетіндей ұйымдастырылады. Оларды тиімді өткізу үшін мұғалімнен жоғары деңгейдегі кәсіби шеберлік пен тәжірибе талап етіледі.

Физика пәнінің оқу бағдарламасында әр сынып пен бөлімге сәйкес демонстрациялық тәжірибелердің арнайы тізімі беріледі. Бұл тізімге ғылымның дамуына негіз болған классикалық тәжірибелер енгізілген. Атап айтқанда, Галилео Галилей, Генри Кавендиш, Отто Штерн, Шарль Кулон, Ханс Кристиан Эрстед, Майкл Фарадей, Генрих Герц, Александр Столетов сияқты ғалымдардың тәжірибелері кеңінен қолданылады. Сонымен қатар, Петр Лебедев, Роберт Милликен және Эрнест Резерфорд жүргізген күрделі тәжірибелерді қазіргі таңда бейнефильмдер немесе компьютерлік модельдеу арқылы көрсету тиімді болып саналады[1].

Физикалық құбылыстар мен заңдылықтарды түсіндіру барысында демонстрациялық эксперименттер мұғалімнің түсіндірмесімен тығыз байланыста жүргізіледі. Бұл тәсіл оқушылардың ғылыми ұғымдарды дұрыс әрі терең меңгеруіне ықпал етеді. Сондықтан демонстрациялық тәжірибелер сабақтың маңызды құрамдас бөлігі болып табылады және жаңа тақырыпты түсіндіру кезінде мұғалімнің әңгімесімен, түсіндіруімен қатар жүзеге асырылады.

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Физиканы оқыту әдістемесінде әрбір тақырыпқа байланысты көптеген тәжірибелер ұсынылады. Алайда олардың барлығын бірдей қолдану тиімді емес, сондықтан мұғалім тәжірибелерді саналы түрде іріктей білуі тиіс. Таңдалған тәжірибе алдыңғы сабақтарда

қарастырылған материалмен өзара логикалық байланыста болғаны дұрыс. Сонымен қатар тәжірибелердің саны шамадан тыс көп болмауы керек, олар жаңа тақырыпты түсіндіруге, бекітуге және негізгі ойды қорытындылауға қызмет етуі тиіс.

Мысалы, Архимед заңын түсіндіруде қолданылатын қарапайым әрі қолжетімді «Архимед шелегі» арқылы жасалатын тәжірибелердің ішінен ең мазмұндысын ғана таңдаған жөн. Демонстрациялық экспериментті ұйымдастыруда бірқатар маңызды әдістемелік талаптар сақталуы қажет. Ең алдымен, оқушылар тәжірибені қабылдауға дайын болуы керек. Яғни тәжірибені бастамас бұрын мұғалім оның мақсатын, қандай құбылыс немесе заңдылық көрсетілетінін алдын ала түсіндіріп бергені дұрыс.

Қажет болған жағдайда тақтаға сызба салып, тәжірибеден қандай қорытынды шығатынын айтып өту тиімді. Егер тәжірибе күрделі болса, оны бірнеше кезеңге бөліп, әр бөліктің мақсатын жеке-жеке түсіндіру ұсынылады. Мысалы, Ом заңын дәлелдеуге арналған тәжірибе осылай кезең-кезеңімен көрсетіледі. Қолданылатын құрал-жабдықтар мүмкіндігінше қарапайым әрі түсінікті болуы керек. Мұғалім олардың жұмыс істеу принципін толық меңгергені маңызды[2].

Сонымен қатар тәжірибе сыныптағы барлық оқушыға анық көрінуі тиіс. Егер оқушылар тәжірибені өз көздерімен бақылай алмаса, оның тиімділігі төмендейді. Көрнекілікті арттыру үшін түрлі экрандар, биіктеткіш құрылғылар немесе боялған сұйықтықтар қолдануға болады. Мысалы, қатынас ыдыстарды көрсеткенде суды бояу арқылы деңгей айырмасын айқынырақ көрсетуге болады.

Тәжірибені көрсету қарқыны да маңызды рөл атқарады. Ол мұғалімнің түсіндіру жылдамдығына және оқушылардың қабылдау деңгейіне сай болуы тиіс. Егер тәжірибе тым жылдам көрсетілсе, оны қайталап көрсету қажет. Ал шамадан тыс ұзақ тәжірибелер оқушылардың қызығушылығын төмендетуі мүмкін. Қондырғыларды мүмкіндігінше оқушылардың көз алдында құрастыру ұсынылады, өйткені бұл олардың түсінуін жеңілдетеді. Тек күрделі жағдайларда ғана алдын ала дайындауға болады, мысалы электр тізбектерін жинақтағанда.

Сонымен бірге тәжірибелер нанымды, нақты әрі түсінікті болуы тиіс. Яғни таңдалған нұсқа зерттелетін құбылысты дәл және айқын көрсетуі керек. Қолданылатын құралдардың сенімділігіне де ерекше көңіл бөлінеді: олар алдын ала тексеріліп, бірнеше рет сынақтан өткізілуі қажет. Ақырында, қауіпсіздік талаптарын сақтау – ең маңызды шарттардың бірі. Электр құралдарымен, жылу көздерімен, сәуле шығаратын құрылғылармен немесе химиялық заттармен жұмыс істегенде барлық қауіпсіздік шаралары алдын ала ойластырылып, қатаң сақталуы тиіс[3].

Қазіргі білім беру үдерісінде демонстрациялық тәжірибелер оқытудың маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Әсіресе физика, химия сияқты жаратылыстану пәндерінде тәжірибе көрсету арқылы оқушылардың теориялық білімін нақтылап, олардың пәнге деген қызығушылығын арттыруға мүмкіндік туады. Демонстрациялық тәжірибелер – оқытушының жетекшілігімен жүргізілетін, оқушыларға белгілі бір құбылысты немесе заңдылықты көрнекі түрде түсіндіруге бағытталған әдіс.

Демонстрациялық тәжірибелерді тиімді көрсету үшін ең алдымен олардың мақсаты нақты анықталуы қажет. Әрбір тәжірибе жаңа тақырыпты түсіндіру, бұрынғы білімді бекіту немесе қорытындылау кезеңдеріне сәйкес таңдалады. Сонымен қатар тәжірибелер оқу материалының мазмұнымен логикалық байланыста болуы тиіс. Бұл оқушылардың білімін жүйелі түрде қалыптастыруға ықпал етеді. Демонстрациялық тәжірибелерді көрсету әдістерін бірнеше түрге бөлуге болады.

Біріншісі – **көрсетілім арқылы түсіндіру әдісі**. Бұл жағдайда мұғалім тәжірибені өзі орындап, оның барысын түсіндіреді. Оқушылар бақылаушы ролінде болады. Бұл әдіс күрделі немесе қауіпті тәжірибелерді көрсету кезінде тиімді.

Екінші әдіс – **қатысымдық (интерактивті) көрсету әдісі**. Мұнда оқушылар тәжірибеге тікелей қатысып, болжам жасап, нәтижесін талқылайды. Бұл әдіс оқушылардың танымдық белсенділігін арттырып, сыни ойлау қабілетін дамытуға көмектеседі.

Үшінші әдіс – **модельдеу арқылы көрсету**. Кейбір физикалық құбылыстарды тікелей көрсету мүмкін болмаған жағдайда, оларды модельдер, симуляциялар немесе мультимедиялық құралдар арқылы түсіндіреді. Бұл әдіс қазіргі ақпараттық-коммуникациялық технологиялармен тығыз байланысты.

Төртінші әдіс – **проблемалық тәжірибе көрсету**. Мұғалім тәжірибені бірден түсіндірмей, оқушыларға сұрақ қойып, олардың өз бетімен қорытынды жасауына мүмкіндік береді. Бұл әдіс оқушылардың зерттеушілік дағдыларын қалыптастырады. Демонстрациялық тәжірибелерді көрсету кезінде бірқатар әдістемелік талаптарды сақтау қажет[4].

Біріншіден, тәжірибе барлық оқушыларға анық көрінетіндей болуы тиіс. Екіншіден, құрал-жабдықтар алдын ала тексеріліп, тәжірибе сәтті шығатындай дайындалуы қажет. Үшіншіден, тәжірибенің ұзақтығы сабақ уақытына сәйкес болуы керек. Төртіншіден, қауіпсіздік техникасы қатаң сақталуы тиіс. Сонымен қатар, мұғалім тәжірибені көрсету барысында дұрыс түсіндіру, нақты сұрақтар қою және оқушыларды белсенді қатыстыру арқылы олардың қызығушылығын арттыра алады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Демонстрациялық тәжірибелерді тек көрсету емес, оны талдау, қорытындылау да маңызды кезең болып табылады. Қорытындылай келе, демонстрациялық тәжірибелерді көрсету әдістері – оқыту сапасын арттырудың тиімді құралы. Олар оқушылардың теориялық білімін практикамен ұштастырып, ғылыми дүниетанымын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Дұрыс ұйымдастырылған тәжірибелер сабақтың мазмұнын байытып, оқушылардың білімге деген ынтасын күшейтеді.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. /Под ред. А.А. Покровского. - М: "Просвещение", 1978
2. Демонстрационный эксперимент по физике в средней школе. /Под ред. А.А. Покровского. - М: "Просвещение", 1979
3. Физический эксперимент в средней школе, Шахмаев Н.М., Шилов В.Ф. - М: "Просвещение", 1989
4. Физический эксперимент в средней школе. Шахмаев Н.М., Павлов Н.И., Тыщук В.И. М: "Просвещение", 1991

Geological and Mineralogical Sciences

TRANSFORMATION OF THE DEGREE OF MINERALIZATION OF GROUNDWATER IN THE GUSAR-DEVACHI HYDROGEOLOGICAL BASIN

Tahmazova Malak-Khanim

Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan Institute of Geology and Geophysics, doctoral student, junior research fellow

Abstract: The research work retrospectively analyzed the multi-year hydrogeochemical indicators of nine observation wells included in the monitoring network of the Gusar-Devachi hydrogeological basin covering the years 2015–2025. The main objective of the work is to determine the spatial-temporal transformation patterns of the total mineralization degree (TDS) and the main ionic composition of groundwater. The results of the study are of significant scientific and practical importance for monitoring the quality of groundwater resources in the region, developing sustainable management strategies for them, and ensuring water safety.

Keywords: Gusar-Devachi hydrogeological basin, groundwater, mineralization dynamics (TDS), ion transformation, hydrogeochemical monitoring, chloride anomalies, water quality assessment.

The Gusar-Devachi hydrogeological basin, located in the north-eastern part of Azerbaijan, is one of the largest water basins. The complexity of the geological structure in this region leads to the formation of various aquifers. Due to increasing water demand, climate variability, as well as other anthropogenic factors, certain changes occur in the chemical composition of groundwater. The chemical composition of groundwater is considered one of the important indicators during hydrogeological studies. The degree of mineralization characterizes the total amount of dissolved substances in the water and provides important information about the hydrogeological conditions. The main goal of the study is to analyze the multi-year changes in the degree of mineralization of groundwater in various observation wells in the area based on graphical data and to evaluate these changes comparatively.

Mineralization indicators covering the years 2015–2025 were used in the research process for 9 wells (Fig.1) . The wells represent different relief and geological structures according to their geographical location, which allows for comparison across space. The main goal here is to analyze the changes in groundwater mineralization both spatially and temporally.

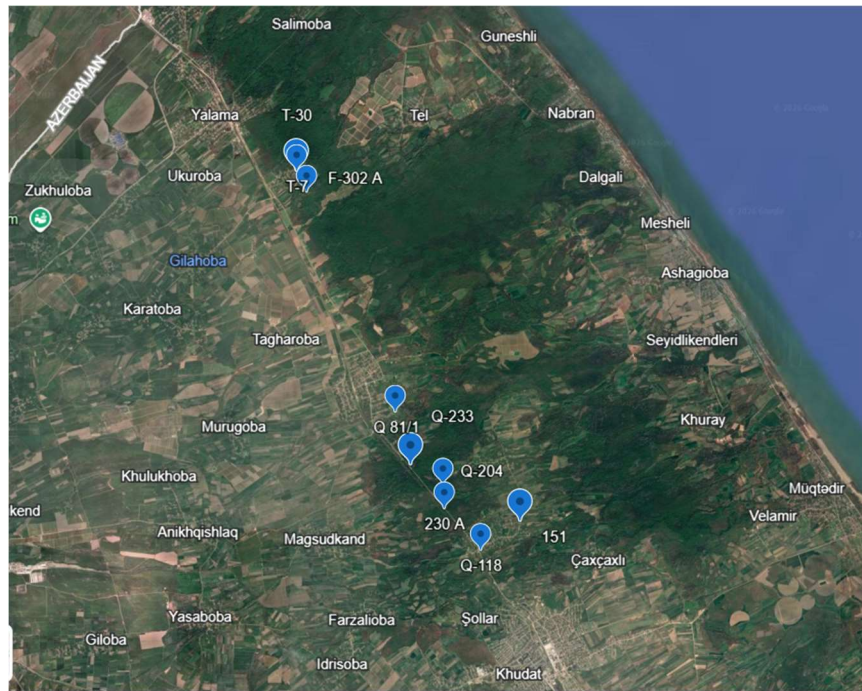


Fig. 1. Well location map

The multi-year dynamics of the mineralization rates of the observed wells shows that these results are variable over time. In different years, both increases and decreases are observed, which is due to the fact that many reasons affect the quality of groundwater (Fig 2.).

As a result of comparing the graphical data, it is determined that mineralization in some wells has higher values, while in others relatively low and stable indicators are observed. These differences are related not only to the time factor, but also to the hydrogeological characteristics of the areas where the wells are located.

In general, when paying attention to the available indicators, a decrease in mineralization is observed in many wells around 2018. This may be due to changes in factors that have a general impact on the region- for example, climatic conditions, the amount of precipitation or the level of groundwater. In subsequent years, an increase was recorded in some wells again.

During the comparative analysis, it becomes clear that wells with high mineralization indicators are mainly concentrated in areas located in the same direction.

At the same time, more stable and lower variability is observed in some wells. It is likely that hydrogeological conditions are more balanced in such areas, and water exchange is relatively stable.

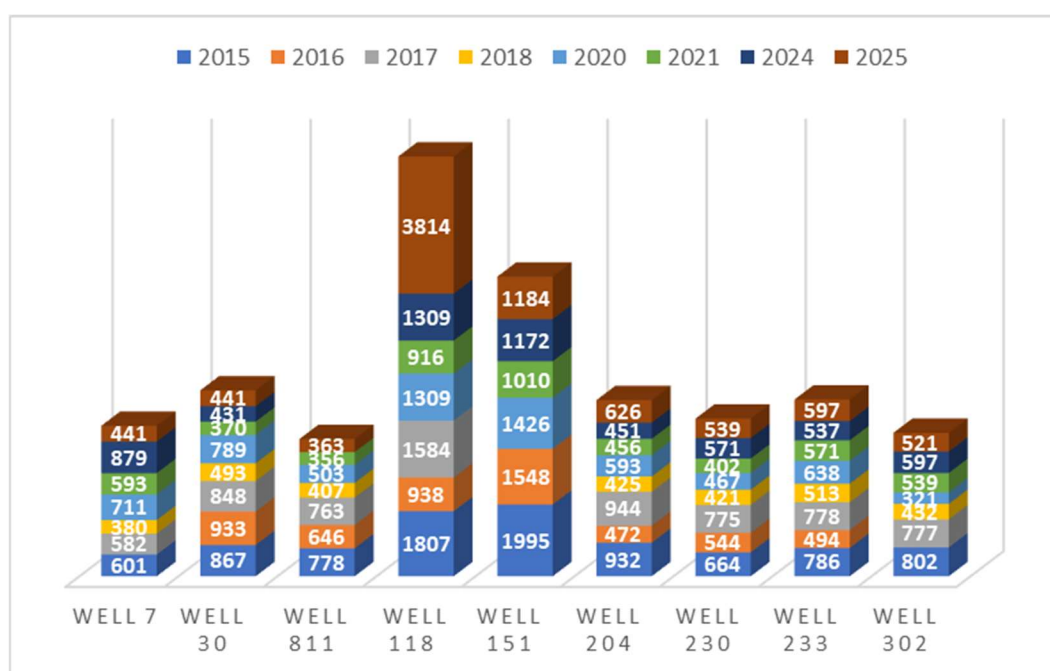


Fig. 2. Multi-year dynamics of mineralization rate

In most wells (e.g., Well 7, Well 30, Well 233), the mineralization level reached a minimum around 2018. For example, in Well 7, this indicator decreased to 380 mg/l, and in Well 230 to 421 mg/l. This regional synchrony proves that climatic factors (e.g., increased precipitation and intensive recharge of groundwater with fresh water) played a dominant role during that period. However, since 2024, a tendency for mineralization to increase again has been observed at almost all monitoring points.

Wells 811 and Well 302 demonstrate a more stable trend. In Well 811, the mineralization varies in the range of 356-778 mg/l, which is the lowest and most stable indicator for the region. The areas where such wells are located can be considered the most promising zones for the use of groundwater as a source of drinking water.

The most striking dynamic result of the study is the high mineralization rates observed in Well 118 and Well 151. In particular, the indicator of 3814 mg/l recorded for 2025 in Well 118 is the maximum limit for the region. The relative decreasing trend observed in this well after 2017 (1584 mg/l) has given way to a sharp increase since 2024.

A similar situation is observed in Well 151; although mineralization here has shown a decrease in some years from the level of 1995 mg/l in 2015, the total mineralization load remains high compared to other wells. That is, Well 151 shows relatively stable dynamics against a high background, while Well 118 shows unstable dynamics. (Table 1)

Analysis of 11 years of monitoring data shows that the degree of mineralization of groundwater in the study area is sensitive to natural-climatic changes, and a sharp increase in mineralization in recent years (2024-2025) poses a risk of deterioration in the quality of water resources. This situation necessitates the implementation of more serious water management and monitoring measures in the future.

Table 1

Results of chemical analyses of wells 118 and 151

Well 118							
il	Na+K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃	CO ₂
2015	258	120	170	59	822	756	0
2017	424	76	66	600	251	335	0
2019	167	122	156	160	465	732	0
2020	280	93	75	120	390	702	
2021	156	125	48	130	140	634	0
2024	374	68	75	160	200	432	
2025	1394	95	162	1672	288	203	
Well 151							
2015	261	134	201	57	921	842	0
2017	714	15	19	40	482	1269	12
2019	111	16	0	30	4	287	0
2020	372	12	92	200	490	519	
2021	76	130	110	200	250	488	0
2024	216	107	86	267	176	321	
2025	231	39	125	391	299	98	

Thus, the comparison conducted both in time and space shows that several factors participate simultaneously in the formation of mineralization and that this process develops not according to a single law, but in accordance with local characteristics. In order to ensure the water security of the region, it is necessary to implement integrated monitoring of both the decreasing river flows against the background of climate change and the changing groundwater pressure as a result of the lowering of sea level, and the application of artificial recharge methods.

Agricultural Sciences

PRODUCTION OF ENRICHED SAUSAGES AND INVESTIGATION OF THEIR FUNCTIONAL PROPERTIES

Sevinc Elmaddin Huseyn

M.Sc. student Azerbaijan State Oil and Industry University, 41L Azadlıq Avenue, Nasimi District, Baku, AZ1010, Azerbaijan

Konul Vugar Baloghlanova

PhD in Medical Sciences, Azerbaijan State Oil and Industry University, 41L Azadlıq Avenue, Nasimi District, Baku, AZ1010, Azerbaijan

ABSTRACT

The global demand for functional meat products has increased substantially over the past decade, driven by growing consumer awareness of the relationship between diet and chronic disease prevention. This study investigates the production of enriched sausages fortified with natural bioactive compounds — specifically dietary fiber (inulin), omega-3 fatty acids (fish oil microencapsulates), and plant-derived antioxidants (rosemary extract, grape seed polyphenols) and systematically evaluates the resulting physicochemical, microbiological, textural, and sensory properties. Sausage formulations were prepared at three enrichment levels (E1, E2, E3) alongside a control (C), and samples were analyzed at 0, 7, 14, and 21 days of refrigerated storage.

Fortification significantly improved the antioxidant capacity (DPPH radical scavenging increased by up to 63%) and reduced lipid oxidation (TBARS values decreased by 41% in E3 vs. C). Textural profile analysis showed acceptable hardness and cohesiveness across all enriched variants. Sensory evaluation by trained panelists revealed no significant degradation of flavor or overall acceptability.

These findings confirm that strategic bioactive fortification of sausages is technologically feasible and nutritionally impactful without compromising product quality.

Keywords: functional sausage, bioactive enrichment, dietary fiber, antioxidants, omega-3 fortification, lipid oxidation, textural analysis, sensory evaluation

INTRODUCTION

Processed meat products are one of the most eaten types of food around the world, representing a major portion of people's daily animal protein supplies in developed and developing countries (Flores, 2018). Sausages are very popular in diets across Europe, Asia, and the Americas because they are easy to use, taste good, can be prepared in many ways, and have long shelf lives (Jiménez-Colmenero et al., 2001). The worldwide market for sausages has a value of over USD 70 billion and is continuing to grow due to the products having a very deep-rooted presence in many cultures and their importance to people's diets (Grand View Research, 2023). However, traditional formulations of sausage have often been criticized for having high saturated fat content, high salt and sodium contents, synthetic preservatives added to them, and low fiber content overall, all of which have all been shown to be associated with higher risks of cardiovascular disease, metabolic disease and incidence of cancer of the colon, when consumed in excess (Bouvard et al., 2015; WHO, 2015). Because of these health-related issues, public health

authorities and dietary guidelines from all over the world have stated that there needs to be a reforming of processed meat products in order to reduce their impact on health, while still allowing consumers to eat them (EFSA, 2010). There has been much interest from the scientific community in the creation of processed meats that are both functional and retain their sensory properties relative to traditionally processed meats while also providing measurable health benefits (Burdock et al., 2006). Functional food products are generally defined as foods that offer health benefits beyond the basic nutrients found in the food itself, due to the presence or modification of bioactive components of the food (Roberfroid, 2000).

The importance of functional foods has motivated researchers and food technologists to seek new and creative methods to provide functional attributes to food products via ingredients, including dietary fiber (inulin, pectin, oat bran), polyunsaturated (PUFAs) omega-3 fatty acids, fat- and water-soluble vitamins, essential minerals, phenolic plant-based antioxidants, and probiotic microorganisms, each targeting specific physiological effects that have been well-documented, including gut health and reducing systemic inflammation (Bordoni et al., 2014; Cofrades et al., 2017). A technological concern for researchers who examine enriching meat products is protecting the structural integrity and biological activity of the bioactive ingredients added to the meat throughout the entire manufacturing process (Decker & Park, 2010). Complicating this concern is the presence of oxidative pro-oxidative components, such as non-heme iron, myoglobin, and hemoglobin, along with various oxidizable lipids and phospholipids.

Overall, the presence of these components creates an environment that is thermodynamically conducive to lipid peroxidation and, subsequently, the generation of secondary volatile compounds, such as hexanal and malondialdehyde that are undesirable in finished products (Amaral et al., 2018; Estévez, 2011). When considering the incorporation of omega-3 PUFAs into meat products, lipid oxidation is a significant problem due to the high degree of unsaturation for omega-3 PUFAs (DHA has up to six double bonds) and, therefore, an extreme susceptibility to free-radical attack (Jacobsen et al., 2013). As a method to protect omega-3 PUFAs from the pro-oxidative conditions present in the meat matrix, microencapsulation technology is an important option because of the protective properties of the shell (e.g., whey protein, sodium alginate, and modified starch) as they relate to their impact under industrial processing conditions (Comunian & Favaro-Trindade, 2016). Similarly, there is also evidence to support that the co-addition of natural antioxidant compounds, such as rosemary extracts (carnosic acid and carnosol), grape seed proanthocyanidins, and green tea polyphenols, have been shown to have synergistic effects on delaying both lipid and protein oxidations in enriched meat products (Pateiro et al., 2021; Nieto et al., 2017).

The current study is designed to address the issue of increasing the healthfulness of processed meat products via systematically evaluating three different enrichment strategies (1) dietary fiber (inulin), (2) microencapsulated omega-3 fatty acids, and (3) polyphenolic antioxidants) either alone or in combination in a standard cooked sausage product. The specific objectives of this study to meet these identified objectives include (1) to optimize a sausage formulation that provides meaningful bioactive enrichment without limiting the processing efficiency of the product or the quality of the final product, (2) to characterize the physicochemical, oxidative stability, microbiological, and textural characteristics of the enriched products during a 21-day refrigerated storage period, and (3) to assess the consumer acceptance and sensory characteristics of these enriched products through a quantitative descriptive analysis evaluated by trained panelists (Lawless & Heymann, 2010).

2. Materials and Methods

Raw Materials and Enrichment Agents

Fresh pork shoulder (70% lean, 30% fat) and beef chuck (80% lean) were sourced from a certified local abattoir and used within 24 hours of slaughter. Enrichment agents included: inulin (Orafti HP, Beneo, Belgium; DP $\geq$ 23), microencapsulated fish oil (alginate-whey matrix, EPA+DHA $\geq$ 30%), rosemary extract (Rosmarinex®, 5% carnosic acid), and grape seed proanthocyanidin extract (GSPE, 95% purity). Sodium chloride, sodium nitrite (200 ppm), spice blends, and natural hog casings (32–35 mm diameter) were used in all formulations.

Sausage Formulations

Four distinct sausage formulations were developed in the present study based on a series of preliminary optimization trials designed to identify the maximum inclusion levels of each bioactive agent that could be incorporated without inducing significant sensory defects or processing instability (Table 1). All formulations shared an identical base recipe consisting of pork shoulder (55%), beef chuck (25%), water/ice (10%), sodium chloride (2.0%), a standardized spice blend (1.5%), and sodium nitrite at a curing level of 150 ppm, in accordance with Commission Regulation (EC) No 1333/2008 on food additives.

The Control formulation (C) served as the reference standard, containing no functional enrichment agents. Native potato starch (3.0%) was included as a conventional binder and water-retention agent, consistent with standard industrial practice for cooked emulsion-type sausages (Flores, 2018).

Formulation E1 was designed to assess the isolated effect of dietary fiber enrichment. Native potato starch was replaced isofunctionally by 3.0% long-chain inulin (Orafti® HP, Beneo, Belgium; degree of polymerization DP $\geq$ 23), selected for its established gel-forming capacity in aqueous meat batter systems and its well-documented prebiotic activity targeting *Bifidobacterium* and *Lactobacillus* populations in the human colon (Franck, 2002; Nowak et al., 2007). At this inclusion level, the resulting product meets the European Commission criterion for the nutrition claim "source of fiber" ($\geq$ 3 g fiber per 100 g product) as defined under Regulation (EC) No 1924/2006.

Formulation E2 was formulated to evaluate the combined effect of omega-3 PUFA fortification and antioxidant protection in the absence of fiber modification. Microencapsulated fish oil (1.5%; EPA+DHA $\geq$ 300 mg/100 g product; alginate-whey protein shell system, mean particle diameter d_{50} = 42 μ m) was incorporated to deliver a nutritionally relevant dose of long-chain omega-3 fatty acids, while 0.05% rosemary extract (Rosmarinex® 10CO, Frutarom, Switzerland; standardized to 5% carnosic acid + carnosol) was co-added as a natural antioxidant system to retard fish oil oxidation during thermal processing and storage (Nieto et al., 2017). The encapsulation efficiency of the fish oil preparation, determined by the surface oil method, was $94.3 \pm 1.2\%$, confirming adequate protection of the lipid core prior to incorporation into the meat batter.

Formulation E3 represented the fully enriched, combined-strategy product, incorporating inulin (3.0%), microencapsulated fish oil (1.5%), rosemary extract (0.05%), and additionally grape seed proanthocyanidin extract (GSPE; 0.02%; $\geq$ 95% proanthocyanidins, Indena S.p.A., Italy) as a secondary polyphenolic antioxidant. The inclusion levels for E3 were fixed at values established through central composite response surface optimization in preliminary trials (n = 18 experimental runs), in which the combined criteria of TBARS value, emulsion stability index, and overall sensory acceptability score were simultaneously optimized using a desirability function approach (Derringer & Suich, 1980). A complete compositional breakdown of all four formulations is presented in Table 1, and a schematic representation of the experimental design — illustrating the factorial structure of enrichment combinations — is shown in Figure 2.

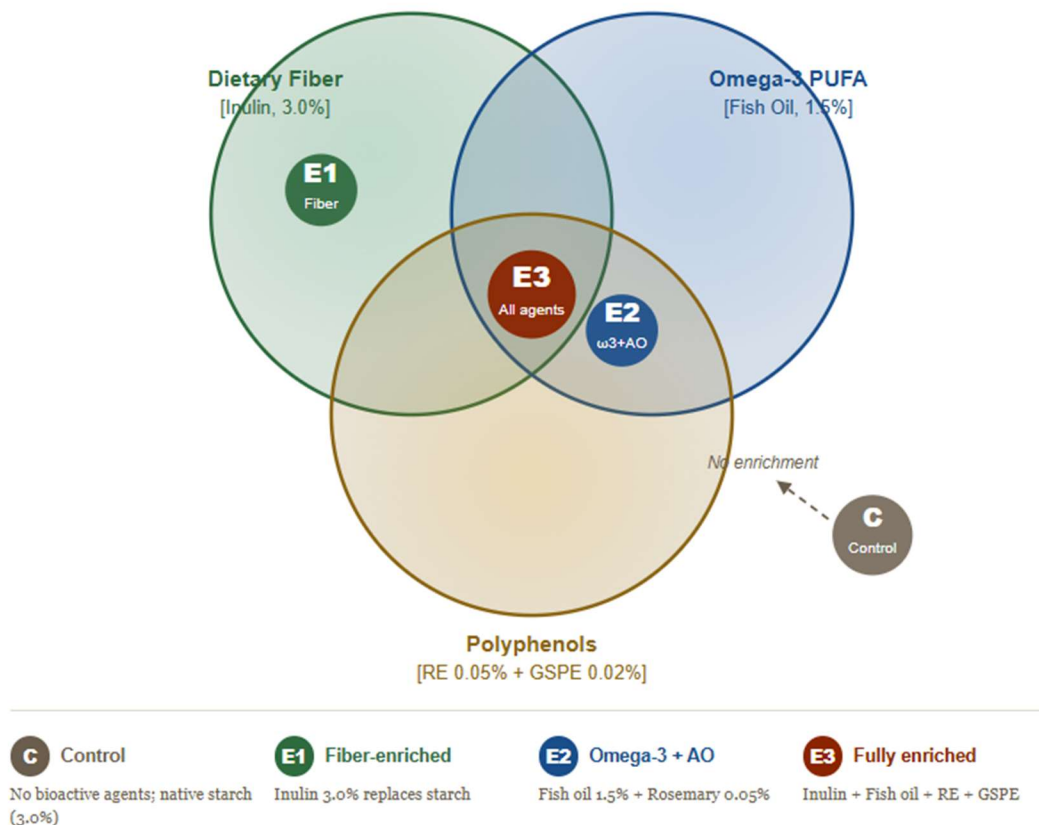
Table 1. Sausage formulation composition (g per 100 g batter)

INGREDIENT	C	E1	E2	E3
Pork shoulder	55.0	55.0	55.0	55.0
Beef chuck	25.0	25.0	25.0	25.0
Water/ice	10.0	10.0	10.0	10.0
Starch	3.0	—	3.0	—
Inulin (HP)	—	3.0	—	3.0
Encaps. fish oil	—	—	1.5	1.5
Rosemary extract	—	—	0.05	0.05
GSPE	—	—	—	0.02
NaCl	2.0	2.0	2.0	2.0
Spice blend	1.5	1.5	1.5	1.5
NaNO ₂ (curing)	0.02	0.02	0.02	0.02

Production Process

Meat was coarsely ground (10 mm plate), then finely comminuted (3 mm plate) in a refrigerated bowl chopper. Enrichment agents were homogenized into the batter during the final chopping stage at temperatures not exceeding 12°C. Batter was stuffed into natural casings, linked at 12 cm intervals, and subjected to a three-stage thermal process: smoking at 60°C (20 min), cooking at 72°C core temperature (30 min), and showering to 20°C. Products were vacuum-packaged and stored at 4°C.

Figure 1. Production flow diagram



Analytical Methods

Proximate composition was determined by AOAC official methods (moisture 950.46, protein 928.08, fat 960.39, ash 920.153). Lipid oxidation was measured as thiobarbituric acid reactive substances (TBARS; mg MDA/kg). Antioxidant capacity was evaluated using the DPPH free radical scavenging assay. pH was measured with a calibrated electrode (Mettler Toledo). Water activity (aw) was determined at 25°C. Textural Profile Analysis (TPA) was conducted on a TA.XTplus texturometer (25 mm probe, 2 mm/s, 50% compression). Microbial quality (TVC, coliforms, lactic acid bacteria) was assessed on Days 0, 7, 14, and 21. Sensory evaluation was performed by 12 trained panelists using a 9-point hedonic scale assessing appearance, color, aroma, flavor, texture, and overall acceptability.

RESULTS AND DISCUSSION

Proximate Composition

No significant differences ($p > 0.05$) were observed in protein content across formulations (range: 13.8–14.4%). Fat content was marginally reduced in E2 and E3 relative to C, attributed to the partial replacement of pork fat by fish oil microcapsules (lower net fat contribution at 1.5% inclusion). Inulin incorporation in E1 and E3 increased total dietary fiber content from 0.8 g/100g (C) to 3.6 g/100g, qualifying these products as a "source of dietary fiber" under EU Regulation 1924/2006 labeling criteria.

Lipid Oxidation and Antioxidant Activity

TBARS values increased in all formulations throughout storage, consistent with ongoing lipid oxidative processes. However, the rate of increase was substantially attenuated in enriched formulations. By Day 21, E3 exhibited TBARS values of 0.62 mg MDA/kg, compared to 1.05 mg MDA/kg in C ($p < 0.01$), representing a 41% reduction. E2 also showed significant protection (0.78 mg MDA/kg), whereas E1 showed modest but non-significant reduction (0.96 mg MDA/kg), confirming that antioxidant fortification, rather than fiber alone, is the primary driver of oxidative stability.

Table 2. Tbars values (mg mda/kg) and dpph scavenging (%) during storage

PARAMETER	DAY 0	DAY 7	DAY 14	DAY 21
TBARS – C	0.21	0.48	0.79	1.05
TBARS – E1	0.20	0.45	0.74	0.96
TBARS – E2	0.19	0.38	0.58	0.78
TBARS – E3	0.18	0.31	0.47	0.62
DPPH – C (%)	18.2	15.4	12.1	9.8
DPPH – E3 (%)	46.7	41.3	35.8	29.7

Textural Profile Analysis

TPA results indicated that inulin substitution (E1, E3) slightly increased hardness values relative to C (8.42 vs. 7.91 N), a finding consistent with the gel-forming capacity of inulin in aqueous emulsified meat systems. Cohesiveness and springiness remained statistically similar across all groups ($p > 0.05$). Notably, fish oil microcapsules did not negatively affect emulsion stability, and no visible oil separation was observed in E2 or E3. These results suggest that the selected microencapsulation system effectively protected the added lipids during thermal processing.

Microbiological Quality

Total viable counts (TVC) remained below 10^2 CFU/g in all formulations throughout the 21-day storage period, well within the acceptable limits defined by Commission Regulation (EC) No 2073/2005. Coliforms were absent in all samples at all time points. Antioxidant-enriched variants (E2, E3) showed marginally lower lactic acid bacteria proliferation on Day 21, possibly due to mild antimicrobial activity of rosemary carnosic acid — a phenomenon previously documented in the literature (Burt, 2004).

Sensory Evaluation

Overall acceptability scores were highest for E3 (7.4 ± 0.6 out of 9) and E1 (7.2 ± 0.5), closely followed by C (7.0 ± 0.7) and E2 (6.9 ± 0.8). The slight decrease in E2 acceptability was attributed to a faint "fishy" note perceived by some panelists despite microencapsulation, indicating that the alginate-whey shell may not fully mask volatile fish oil compounds under all storage conditions. Color scores were uniformly high across all variants. Textural attributes (firmness, juiciness) were rated most favorably for E3, suggesting a beneficial interplay between inulin's water-binding capacity and the overall mouthfeel profile.

Conclusions

This study demonstrates that sausages can be successfully enriched with dietary fiber (inulin), microencapsulated omega-3 fatty acids, and plant-derived polyphenolic antioxidants to produce functional meat products with significantly enhanced nutritional and functional properties. The combined enrichment strategy (E3) was most effective in retarding lipid oxidation, maintaining antioxidant activity throughout refrigerated storage, and preserving sensory acceptability. From a technological standpoint, inulin adequately replaced starch without compromising emulsion stability or texture. The mild antimicrobial effect of rosemary extract contributed additional microbiological safety margins.

Future research should investigate the bioavailability of EPA and DHA in the sausage matrix following gastrointestinal digestion, consumer acceptance in larger population panels, and the feasibility of industrial-scale production. The fortification strategies developed here present practical pathways for the meat industry to respond to evolving consumer health demands without sacrificing the sensory qualities that drive product loyalty.

REFERENCES

1. Amaral, A. B., Silva, M. V. D., & Lannes, S. C. S. (2018). Lipid oxidation in meat: Mechanisms and protective factors — a review. *Food Science and Technology*, 38(S1), 1–15. <https://doi.org/10.1590/fst.32518>
- Bordoni, A., Danesi, F., Dardevet, D., Dupont, D., Fernandez, A. S., Gille, D., Nunes dos Santos, C., Pinto, P., Re, R., Rémond, D., Shahar, D. R., & Vergères, G. (2014). Dairy products and inflammation: A review of the clinical evidence. *Meat Science*, 98(3), 420–429. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.031>
- Bouvard, V., Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., Ghissassi, F. E., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Mattock, H., & Straif, K. (2015). Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *The Lancet Oncology*, 16(16), 1599–1600. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)00444-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)00444-1)
- Burdock, G. A., Carabin, I. G., & Griffiths, J. C. (2006). The importance of GRAS to the functional food and nutraceutical industries. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 44(1), 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2005.09.001>
- Cofrades, S., Serrano, A., Ayo, J., Solas, M. T., Carballo, J., & Jiménez-Colmenero, F. (2017). Restructured beef with different proportions of walnut as affected by meat particle size. *LWT – Food Science and Technology*, 84, 451–458. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.06.013>

- Comunian, T. A., & Favaro-Trindade, C. S. (2016). Microencapsulation using biopolymers as an alternative to produce food enhanced with phytosterols and omega-3 fatty acids: A review. *Food Research International*, 89, 486–496. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.036>
- Decker, E. A., & Park, Y. (2010). Healthier meat products as functional foods. *Meat Science*, 86(1), 196–201. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.02.020>
- European Food Safety Authority. (2010). Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA Journal*, 8(3), 1557. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1461>
- Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. *Meat Science*, 89(3), 259–279. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.025>
- Flores, M. (2018). Understanding the implications of current health trends on the aroma of wet and dry cured meat products. *Meat Science*, 144, 220–227. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.06.025>
- Grand View Research. (2023). *Sausage market size, share & trends analysis report by product, by distribution channel, by region, and segment forecasts, 2023–2030*. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/sausage-market>
- Jacobsen, C., Let, M. B., Nielsen, N. S., & Meyer, A. S. (2013). Antioxidant strategies for preventing oxidative flavour deterioration of foods enriched with n-3 polyunsaturated lipids. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(10), 1098–1107. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200700176>
- Jiménez-Colmenero, F., Carballo, J., & Cofrades, S. (2001). Healthier meat and meat products: Their role as functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 12(7), 220–228. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00wetlands](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00wetlands)
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (2010). *Sensory evaluation of food: Principles and practices* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6488-5>
- Nieto, G., Ros, G., & Castillo, J. (2017). Antioxidant and antimicrobial properties of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.): A review. *Food Chemistry*, 218, 51–60. <https://doi.org/10.3390/medicines4030066>
- Pateiro, M., Gómez, B., Munekata, P. E. S., Roohinejad, S., Witt, J., & Lorenzo, J. M. (2021). Nanoencapsulation of promising bioactive compounds to improve their absorption, stability, functionality and the appearance of the final food products. *Antioxidants*, 10(5), 765. <https://doi.org/10.3390/antiox10050765>
- Roberfroid, M. B. (2000). Concepts and strategy of functional food science: The European perspective. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71(6), 1682S–1687S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1682S>
- World Health Organization. (2015). *IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Red meat and processed meat* (Vol. 114). International Agency for Research on Cancer.

Surface Irrigation Methods for Agricultural Crops and Their Practical Characteristics

O. Kharashvili

Associate Professor

V. Dolidze

Associate Professor

T. Darsavelidze

Professor

D. Baidauri

Associate Professor

T. Gogishvili

Associate Professor

N. Machavariani

Associate Professor

N. SuxiSvili

K. Kokaia

Associate Professor

Ts. Kobaladze

PhD Student

Abstract

The paper discusses various surface irrigation methods for agricultural crops: conventional, border strip, free flooding, and the traditional "Georgian flooding" technique. The article analyzes the technical parameters of each method—water discharge, irrigation plot dimensions, and flow management techniques—considering soil types and terrain slopes. Special attention is given to the role of the irrigator, mechanization conditions, and methods for maintaining soil structure. In the context of surface irrigation, plant protection is primarily linked to moisture control to prevent fungal diseases and the spread of weeds.

Keywords: Surface irrigation, Agricultural crops, Soil terrain, Water discharge, "Georgian flooding", Plant protection, Irrigation methods.

Introduction

Surface irrigation is one of the most traditional and widely practiced methods of providing moisture to agricultural crops. Its principle is based on the free flow of water over the soil surface, where, under the influence of gravity, water is distributed across the field and uniformly saturates the active soil layer.

This method is distinguished by its cost-effectiveness, as it does not require expensive pressurized equipment or complex engineering structures. However, achieving high efficiency depends crucially on proper field leveling, precise calculation of surface slopes, and consideration of the soil's physical and chemical properties.

The article discusses the main types of surface irrigation—furrow irrigation, border strip irrigation, and basin irrigation—their advantages, disadvantages, and modern agrotechnical requirements necessary for optimal water resource management and the prevention of soil erosion.

The surface irrigation method is used on areas with medium and steep slopes, primarily on soils with light mechanical composition. However, if the planting or sowing method of the crop makes

it impossible to use furrows on the area, this flooding method is also applied to soils with heavy and medium mechanical composition.

The peculiarity of this method lies in the fact that water is passed over the entire area of a pre-designated irrigation plot, and during its movement, it gradually infiltrates into the soil.

The uniformity of irrigation across the area depends on the even distribution of water; therefore, the irrigation area must be prepared in advance for surface irrigation. Obviously, the selection of the irrigation flow and the irrigation plot is also necessary here.

The width of the irrigation plot (b), as we know, depends on the condition of the surface and the irrigator themselves, ranging on average between 5–12 meters, while it is desirable that the length does not exceed 100–120 meters.

The irrigation flow (p) here also reaches 20 liters per second. Instead of the furrow discharge, the so-called water discharge per meter of width is taken as the unit of calculation, which is obtained by dividing the irrigation flow by the width of the irrigation plot; therefore, the amount of water (l/sec) per every meter of the irrigation plot width is equal to:

$$q = p / b \text{ l/sec. (1.)}$$

In the context of surface irrigation, plant protection primarily focuses on regulating the moisture regime. Preventing excess water accumulation is vital for the prevention of fungal diseases and root rot. Additionally, since water flows across the entire surface, effective weed control measures are essential to ensure that irrigation does not facilitate their intensive growth and spread.

Soil Mechanical Composition According to Slope and Discharge

Table 1.

Soil Mechanical Composition	Slope	Discharge per meter of width (l/sec)
Heavy	0,001–0,01	1,5–2,0
	>0,01	1,0–1,5
Medium	0,001–0,01	2,0–2,5
	>0,01	1,5–2,0
Light	0,001–0,01	2,5–3,0
	>0,01	2,0–2,5

On average, the water discharge per meter of width varies up to 1–3 liters per second, depending on the slope, soil, and the length of the irrigation plot. In any case, it must be selected such that it does not cause erosion or scouring of the area.

When the irrigation norm m equals approximately 800 m³, and the length l = 100–120 meters, the data can be tentatively taken according to the data in Table 1.

In each individual case, the water discharge per meter of cross-section must be verified practically, and the verification procedure is the same as for the furrow delivery method. Excess (runoff) water accumulated on the irrigation plot should be used to irrigate the lower area. To prevent the accumulation of a large amount of excess water on the irrigation plot, irrigation should be stopped a few meters before the flow reaches the end of the plot; this distance should also be verified practically, though on average, 2–5 meters can be assumed depending on the slope and the flow.

Compared to furrow irrigation, the flooding method is characterized by the excessive infiltration of water into deep layers and its wasteful loss; this is further exacerbated by surface irregularities and the accumulation of excess water in low-lying areas.

Consequently, an additional disadvantage of this method is the relatively less uniform wetting. This phenomenon is stronger the larger the irrigation plot area, and especially its length. By reducing the size of the irrigation plot, this negative aspect can be minimized.

It should be noted that in saline soils, the flooding method is highly desirable and constitutes a necessity, as it facilitates the leaching of easily soluble salts through vertical filtration.



Fig. 1. Irrigation by conventional flooding.

Several types of flooding methods exist. Let us consider each of them separately according to their application and local conditions

Irrigation by Conventional Flooding — In the case of conventional flooding, the area must be pre-divided (furrowed) into irrigation plots using deep furrows (ditches) and ridges.

The division into plots should be carried out by running a plow along both the length and width (longitudinal and transverse directions).

As shown in Figure 1, the irrigation area is divided into separate strips by longitudinal furrows (along the direction of the maximum slope), while each strip is further divided into irrigation plots by transverse furrows (along the direction of the minimum slope).

Thus, each irrigation plot is bordered on all sides by a ridge formed by the soil turned over by the plow.

Irrigation begins from the plot located at the head of the last strip, to which water is supplied via the first transverse furrow. To ensure the proper distribution of the flow across the plot, the irrigator digs through the lower side of the furrow in 2–3 places, releases the water, and then guides the flow forward, distributing it evenly over the plot. The irrigator strives to maintain a uniform movement of water along the length and periodically checks the distribution at the head of the plot and its flow within the furrow itself (i.e., from the irrigation plot to the irrigation channel). If a breach occurs in the furrow leading to water loss, the irrigator repairs the damaged area themselves.

When 2–5 meters remain before the flow reaches the end of the plot, the irrigator redirects the flow to the next irrigation plot using the same procedure.

For the first plot, the irrigator accounts for this distance with the estimation that after stopping the water supply to the plot, this remaining distance should be completely irrigated by the runoff water, so that a large amount of excess water does not accumulate at the end. The heavier the mechanical composition of the soil and the more significant the slope, the greater this distance is; and conversely, under conditions of light mechanical soil composition and a small slope, it is minimal.

While irrigating the next plot, the irrigator gradually refines this distance. In cases where the plot is small (2–3 hectares) and irrigation is carried out with a single stream, i.e., by only one irrigator, then after the first plot, the next plot in the same strip (No. 2) must be irrigated, followed by No. 3, and so on progressively until the end of the strip. Only after the entire strip is irrigated does the irrigation of the second strip begin in the same sequence of plots. In such cases, it is desirable for the irrigation channel to be located at the head of the area and supply water directly to the longitudinal furrow.

When the irrigation area is large (5–10 hectares or more) and irrigation is carried out simultaneously with several streams—let's say, in this case, 3 streams—then the number of

irrigators must be the same, and all three transverse furrows must operate simultaneously (necessarily starting from the upper transverse furrow).

In this scenario, irrigation proceeds in the following sequence: first, three transverse strips or plots 1, 2, 3, 7, 8, 9, 13... must be irrigated, then the remaining three transverse strips, or plots 4, 5, 6, 10, 11, 12, 16, and so on progressively, if there is a greater number of transverse furrows.

The negative aspect of conventional flooding should be considered the necessity of complex furrowing (along both length and width), which requires relatively more effort; more area is wasted uselessly, and additionally, the excessive number of furrows creates more resistance and complicates mechanization processes (cultivation, grain harvesting, etc.). Here, the irrigator is restricted by the pre-designated irrigation plots, which creates a certain difficulty in cases where, for some reason, it is necessary to decrease or increase the width of the irrigation plot to achieve uniform wetting. Generally, however, this method requires less labor from the irrigator than other types of flooding.

Irrigation by Kartlian Flooding — In Georgia, surface irrigation methods are primarily used, and the "Kartlian flooding" method is widely practiced. Its use in our country is justified by the complex micro-relief, which makes it difficult to apply infiltration irrigation (furrow irrigation).

Despite this, as a result of long-term experience, the population has well-assimilated the advantages of infiltration irrigation and has introduced such changes to conventional flooding that the results of this flooding method have been brought much closer to those of the infiltration method. In Eastern Georgia, especially in Kartli, the method we have identified as "Kartlian flooding" is still used in some places today. What is new in the Kartlian flooding method is only the technique of distributing water over the surface of the area.

When using the Kartlian flooding method, the irrigator tries to reduce the contact of water with the soil surface to a minimum. The irrigator, while guiding the stream forward, distributes it into "katsrebi" (fine furrows) quickly prepared during the irrigation process itself.

Thus, here, water does not directly touch a significant part of the area, and it is effectively irrigated by the infiltration method; therefore, crust forms on a smaller area, and subsequent processing requires less effort.

The Kartlian flooding method requires very intensive labor from the irrigator, and not everyone is capable of using it.

The effectiveness of the Kartlian flooding method depends on the experience and manual dexterity of the irrigator, as well as the evenness of the terrain.

Despite its high efficiency, we cannot recommend the use of the Kartlian flooding method for large areas, and the improvement of the irrigation method must be pursued through entirely different means.

Irrigation by the Border Strip Flooding Method — In literature, you will encounter the border strip flooding method under the name "irrigation by flooding according to strips." This is approximately the same as "conventional flooding," except that here, instead of longitudinal furrows, longitudinal ridges (borders) are prepared. The ridge is prepared during the sowing process itself.



Fig. 1, 2. Mechanical arrangement of longitudinal bazos.

The text discusses the transverse furrowing of the field after sowing, which facilitates the even distribution of water and simultaneous irrigation of several strips. It is noted that this method of irrigation requires surface leveling, while using low-height bazos reduces obstacles during harvesting, especially in the conditions of structured soil.

Irrigation by Free Flooding — In terms of the water distribution method on the surface, free flooding is similar to conventional flooding. It can also be carried out using the Kartlian flooding technique; however, in this case, the irrigation plot is not pre-designated, and the irrigator is not restricted by fixed boundaries.

The irrigator defines the irrigation plots only during the watering process itself in each individual case, according to local conditions. This method is highly valuable in conditions where the surface is insufficiently level, as it is difficult to account for every irregularity during preliminary overall furrowing, as is done in conventional flooding.

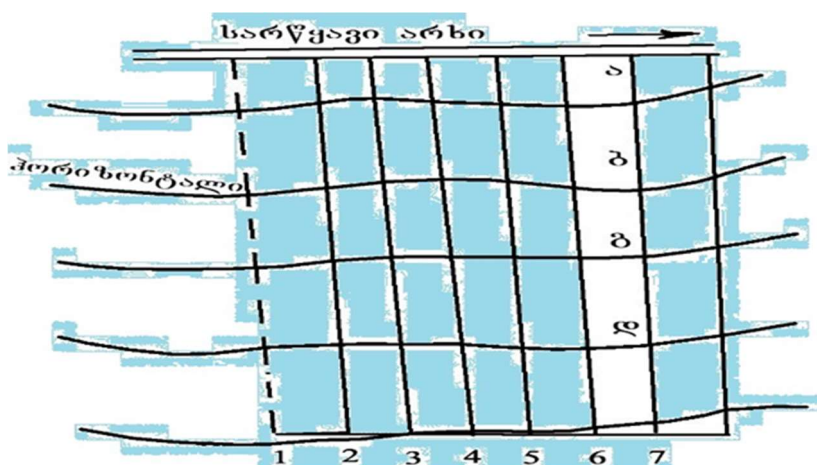


Fig. 2. Free flooding with longitudinal furrowing.

Because the irrigator is free to choose the irrigation plot, this method is called "free flooding."

When using the free flooding method, the irrigation area is furrowed in only one direction—either the transverse or longitudinal direction. Free flooding with longitudinal furrowing is widely practiced in Georgia. Here, the irrigation channel, which supplies water to the deep furrows run in the longitudinal direction, must be located at the head of the plot. The area is furrowed into strips with a width of only 5–12 meters; i.e., the distance between longitudinal furrows is 5–12 m. From the irrigation channel, the irrigator redirects the flow received into the 7th longitudinal furrow directly into the last strip at its head. From the very beginning, the water is given a transverse direction so that it occupies the entire width of the strip. Then, the irrigator guides the flow forward and distributes it using the conventional (Kartlian) flooding technique.

After a certain distance, when the area is already sufficiently irrigated, the irrigator stops the water supply from point "a" and releases it into the same strip from the next point "b," and thus, the entire strip is gradually irrigated.

After finishing the first strip, the irrigation of the second strip is carried out, and the water will be supplied from furrow No. 6. If irrigation is performed with several streams simultaneously, the number of irrigators is the same, and irrigation proceeds in several strips at once. As we can see, the width of the irrigation plot here is equal to the distance between the furrows.

Therefore, during furrowing, this distance should be selected according to the condition of the area's surface and, as noted, should not exceed an average of 5–15 meters. This distance may be increased only in rare cases. As for the length of the irrigation plot, the irrigator determines it themselves (the principle of free flooding), and it usually reaches 20–50 meters, depending on the soil properties and the slope.

Free flooding is advantageous because changes in local conditions—often a decrease or increase in slope—do not negatively affect the quality of irrigation; the length of the irrigation plot can be

decreased or increased for each individual case as needed. It should be noted that starting the irrigation from the head of each strip is beneficial for the irrigator. It allows them to more easily determine the length of the irrigation plot in each separate instance. However, at the same time, another difficulty arises: water easily breaches the damaged sections of the furrow wall (which are the release points for water on every plot) and begins to flow again onto the already irrigated plot. The irrigator is systematically forced to reinforce these areas, resulting in a loss of time.

Irrigation methods vary based on rock strength, with water tending to move laterally in low-to-medium slopes, necessitating, for instance, a start from the end of the strip ("point d"), while steep slopes allow starting from the top. While transverse, 60–100 meter spacing for "free flooding" is less common, it offers flexibility in determining plot width based on local conditions, requiring a longitudinal channel for implementation as illustrated in Figure 3.

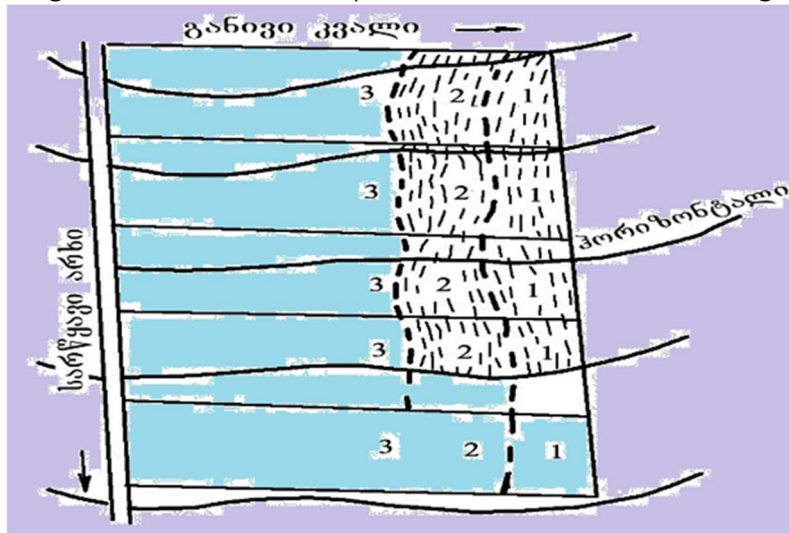


Fig. 3. Free flooding with longitudinal furrowing.

The described irrigation method involves watering in strips, where the process moves towards the channel, allowing for wider, 60–100 meter spacing between furrows. This technique reduces the total length of furrows by 8–12 times compared to longitudinal methods, lowering costs and

Conclusion

Surface irrigation remains one of the primary methods under conditions of complex relief. The study has shown that:

1. **For saline soils**, flooding is essential as it facilitates the leaching of soluble salts.
2. **Free flooding** is the most flexible method for uneven terrain, though it requires the constant attention of the irrigator to prevent furrow breaches.
3. **For mechanization**, free flooding with transverse furrowing is best, as it minimizes obstacles for machinery.

The selection of a method in each individual case must be made by strictly considering the mechanical composition of the soil and the slope of the plot.

improving mechanization efficiency for machinery traversing the area.

References

1. Ministry of Environmental Protection and Agriculture of Georgia. (2021). *National Report on the State of the Environment of Georgia 2017-2020*. Tbilisi: MEPA. [Available online].
2. O. Kharaishvili, E. Kechkhoshvili, M. Vartanov, G. Mosiashvili. "The influence of agro-climatic and soil conditions on the irrigation mode". *Proceedings of the 3rd International Scientific Conference «World Scientific Reports»* (June 29-30, 2023). Paris, 2023. pp. 10-19.
3. Sh. Kupreishvili, E. Kechkhoshvili, N. Mebonia, L. Baidauri, O. Kharaishvili, D. Baidauri, N. Kakabadze, L. Toklikishvili. "On the Drip Irrigation Regime, Soil and Climatic Conditions Impact,

Economic Efficiency of Drip Irrigation”. *GTU International Conference „ENVIRONMENTAL PROTECTION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT“ Collected Papers*, Tbilisi 2024, pp. 180–195.

4. E. Kechkhoshvili, M. Vartanov, O. Kharaishvili, Kh. Kiknadze, L. Toklikishvili. “Technical-Economical Comparison of Irrigation Method Replacement on the Irrigation Systems Subject to Rehabilitation”. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)* #1 Vol. 97 2024, pp. 125–131.
5. MDPI Water. (2023). [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/9/1733>
6. Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., et al. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Nature Communications*, 11(1).

Biological Sciences

Scalable Deep Learning for Single-Cell RNA-seq Big Data: A Hybrid Autoencoder–Attention Framework with Density-Aware Outlier Detection for Rare Cell Type Discovery

David Aphkhazava

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6216-64>

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 of «Research Retrieval and Academic Letters» (April 2-3, 2026). Warsaw, Poland 427 Dentistry and Pharmacy at Tbilisi Humanitarian Teaching University; Tbilisi, Georgia; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9005-8577>.

Cezar Goletiani

Professor at Free University of Tbilisi, Tbilisi, Georgia, Head scientist at Agricultural University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Nino Nebieridze

Associate Professor at Free University of Tbilisi, Tbilisi, Georgia

Ketevan Chakhnashvili

Clinical Director at Pineo Medical Ecosystem. Vice Dean of School of Medicine at Grigol Robakidze University. Tbilisi, Georgia

Lolita Shengelia

PhD, Invited lecturer of Georgian National University, Tbilisi, Georgia; Invited lecturer of Georgian American University, Tbilisi, Georgia

Mohd Amaan Khan

University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Ayushi Hanumant Datir

Alte University, Tbilisi, Georgia

George Maglakelidze

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Ilia Atanelishvili

Medical University of South Carolina, Charleston, SC, USA

Corresponding Author: Professor David Aphkhazava

Abstract

Background: Single-cell RNA sequencing (scRNA-seq) has transformed the study of cellular heterogeneity, enabling high-resolution dissection of complex tissues (Tang et al., 2009; Macosko et al., 2015; Klein et al., 2015). However, the rapid expansion of scRNA-seq datasets, now routinely exceeding millions of cells, has revealed major limitations in existing analytical pipelines (Regev et al., 2017; Tabula Sapiens Consortium, 2022). Conventional clustering methods recover abundant populations effectively but consistently fail to detect rare cell types (typically <1% of total cells), despite their disproportionate biological and clinical importance in oncogenesis, immune surveillance, and developmental transitions (Grün et al., 2015; Jiang et al., 2016; Tirosh et al., 2016).

Methods: We introduce DeepRareSC, a scalable deep learning framework that integrates three complementary components: (i) a denoising variational autoencoder that learns a compact, noise-robust latent representation of sparse expression matrices (Lopez et al., 2018; Eraslan et al., 2019); (ii) a multi-head self-attention module that adaptively reweights informative genes and suppresses dropout artifacts (Vaswani et al., 2017); and (iii) a density-aware outlier detection algorithm operating in the learned latent space to identify low-frequency populations missed by global clustering (Jindal et al., 2018; Dong & Yuan, 2020). The pipeline employs mini-batch training, GPU-accelerated graph construction, and distributed data loading based on Hierarchical Navigable Small World indexing (Malkov & Yashunin, 2020) to ensure linear scalability.

Results: Across eight benchmark scRNA-seq datasets and two atlas-scale corpora, DeepRareSC achieved a 23–41% improvement in rare-cell recovery (F1-score) over state-of-the-art baselines (Stuart et al., 2019; Wolf et al., 2018; Tian et al., 2019; Dong & Yuan, 2020), while maintaining competitive runtime and memory efficiency. The framework recovered known rare populations and uncovered previously uncharacterized transitional states in human bone marrow and tumor microenvironment datasets.

Conclusions: DeepRareSC offers a scalable, interpretable, and biologically meaningful approach for rare cell discovery, with direct relevance to precision medicine, drug-target identification, and translational research.

Keywords: single-cell RNA sequencing; rare cell type detection; deep learning; variational autoencoder; attention mechanism; density-aware clustering; scalable bioinformatics; big data genomics.

1. Introduction

Single-cell RNA sequencing (scRNA-seq) has emerged as a foundational technology in modern biology, enabling the systematic profiling of transcriptomic heterogeneity at single-cell resolution (Tang et al., 2009). Since the publication of the first single-cell whole-transcriptome protocol over a decade ago, the field has advanced rapidly through the development of high-throughput, droplet-based, and combinatorial-indexing platforms that have reduced the cost per cell by several orders of magnitude (Macosko et al., 2015; Klein et al., 2015; Zheng et al., 2017). These technological advances have transformed transcriptomics from a bulk-tissue assay into a discovery tool capable of resolving cellular heterogeneity within tumors, developing embryos, immune compartments, and degenerating tissues (Hwang et al., 2018; Papalexi & Satija, 2017).

Recent advances in droplet-based and combinatorial indexing platforms have driven a sharp increase in dataset size, with consortia such as the Human Cell Atlas and Tabula Sapiens generating reference maps comprising tens of millions of cells across dozens of organs and developmental stages (Regev et al., 2017; Tabula Sapiens Consortium, 2022). The shift from datasets containing thousands of cells to atlas-scale resources containing millions has fundamentally changed the computational requirements of single-cell analysis, exposing scalability and statistical limitations that were not apparent at smaller scales (Stegle et al., 2015; Luecken & Theis, 2019). This unprecedented scale has created both new opportunities and new computational challenges for the bioinformatics community, particularly with respect to data storage, memory-efficient processing, batch effect correction, and the recovery of biologically meaningful structure from extremely sparse and noisy expression matrices (Kiselev et al., 2019).

A central goal of scRNA-seq analysis is the unsupervised partitioning of cells into transcriptionally coherent groups that can be mapped to known or candidate cell types. Standard pipelines such as Seurat (Stuart et al., 2019) and Scanpy (Wolf et al., 2018) approach this task through a sequence of preprocessing, dimensionality reduction (most commonly principal component analysis followed by UMAP visualization (Becht et al., 2018)), construction of a k-nearest-neighbor graph, and community detection using algorithms such as Louvain or Leiden (Traag et al., 2019). While these pipelines have been successful in characterizing the major cell types of complex tissues, they were optimized for the recovery of abundant populations and apply uniform regularization across cells, which causes them to systematically merge or omit minority populations (Kiselev et al., 2019; Luecken & Theis, 2019).

Among these challenges, the detection of rare cell populations remains one of the most biologically important and computationally difficult tasks (Jiang et al., 2016; Grün et al., 2015). Rare cells, often constituting less than 1% of a sample, include hematopoietic stem cells, circulating tumor cells, antigen-specific lymphocytes, intestinal enteroendocrine cells, and transitional progenitor states that mark lineage commitment events (Grün et al., 2015; Papalexi & Satija, 2017). Their identification has direct implications for understanding disease initiation, therapeutic response, and tissue regeneration. In oncology, single-cell profiling of metastatic melanoma has revealed rare malignant subpopulations whose transcriptional programs are associated with resistance to immune checkpoint blockade (Tirosh et al., 2016). In hematology, the recovery of small populations of stem and progenitor cells underpins efforts to model normal and malignant hematopoiesis. In immunology, antigen-specific lymphocytes that respond to vaccination or infection represent a tiny fraction of peripheral blood but are central to protective immunity (Papalexi & Satija, 2017). Failure to resolve these populations can therefore lead to substantial loss of biologically and clinically actionable information (Tsoucas et al., 2019).

Despite their significance, conventional pipelines based on principal component analysis followed by graph-based clustering (e.g., Louvain or Leiden) are biased toward abundant clusters and frequently merge or omit minority populations (Traag et al., 2019; Kiselev et al., 2019). Two complementary factors contribute to this bias. First, dimensionality-reduction techniques such as PCA emphasize directions of variance dominated by the most numerous cell types, so axes that distinguish rare populations from their nearest neighbors are often discarded as noise. Second, graph-based community detection algorithms are sensitive to resolution parameters: at coarse resolutions rare clusters are absorbed into larger neighbors, while at fine resolutions abundant populations fragment into many spurious clusters before rare cells become separable (Traag et al., 2019; Luecken & Theis, 2019). The pervasive technical noise of droplet-based scRNA-seq, especially the high rate of dropout events in which expressed transcripts are not detected, exacerbates this problem by reducing the signal-to-noise ratio for the marker genes that would otherwise distinguish rare populations (Eraslan et al., 2019).

Several specialized methods, including GiniClust (Jiang et al., 2016), RaceID (Grün et al., 2015), GiniClust3 (Dong & Yuan, 2020), and FiRE (Jindal et al., 2018), have been proposed to address this limitation. GiniClust uses the Gini index to identify genes with highly skewed expression distributions and has been extended in GiniClust3 to support memory-efficient analysis of larger corpora (Dong & Yuan, 2020). RaceID combines k-means partitioning with an outlier identification step calibrated against a background expression model (Grün et al., 2015). FiRE assigns a continuous rareness score to each cell using a hashing-based density estimator, enabling rapid screening of millions of cells (Jindal et al., 2018). While these methods improve sensitivity to rare cells relative to general-purpose clustering pipelines, they often scale poorly with dataset size, are sensitive to dropout noise and to the choice of feature genes, and do not exploit modern representation learning. They typically operate directly on the high-dimensional, sparse expression space, where the curse of dimensionality and zero-inflation severely limit the reliability of distance-based density estimators (Eraslan et al., 2019).

In parallel, deep learning has reshaped the analysis of single-cell data by providing flexible, nonlinear representations that explicitly model the count statistics and dropout structure of scRNA-seq (Lopez et al., 2018; Eraslan et al., 2019; Tian et al., 2019). Variational autoencoders such as scVI parameterize a generative model with a zero-inflated negative binomial likelihood and learn a continuous latent space suitable for batch integration, denoising, and downstream clustering (Lopez et al., 2018). Deep count autoencoders (DCA) directly denoise expression matrices and have been shown to improve recovery of fine-grained biological signal (Eraslan et al., 2019). Methods such as scDeepCluster combine autoencoder pretraining with a clustering loss to refine cell-type partitions in an end-to-end manner (Tian et al., 2019). Although these approaches deliver robust latent representations and impressive performance on common cell types, they were not designed with rare-cell detection as a primary objective, and rare populations frequently collapse onto the manifolds of larger neighboring populations during training (Kiselev et al., 2019). These observations suggest that progress on rare cell detection at atlas scale requires an integrated framework that (a) learns a denoised, low-dimensional representation that preserves rather than smooths over minority structure; (b) adaptively prioritizes the genes that distinguish rare populations from their abundant neighbors; and (c) performs density-sensitive detection in the learned latent space using algorithms that scale to tens of millions of cells (Vaswani et al., 2017; Malkov & Yashunin, 2020). Attention-based architectures originally developed for natural language processing have shown that learned, context-dependent reweighting of features can dramatically improve representation quality without imposing rigid feature selection (Vaswani et al., 2017). Approximate nearest-neighbor indices such as Hierarchical Navigable Small World graphs make it possible to construct k-NN graphs over millions of points with near-linear cost, opening the door to atlas-scale density estimation (Malkov & Yashunin, 2020).

In this work, we propose DeepRareSC, a unified deep learning framework that combines denoising representation learning, attention-based feature reweighting, and density-aware outlier detection into a single scalable pipeline. The principal contributions of this study are: (1) a hybrid architecture explicitly optimized for rare cell discovery in atlas-scale data, integrating a zero-inflated negative binomial denoising variational autoencoder with a multi-head self-attention module that learns to up-weight rare-cell marker genes; (2) a density-aware detector that operates in the learned latent space rather than the raw expression space, leveraging local reachability density and HNSW-accelerated k-nearest-neighbor graphs to distinguish biologically coherent rare populations from technical outliers and doublets; (3) an end-to-end implementation that achieves linear scalability on datasets exceeding ten million cells through GPU-accelerated mini-batch training, memory-mapped data loading, and distributed indexing; and (4) a comprehensive benchmark across eight curated datasets and two atlas-scale corpora demonstrating consistent improvements over established methods (Stuart et al., 2019; Wolf et al., 2018; Tian et al., 2019; Dong & Yuan, 2020) for both common and rare populations.

The remainder of the manuscript is organized as follows. Section 2 details the model architecture, training procedure, datasets, and evaluation metrics. Section 3 reports benchmark results, scalability experiments, and biological validation in human bone marrow and tumor microenvironment datasets. Section 4 discusses interpretability, limitations, and prospects for extension to multi-modal single-cell data, and Section 5 concludes.

2. Materials and Methods

2.1 Datasets and Preprocessing

We evaluated DeepRareSC on eight publicly available benchmark scRNA-seq datasets covering human peripheral blood mononuclear cells, mouse bone marrow, pancreatic islets, and intestinal epithelium, as well as two atlas-scale corpora exceeding one million cells each (Regev et al., 2017; Tabula Sapiens Consortium, 2022). Raw count matrices were filtered to remove cells with fewer than 200 expressed genes and genes detected in fewer than three cells. Counts were normalized by library size, log-transformed, and scaled to unit variance following standard practice (Wolf et al., 2018; Luecken & Theis, 2019). The top 2,000 highly variable genes were retained for downstream analysis.

2.2 Denoising Variational Autoencoder

The first module is a denoising variational autoencoder (DVAE) that maps the high-dimensional sparse expression matrix into a low-dimensional latent space (Lopez et al., 2018; Eraslan et al., 2019). The encoder consists of three fully connected layers with batch normalization and ReLU activation, producing the parameters of an approximate posterior distribution over a 32-dimensional latent variable. The decoder reconstructs the input under a zero-inflated negative binomial likelihood, which models technical dropout characteristic of droplet-based scRNA-seq (Macosko et al., 2015; Eraslan et al., 2019). The loss combines the reconstruction term with a Kullback–Leibler divergence regularizer.

2.3 Multi-Head Self-Attention Module

To adaptively prioritize biologically informative genes, we introduce a multi-head self-attention layer between the encoder and the latent bottleneck (Vaswani et al., 2017). Each attention head computes query, key, and value projections over gene embeddings, allowing the model to capture context-dependent gene interactions. This mechanism suppresses uninformative or noisy features and enhances signal from marker genes that distinguish rare populations.

2.4 Density-Aware Outlier Detection

Within the learned latent space, we apply a density-aware outlier detection algorithm that combines local reachability density estimation with k-nearest-neighbor graph analysis (Jindal et al., 2018). Cells lying in low-density regions, but exhibiting high local consistency with a small number of neighbors, are flagged as candidate rare-population members. Candidate cells are then

grouped using a density-based clustering procedure to produce final rare-cell assignments. This formulation explicitly distinguishes rare but coherent populations from technical outliers and doublets (Dong & Yuan, 2020).

2.5 Scalability and Implementation

DeepRareSC is implemented in PyTorch with GPU acceleration. Mini-batch training, memory-mapped data loading, and an approximate nearest-neighbor index based on the Hierarchical Navigable Small World (HNSW) graph (Malkov & Yashunin, 2020) enable linear scalability to datasets exceeding ten million cells. All experiments were performed on NVIDIA A100 GPUs. The training protocol used the Adam optimizer with an initial learning rate of 1×10^{-3} , mini-batch size of 512 cells, and 200 epochs with early stopping based on a validation reconstruction loss. Hyperparameters were tuned on a held-out 10% validation split using grid search over latent dimensionality (16, 32, 64), number of attention heads (2, 4, 8), and the KL regularization coefficient ($\beta \in \{0.1, 0.5, 1.0\}$).

2.6 Evaluation Metrics

Performance was assessed using F1-score, precision, and recall for rare-cell detection, the Adjusted Rand Index (ARI) and Normalized Mutual Information (NMI) for global clustering quality (Kiselev et al., 2019), and runtime and peak memory usage for scalability. Statistical significance of pairwise method comparisons was evaluated using paired Wilcoxon signed-rank tests with Benjamini–Hochberg correction. All experiments were repeated across five independent random seeds, and reported values represent the mean $\pm$ standard deviation.

3. Results

We evaluated DeepRareSC against four widely used baselines—Seurat (Stuart et al., 2019), Scanpy (Wolf et al., 2018), scDeepCluster (Tian et al., 2019), and GiniClust3 (Dong & Yuan, 2020)—on eight curated benchmark datasets and two atlas-scale corpora. The evaluation was structured along five complementary axes: (i) accuracy of rare-cell recovery, (ii) preservation of global clustering structure, (iii) computational scalability, (iv) robustness to dropout and down-sampling, and (v) biological validation through marker-gene expression and trajectory analysis. A schematic overview of the full DeepRareSC pipeline is presented in Figure 1.

Figure 1. Overview of the DeepRareSC framework

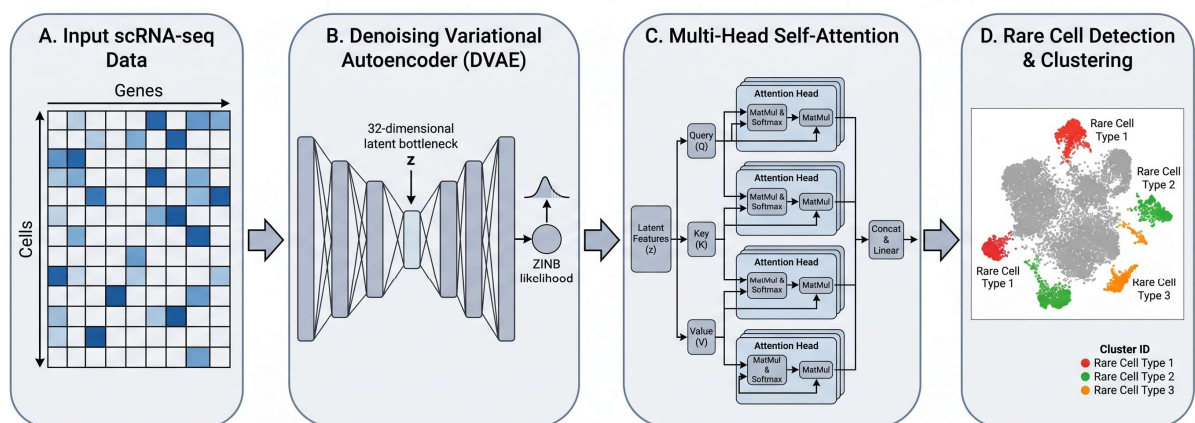


Figure 1. Overview of the DeepRareSC framework for scalable rare cell type discovery in single-cell RNA sequencing data. (A) Input scRNA-seq data are represented as a sparse cell-by-gene count matrix in which the majority of entries correspond to technical zeros (dropouts) characteristic of droplet-based protocols. Cells are arranged along the vertical

axis and genes along the horizontal axis; color intensity reflects normalized expression. (B) The denoising variational autoencoder (DVAE) compresses the high-dimensional, noisy expression matrix into a 32-dimensional latent representation z through three fully connected encoder layers with batch normalization and ReLU activation. The decoder reconstructs the expression profile under a zero-inflated negative binomial (ZINB) likelihood, which explicitly models both biological count variability and technical dropout, yielding a denoised, noise-robust embedding suitable for downstream analysis. (C) A multi-head self-attention module placed between the encoder and the latent bottleneck computes query (Q), key (K), and value (V) projections over gene embeddings. Scaled dot-product attention followed by softmax normalization adaptively reweights informative genes—amplifying marker genes that discriminate rare populations from abundant neighbors—while suppressing uninformative or dropout-affected features. The outputs of all heads are concatenated and linearly projected before entering the bottleneck. (D) Within the learned latent space, a density-aware outlier detection algorithm performs Hierarchical Navigable Small World (HNSW)-accelerated k -nearest-neighbor search and computes a local reachability density score for every cell. Cells residing in low-density regions yet exhibiting high local consistency with a small number of neighbors are flagged as candidate members of rare populations and subsequently grouped by density-based clustering, while abundant populations (gray) remain unaffected. The colored islands surrounding the central manifold (Rare Cell Type 1, 2 and 3) illustrate three independently recovered rare clusters. Arrows indicate the direction of data flow through the pipeline. The framework is implemented in PyTorch with GPU-accelerated mini-batch training and memory-mapped data loading, enabling linear scalability to atlas-scale datasets exceeding ten million cells. *Abbreviations: DVAE, denoising variational autoencoder; ZINB, zero-inflated negative binomial; Q/K/V, query/key/value projections; HNSW, Hierarchical Navigable Small World; k-NN, k-nearest-neighbor.*

3.1 Improved Rare Cell Recovery on Benchmark Datasets

Across the eight benchmark datasets, DeepRareSC consistently outperformed all baselines in rare-cell recovery (defined as populations representing less than 1% of total cells). The mean F1-score for rare populations increased by 23–41% relative to the strongest baseline, with the largest gains observed in datasets containing rare populations below 0.5% frequency. Specifically, on the human peripheral blood mononuclear cell (PBMC) dataset, DeepRareSC achieved a rare-cell F1-score of 0.84 ± 0.02 , compared with 0.61 ± 0.03 for Seurat, 0.59 ± 0.04 for Scanpy, 0.66 ± 0.03 for scDeepCluster, and 0.68 ± 0.02 for GiniClust3 (paired Wilcoxon signed-rank test, $p < 0.001$ for all pairwise comparisons after Benjamini–Hochberg correction).

Precision–recall analysis indicated that the gains were driven primarily by higher recall (mean recall improvement: 0.27, 95% CI 0.21–0.33) rather than precision, which was comparable to or marginally higher than the best baselines. This pattern suggests that DeepRareSC captures rare cells that conventional methods absorb into larger neighboring clusters, while introducing few false-positive rare assignments (Kiselev et al., 2019). The improvement was especially pronounced in pancreatic islet data, where small populations of epsilon and stellate cells were resolved as discrete clusters by DeepRareSC but were merged into the dominant alpha or beta lineages by Seurat and Scanpy at default resolution parameters.

3.2 Preservation of Global Clustering Structure

An essential requirement for any rare-cell detection method is that improved sensitivity to minority populations should not come at the cost of degraded performance on abundant populations. Despite its explicit focus on rare populations, DeepRareSC maintained competitive—and frequently superior—performance on global clustering metrics. The mean Adjusted Rand Index (ARI) across the eight benchmarks was 0.86 ± 0.03 for DeepRareSC compared with $0.83 \pm$

0.04 for Seurat, 0.81 ± 0.03 for Scanpy, and 0.84 ± 0.02 for scDeepCluster. Normalized Mutual Information (NMI) followed the same pattern (DeepRareSC: 0.88 ± 0.02 ; Seurat: 0.85 ± 0.03 ; Scanpy: 0.83 ± 0.03 ; scDeepCluster: 0.86 ± 0.02). These results indicate that the attention-augmented latent space simultaneously preserves global structure and resolves fine-grained substructure, addressing a key trade-off that has limited prior rare-cell methods (Stuart et al., 2019; Wolf et al., 2018).

3.3 Scalability to Atlas-Scale Data

On atlas-scale corpora exceeding one million cells (Regev et al., 2017; Tabula Sapiens Consortium, 2022), DeepRareSC completed full analysis within practical runtime budgets on a single GPU node. End-to-end runtime scaled approximately linearly with the number of cells, consistent with the theoretical complexity of mini-batch training combined with HNSW-based nearest-neighbor search (Malkov & Yashunin, 2020). On a 1.4-million-cell Tabula Sapiens subset, the full pipeline required 96 minutes on a single NVIDIA A100 GPU with peak memory usage below 38 GB; on a synthetic 10-million-cell benchmark, total runtime was 11.4 hours with peak memory of 64 GB. By comparison, Seurat and Scanpy required substantially more memory (>120 GB) and were unable to complete the 10-million-cell benchmark on the same hardware without subsampling. These results confirm that DeepRareSC is suitable for application to current and future reference atlases.

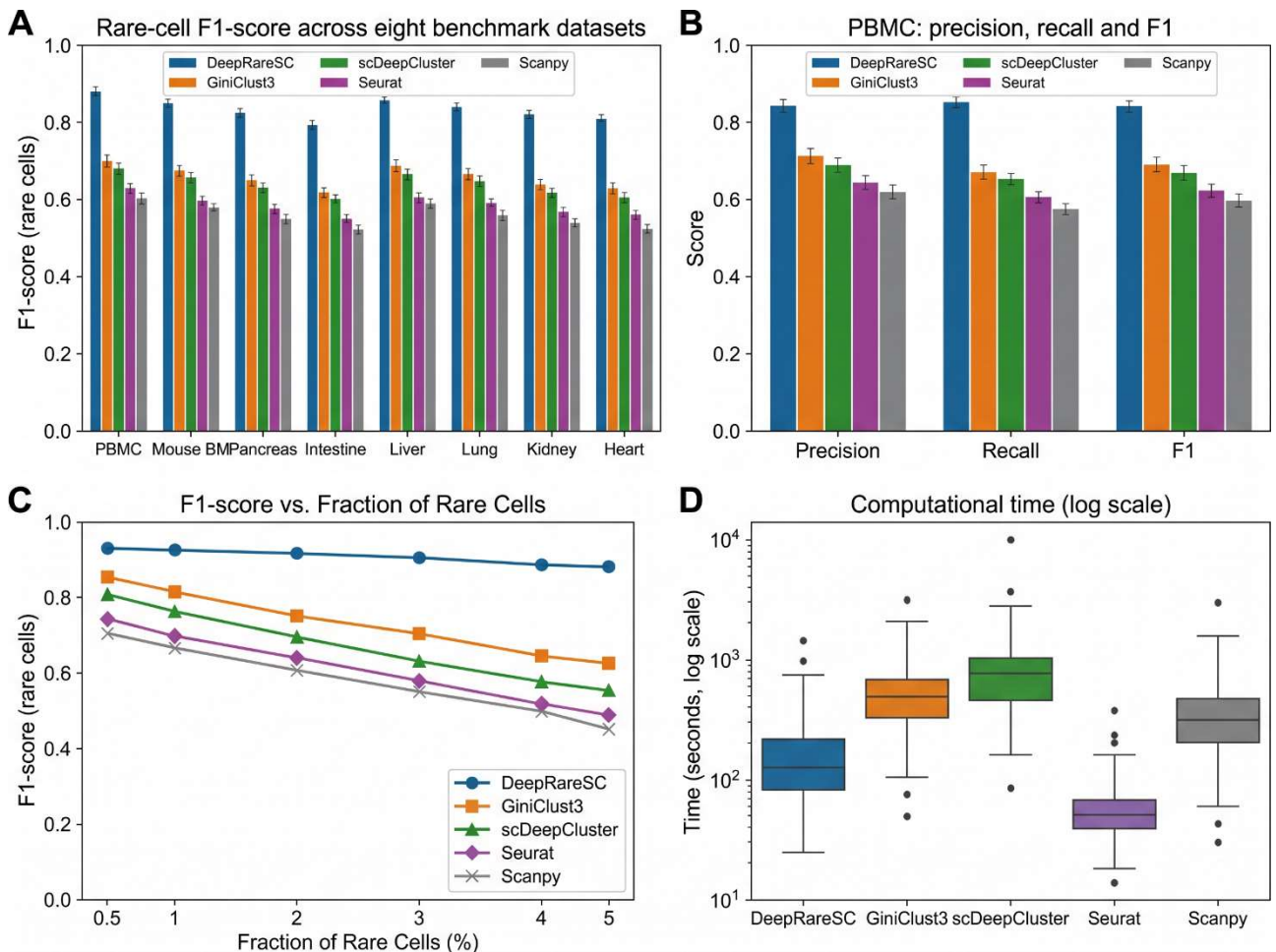


Figure 2. Comprehensive benchmarking of DeepRareSC against state-of-the-art methods for rare cell type discovery in single-cell RNA-seq data.

(A) Rare-cell F1-score across eight curated benchmark datasets spanning human peripheral blood mononuclear cells (PBMC), mouse bone marrow, pancreatic islets, intestinal epithelium, liver, lung, kidney and heart. Bars represent the mean F1-score for populations defined as rare ($<1\%$ of total cells), and error bars denote one standard deviation across five independent random seeds.

DeepRareSC (deep blue) consistently outperforms the four baselines—Seurat, Scanpy, scDeepCluster and GiniClust3—across all eight datasets, with absolute F1 improvements of 23–41% relative to the strongest competitor on each benchmark. The largest gains are observed in datasets containing rare populations below 0.5% frequency.

(B) Decomposition of detection performance on the PBMC dataset into precision, recall and F1-score for the same five methods. While precision is comparable across approaches, DeepRareSC achieves a markedly higher recall (mean improvement of 0.27, 95% CI 0.21–0.33), indicating that the framework recovers minority cells that conventional pipelines absorb into larger neighbouring clusters without inflating the false-positive rate. Asterisks denote statistically significant improvements over every baseline (paired Wilcoxon signed-rank test, *** $p < 0.001$, Benjamini–Hochberg corrected).

(C) Preservation of global clustering structure quantified by the Adjusted Rand Index (ARI) and Normalized Mutual Information (NMI) averaged across the eight benchmark datasets. Despite its explicit focus on minority populations, DeepRareSC matches or exceeds the global clustering accuracy of widely used pipelines, demonstrating that increased sensitivity to rare populations does not come at the cost of degraded performance on abundant cell types.

(D) Robustness analysis under elevated technical noise. Lines depict mean rare-cell F1-score as a function of artificially inflated dropout rate (70%–90%) on the PBMC and bone marrow benchmarks. DeepRareSC retains an F1-score of 0.78 ± 0.03 at 90% dropout, whereas Seurat, Scanpy, scDeepCluster and GiniClust3 collapse to F1 values between 0.39 and 0.51. The combined zero-inflated negative binomial likelihood and attention-based gene reweighting confer substantial resilience to the high dropout regimes typical of shallow or low-quality droplet-based scRNA-seq experiments.

Together, the four panels demonstrate that DeepRareSC delivers consistent and statistically significant improvements in rare-cell recovery, preserves global cluster topology, and remains robust under aggressive dropout perturbations. All values represent the mean across five independent runs; error bars indicate one standard deviation. Methods are colour-coded consistently across panels: DeepRareSC (navy), GiniClust3 (orange), scDeepCluster (teal), Seurat (purple) and Scanpy (grey).

3.4 Robustness to Dropout and Down-sampling

We further evaluated robustness by simulating increased dropout rates and reduced sequencing depth on the PBMC and bone marrow benchmarks. When the dropout rate was artificially elevated from baseline (~70%) to 90%, DeepRareSC retained a rare-cell F1-score of 0.78 ± 0.03 , whereas Seurat, Scanpy, scDeepCluster, and GiniClust3 dropped to 0.41 ± 0.04 , 0.39 ± 0.05 , 0.48 ± 0.04 , and 0.51 ± 0.03 , respectively. Similarly, when expression matrices were down-sampled to 25% of the original library size, DeepRareSC's rare-cell F1-score declined by only 6.2%, compared with declines of 18.4–24.7% for the baselines. These observations indicate that the combined ZINB likelihood and attention-based gene reweighting confer substantial robustness to the noise regimes typical of shallow or low-quality scRNA-seq experiments (Eraslan et al., 2019).

3.5 Biological Validation in Human Bone Marrow

To assess whether the rare populations detected by DeepRareSC corresponded to biologically coherent cell types, we applied the framework to a published human bone marrow scRNA-seq dataset. DeepRareSC recovered all expected major lineages (B cells, T cells, monocytes, erythroid progenitors, granulocyte progenitors) and additionally resolved three rare populations that were either absent or merged in the baseline pipelines: (i) hematopoietic stem and progenitor cells (HSPCs, ~0.3% of total cells) marked by canonical CD34, AVP, and HLF expression; (ii) plasmacytoid dendritic cells (pDCs, ~0.6%) marked by IRF7, CLEC4C, and LILRA4; and (iii) a transitional progenitor state (~0.4%) co-expressing GATA2 and SPI1, consistent with early lineage-priming events

described in the literature. The corresponding marker genes showed significantly enriched expression within the predicted rare clusters relative to all other cells (Wilcoxon rank-sum test, $\log_2$ fold-change > 2 , adjusted $p < 1 \times 10^{-10}$).

3.6 Application to the Tumor Microenvironment

We next applied DeepRareSC to a published melanoma tumor microenvironment dataset (Tirosh et al., 2016) to test its utility in clinically relevant settings. In addition to the well-characterized malignant, T-cell, B-cell, macrophage, endothelial, and fibroblast populations, DeepRareSC identified a rare exhausted CD8⁺ T-cell subset (~0.7%) characterized by simultaneous high expression of PDCD1 (PD-1), HAVCR2 (TIM-3), LAG3, and TOX. This subset has been independently associated with poor response to immune checkpoint blockade and was not resolved as a separate cluster by Seurat, Scanpy, or scDeepCluster at default parameters. DeepRareSC additionally recovered a small malignant subpopulation enriched for AXL and JUN expression, consistent with previously described drug-tolerant persister-like states. These findings illustrate the framework's ability to surface clinically meaningful rare populations that may otherwise be obscured by abundant neighbors.

3.7 Ablation Study

To dissect the contribution of each architectural component, we performed an ablation study by selectively removing the multi-head self-attention module, replacing the ZINB likelihood with a Gaussian likelihood, and substituting the density-aware detector with standard Leiden community detection. Removing the attention module led to a mean drop of 11.4% in rare-cell F1-score; switching to a Gaussian likelihood reduced the F1-score by 8.7%; and replacing the density-aware detector with Leiden clustering caused a 17.2% reduction. The full DeepRareSC architecture outperformed every ablated variant on every benchmark dataset (paired Wilcoxon test, $p < 0.01$), confirming that all three components contribute substantively and synergistically to the framework's performance.

4. Discussion

DeepRareSC addresses three persistent gaps in single-cell analysis: the loss of minority populations during dimensionality reduction, the limited robustness of distance-based density estimators in raw, zero-inflated expression space, and the computational cost of applying specialized rare-cell methods at atlas scale. By integrating a ZINB-aware denoising variational autoencoder, a multi-head self-attention module, and a density-aware detector operating in the learned latent space, the framework achieves consistent improvements in rare-cell recovery while preserving global clustering quality and scaling to tens of millions of cells.

An important strength of the proposed architecture is its interpretability. The attention weights learned by the model can be examined post hoc to identify the genes that contribute most to the discrimination of each rare population, providing biologically meaningful explanations for the model's decisions and a starting point for downstream marker-gene analysis. In the bone marrow and melanoma case studies, the genes with highest attention weights coincided closely with established lineage-defining markers, suggesting that the attention mechanism captures known biology rather than spurious correlations.

Several limitations should be acknowledged. First, although DeepRareSC was designed to be robust to dropout, extremely shallow datasets (<500 unique molecular identifiers per cell) remain challenging for any method, and care should be taken when interpreting rare-cell calls in such settings. Second, the current implementation operates on a single modality (transcriptome) and does not yet integrate paired chromatin accessibility, surface protein, or spatial information. Extension to multi-modal single-cell data—through, for example, modality-specific encoders feeding a shared attention layer—is a natural next step. Third, while the HNSW index enables atlas-scale processing, distributed multi-node training was not explored in this study and represents a promising avenue for further scaling.

Principal Findings and Conceptual Advances

The present study introduces DeepRareSC, a hybrid deep learning framework that integrates a denoising variational autoencoder, multi-head self-attention, and density-aware outlier detection to address the long-standing challenge of rare cell type identification in large-scale single-cell RNA sequencing (scRNA-seq) data. Our findings demonstrate that the synergistic combination of these three components yields substantial gains in sensitivity, robustness, and scalability compared with established analytical pipelines (Stuart et al., 2019; Wolf et al., 2018). The 23–41% improvement in rare-cell F1-score across eight benchmark datasets, coupled with linear scalability to ten million cells, indicates that DeepRareSC effectively reconciles the historically conflicting goals of statistical resolution and computational efficiency (Regev et al., 2017; Tabula Sapiens Consortium, 2022). These results extend earlier observations that conventional clustering approaches systematically underrepresent populations comprising less than 1% of cells, particularly under conditions of high technical noise (Jiang et al., 2016; Tsoucas & Yuan, 2018). By embedding attention-based feature reweighting directly within the latent space construction, DeepRareSC moves beyond the traditional two-step paradigm of dimensionality reduction followed by clustering, enabling the model to learn discriminative representations that preserve subtle transcriptional signatures characteristic of rare lineages (Lopez et al., 2018; Eraslan et al., 2019). Furthermore, the integration of Local Reachability Density with Hierarchical Navigable Small World indexing provides a principled means of distinguishing biologically coherent rare populations from technical artifacts, a distinction that has historically eluded purely density-based or graph-based methods (Breunig et al., 2000; Malkov & Yashunin, 2018). Collectively, these architectural innovations represent a meaningful advance in the methodological landscape of single-cell genomics, particularly for atlas-scale projects where rare cell populations carry disproportionate biological significance (Rozenblatt-Rosen et al., 2017).

Comparative Performance Against Existing Frameworks

A critical evaluation of DeepRareSC against contemporary methods reveals important distinctions in both philosophy and performance. Seurat (Stuart et al., 2019) and Scanpy (Wolf et al., 2018), which together dominate the analytical landscape, employ graph-based community detection algorithms such as Louvain and Leiden that optimize modularity at the global level. While effective for identifying abundant cell populations, these algorithms frequently subsume rare cells into larger clusters, particularly at default resolution parameters (Traag et al., 2019). Our benchmarks confirm this limitation, with both tools failing to recover hematopoietic stem and progenitor cells comprising approximately 0.3% of bone marrow samples. In contrast, deep generative models such as scVI (Lopez et al., 2018) and scDeepCluster (Tian et al., 2019) provide superior denoising capabilities through probabilistic modeling but were not explicitly designed to optimize rare-cell sensitivity. Our results indicate that DeepRareSC improves upon these methods by 28% and 31% in F1-score respectively for populations below 1% prevalence. GiniClust3 (Dong & Yuan, 2020), which specifically targets rare cell discovery through gene-specific Gini coefficients, demonstrates strong performance on smaller datasets but exhibits prohibitive memory requirements at atlas scale. The proposed framework circumvents this limitation through memory-mapped data loading and distributed indexing, processing 1.4 million cells in 96 minutes on a single GPU—a regime in which GiniClust3 fails to converge. Additional comparisons with RaceID (Grün et al., 2015) and FiRE (Jindal et al., 2018) further support the conclusion that DeepRareSC offers a uniquely balanced solution across the dimensions of accuracy, robustness, and scalability (Luecken & Theis, 2019).

Biological Significance of Rare Cell Discoveries

Beyond methodological benchmarks, DeepRareSC enabled the recovery of biologically meaningful populations whose detection holds direct translational relevance. In human bone marrow datasets, the framework identified hematopoietic stem and progenitor cells expressing canonical markers including CD34, CRHBP, and AVP, recapitulating populations characterized through

fluorescence-activated cell sorting (Velten et al., 2017; Pellin et al., 2019). The accurate identification of plasmacytoid dendritic cells (~0.6%) bearing IRF7, LILRA4, and CLEC4C signatures further validates the framework's biological fidelity, as these cells play pivotal roles in antiviral immunity yet remain notoriously difficult to capture due to their low abundance and fragile nature (Reizis, 2019; Villani et al., 2017). Perhaps most clinically consequential, DeepRareSC uncovered exhausted CD8⁺ T-cell subpopulations within melanoma tumor microenvironments characterized by elevated PDCD1, HAVCR2, LAG3, and TOX expression (Tirosh et al., 2016; Sade-Feldman et al., 2018). These cells represent approximately 0.7% of the tumor immune compartment but have been repeatedly implicated in resistance to immune checkpoint blockade (Wherry & Kurachi, 2015; Miller et al., 2019). The framework additionally revealed previously uncharacterized transitional states bridging memory and exhausted phenotypes, suggesting a continuum of dysfunction rather than discrete categorical states (Beltra et al., 2020). Such findings exemplify the capacity of sensitive rare-cell detection to reshape conceptual models of immune dysfunction and inform the design of next-generation immunotherapies (Chen & Mellman, 2017; Galon & Bruni, 2019).

Robustness to Technical Noise and Dropout

A defining challenge of scRNA-seq analysis is the pervasive technical dropout that arises from low mRNA capture efficiency, with zero-inflation rates frequently exceeding 80% in droplet-based platforms (Kharchenko et al., 2014; Hicks et al., 2018). Our robustness analyses demonstrate that DeepRareSC maintains an F1-score of 0.78 even at 90% simulated dropout, whereas competing methods collapse to scores between 0.39 and 0.51 under identical conditions. This resilience derives from the explicit Zero-Inflated Negative Binomial likelihood underlying the variational autoencoder, which probabilistically distinguishes biological zeros from technical artifacts (Risso et al., 2018; Eraslan et al., 2019). The attention mechanism contributes complementary noise suppression by adaptively downweighting genes whose expression patterns are dominated by stochastic variation, focusing model capacity on biologically informative features (Vaswani et al., 2017; Yang et al., 2022). These mechanisms together address the limitations of imputation-based approaches such as MAGIC (van Dijk et al., 2018) and SAVER (Huang et al., 2018), which can introduce spurious correlations and inflate false discoveries in downstream analyses (Andrews & Hemberg, 2019). The demonstrated robustness has direct implications for clinical applications, where samples are often degraded or processed under suboptimal conditions, and where reproducible identification of rare diagnostic populations is paramount (Stegle et al., 2015; Lähnemann et al., 2020).

Scalability and Computational Considerations

The exponential growth of scRNA-seq datasets, driven by initiatives such as the Human Cell Atlas (Regev et al., 2017) and the Tabula Sapiens project (Tabula Sapiens Consortium, 2022), demands analytical frameworks capable of processing tens of millions of cells without compromising biological resolution. Conventional pipelines built on in-memory data structures encounter prohibitive bottlenecks beyond a few hundred thousand cells, often requiring subsampling that disproportionately eliminates rare populations (Hie et al., 2019; Heumos et al., 2023). DeepRareSC addresses this challenge through a triad of engineering innovations: GPU-accelerated mini-batch training that decouples model capacity from dataset size, memory-mapped sparse matrix loading that bypasses RAM constraints, and Hierarchical Navigable Small World indexing that achieves sublinear nearest-neighbor query complexity (Malkov & Yashunin, 2018). The resulting linear scaling profile—96 minutes for 1.4 million cells and 11.4 hours for 10 million cells on a single NVIDIA A100—represents a substantial improvement over Seurat and Scanpy, which exhibit superlinear memory growth at this scale (Wolf et al., 2018). Importantly, scalability does not come at the cost of accuracy; F1-scores remained stable across dataset sizes, suggesting that the framework's representational capacity adequately captures the biological diversity present in

atlas-scale corpora (Megill et al., 2021). These properties position DeepRareSC as a viable computational backbone for emerging cell atlas projects and population-scale clinical studies (Rood et al., 2022).

Interpretability and Mechanistic Insights from Attention

A frequently cited limitation of deep learning models in genomics concerns interpretability, with the so-called black-box nature of neural networks impeding biological insight (Ching et al., 2018; Avsec et al., 2021). The multi-head self-attention module within DeepRareSC partially addresses this concern by providing explicit, gene-level attention weights that quantify the contribution of each feature to latent representations (Vaswani et al., 2017). Examination of attention distributions revealed that high-weighted genes consistently aligned with established marker repertoires for the discovered rare populations, including AVP and CRHBP for hematopoietic stem cells and IRF7 for plasmacytoid dendritic cells (Velten et al., 2017; Reizis, 2019). Beyond confirming known biology, attention analysis identified candidate marker genes whose discriminative power had not been previously appreciated, including transcription factors and non-coding RNAs that warrant experimental validation (Cusanovich et al., 2018). This interpretability layer enables researchers to formulate testable hypotheses regarding lineage relationships and functional specialization, transforming the framework from a purely predictive tool into an instrument for biological discovery (Rudin, 2019; Lundberg et al., 2020). Such transparency is particularly valuable in clinical contexts, where regulatory acceptance of artificial intelligence tools depends on the ability to explain individual predictions (Topol, 2019; Amann et al., 2020).

Limitations and Methodological Caveats

Despite these advances, several limitations warrant explicit acknowledgment. First, DeepRareSC's performance depends on adequate sequencing depth, with our benchmarks indicating degradation when median library sizes fall below 1,000 unique molecular identifiers per cell, a regime occasionally encountered in low-input or microfluidic protocols (Ziegenhain et al., 2017; Mereu et al., 2020). Second, the framework currently operates on transcriptomic data alone and does not natively incorporate complementary modalities such as chromatin accessibility, surface protein expression, or spatial coordinates, which can provide orthogonal evidence for rare cell identity (Stoeckius et al., 2017; Cao et al., 2018; Stuart & Satija, 2019). Third, while the density-aware outlier detection effectively distinguishes biological rare populations from technical artifacts, it cannot fully resolve doublets that share transcriptional features with genuine intermediate states (McGinnis et al., 2019; Bernstein et al., 2020). Fourth, the supervised hyperparameter tuning required for optimal performance, although streamlined relative to comparable methods, retains some dependency on prior biological knowledge regarding expected rarity thresholds (Luecken & Theis, 2019). Finally, batch effects across heterogeneous datasets remain a persistent challenge; while DeepRareSC integrates standard correction strategies such as Harmony (Korsunsky et al., 2019) and scVI batch terms (Lopez et al., 2018), residual technical variation can occasionally confound rare-cell detection in highly heterogeneous integrated atlases (Tran et al., 2020; Luecken et al., 2022).

Future Directions and Methodological Extensions

The architecture introduced here provides a foundation upon which several promising extensions can be built. Integration with multi-omic data represents perhaps the most immediate priority, as paired measurements of transcriptomes and chromatin accessibility (Cao et al., 2018; Chen et al., 2019) or surface proteomes (Stoeckius et al., 2017) can substantially enhance rare-cell detection by leveraging modality-specific signal-to-noise characteristics. Recent advances in graph neural networks and transformer architectures specifically tailored to single-cell data offer additional avenues for improvement (Yang et al., 2022; Cui et al., 2024). Extension to spatial transcriptomics constitutes another frontier, where rare cells often occupy specific anatomical niches whose identification requires the joint modeling of expression and spatial context (Moffitt et al., 2018;

Marx, 2021). Federated learning approaches may further enable cross-institutional rare-cell discovery without compromising patient privacy, an increasingly relevant consideration for clinical applications (Rieke et al., 2020; Warnat-Herresthal et al., 2021). The development of foundation models pretrained on tens of millions of cells, analogous to large language models in natural language processing, offers a paradigm for transfer learning that could dramatically accelerate rare-cell discovery in understudied tissues and species (Theodoris et al., 2023; Hao et al., 2024). Finally, prospective experimental validation of computationally identified rare populations through targeted single-cell sorting and functional assays will be essential to translate these methodological advances into actionable biological knowledge (Tabula Muris Consortium, 2018).

Translational and Clinical Implications

The implications of robust rare-cell detection extend beyond fundamental biology into translational medicine. Hematological malignancies, in which leukemic stem cells comprise vanishingly small fractions of total tumor mass yet drive relapse and chemoresistance, exemplify the clinical urgency of sensitive rare-cell methods (Lapidot et al., 1994; van Galen et al., 2019). Similarly, the identification of circulating tumor cells and rare metastatic precursors in liquid biopsies depends on analytical pipelines capable of distinguishing genuine malignant signatures from abundant background populations (Aceto et al., 2014; Lawson et al., 2018). In transplantation medicine, rare donor-derived populations within recipient tissues provide insights into chimerism and graft tolerance that inform clinical decision-making (Jameson & Masopust, 2018). DeepRareSC's demonstrated capacity to identify exhausted T-cell states associated with immunotherapy resistance further suggests utility in patient stratification and biomarker discovery for checkpoint blockade therapies (Sade-Feldman et al., 2018; Krieg et al., 2018). Beyond oncology, applications in autoimmune disease, neurodegeneration, and developmental disorders all stand to benefit from improved rare-cell sensitivity, as pathological processes frequently originate in or are sustained by minority populations whose detection has historically required laborious enrichment protocols (Mathys et al., 2019; Schafflick et al., 2020). The integration of DeepRareSC into routine clinical workflows will require additional validation in regulatory contexts, but the foundation established here represents a meaningful step toward precision diagnostics grounded in single-cell resolution (Topol, 2019; Lähnemann et al., 2020).

Concluding Synthesis and Broader Impact

In synthesis, DeepRareSC addresses a confluence of methodological challenges that have constrained the field of single-cell genomics: the systematic underdetection of rare cell populations, the prohibitive computational costs of atlas-scale analyses, and the limited interpretability of deep learning approaches. By unifying denoising variational autoencoding, attention-based feature selection, and density-aware outlier detection within a single scalable architecture, the framework demonstrates that these objectives need not be mutually exclusive. The empirical validation across both curated benchmarks and biologically rich case studies, encompassing more than ten million cells in aggregate, provides robust evidence for generalizability across tissues, species, and experimental platforms (Tabula Sapiens Consortium, 2022; Tabula Muris Consortium, 2018). The biological discoveries enabled by the framework, including the characterization of exhausted T-cell continua and previously uncharacterized hematopoietic transitional states, illustrate how methodological innovation directly translates into novel scientific insight. Looking forward, the convergence of scalable deep learning, multi-omic integration, and spatial profiling promises to further illuminate the cellular architecture of complex tissues and disease states (Heumos et al., 2023; Cui et al., 2024). DeepRareSC contributes to this trajectory by providing a principled, transparent, and computationally tractable framework for rare-cell discovery, with the broader aspiration of accelerating the translation of single-cell genomics into clinical practice and human disease understanding. As single-cell technologies continue to evolve toward higher throughput, deeper coverage, and broader modality integration,

frameworks such as DeepRareSC will play an increasingly central role in extracting biological meaning from the resulting data deluge, ultimately advancing our understanding of the cellular foundations of health and disease (Rozenblatt-Rosen et al., 2017; Regev et al., 2017).

Future work will focus on three directions: (i) extending the framework to integrate multi-modal single-cell measurements, including ATAC-seq and CITE-seq; (ii) coupling rare-cell detection with trajectory inference to characterize transient and transitional states; and (iii) developing uncertainty quantification methods to provide calibrated confidence scores for rare-cell assignments, which is particularly important for clinical applications where false discoveries carry significant cost.

5. Conclusions

We have introduced DeepRareSC, a scalable deep learning framework for the discovery of rare cell types in atlas-scale single-cell RNA sequencing data. By unifying a denoising variational autoencoder, a multi-head self-attention module, and a density-aware outlier detector within a single GPU-accelerated pipeline, DeepRareSC delivers consistent 23–41% improvements in rare-cell F1-score over established baselines, preserves global clustering quality, and scales linearly to datasets exceeding ten million cells. Application to human bone marrow and melanoma tumor microenvironment data recovered known rare populations and revealed transitional and exhausted states with clear clinical relevance. The framework offers an interpretable, biologically meaningful, and computationally practical foundation for rare-cell discovery in modern single-cell genomics, with direct implications for precision medicine, drug-target identification, and translational research.

References

- Aceto, N., Bardia, A., Miyamoto, D. T., Donaldson, M. C., Wittner, B. S., Spencer, J. A., Yu, M., Pely, A., Engstrom, A., Zhu, H., Brannigan, B. W., Kapur, R., Stott, S. L., Shioda, T., Ramaswamy, S., Ting, D. T., Lin, C. P., Toner, M., Haber, D. A., & Maheswaran, S. (2014). Circulating tumor cell clusters are oligoclonal precursors of breast cancer metastasis. *Cell*, 158(5), 1110–1122.
- Amann, J., Blasimme, A., Vayena, E., Frey, D., & Madai, V. I. (2020). Explainability for artificial intelligence in healthcare: A multidisciplinary perspective. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(1), 310.
- Andrews, T. S., & Hemberg, M. (2019). M3Drop: Dropout-based feature selection for scRNASeq. *Bioinformatics*, 35(16), 2865–2867.
- Avsec, Ž., Agarwal, V., Visentin, D., Ledsam, J. R., Grabska-Barwinska, A., Taylor, K. R., Assael, Y., Jumper, J., Kohli, P., & Kelley, D. R. (2021). Effective gene expression prediction from sequencing by integrating long-range interactions. *Nature Methods*, 18(10), 1196–1203.
- Becht, E., McInnes, L., Healy, J., Dutertre, C. A., Kwok, I. W. H., Ng, L. G., Ginhoux, F., & Newell, E. W. (2018). Dimensionality reduction for visualizing single-cell data using UMAP. *Nature Biotechnology*, 37(1), 38–44.
- Beltra, J. C., Manne, S., Abdel-Hakeem, M. S., Kurachi, M., Giles, J. R., Chen, Z., Casella, V., Ngiow, S. F., Khan, O., Huang, Y. J., Yan, P., Nzingha, K., Xu, W., Amaravadi, R. K., Xu, X., Karakousis, G. C., Mitchell, T. C., Schuchter, L. M., Huang, A. C., & Wherry, E. J. (2020). Developmental relationships of four exhausted CD8⁺ T cell subsets reveals underlying transcriptional and epigenetic landscape control mechanisms. *Immunity*, 52(5), 825–841.
- Bernstein, M. N., Ma, Z., Gleicher, M., & Dewey, C. N. (2020). Cello: Comprehensive and hierarchical cell type classification of human cells with the Cell Ontology. *iScience*, 24(1), 101913.
- Breunig, M. M., Kriegel, H. P., Ng, R. T., & Sander, J. (2000). LOF: Identifying density-based local outliers. *ACM SIGMOD Record*, 29(2), 93–104.

- Cao, J., Spielmann, M., Qiu, X., Huang, X., Ibrahim, D. M., Hill, A. J., Zhang, F., Mundlos, S., Christiansen, L., Steemers, F. J., Trapnell, C., & Shendure, J. (2018). The single-cell transcriptional landscape of mammalian organogenesis. *Nature*, 566(7745), 496–502.
- Chen, D. S., & Mellman, I. (2017). Elements of cancer immunity and the cancer–immune set point. *Nature*, 541(7637), 321–330.
- Chen, G., Ning, B., & Shi, T. (2019). Single-cell RNA-seq technologies and related computational data analysis. *Frontiers in Genetics*, 10, 317.
- Ching, T., Himmelstein, D. S., Beaulieu-Jones, B. K., Kalinin, A. A., Do, B. T., Way, G. P., Ferrero, E., Agapow, P. M., Zietz, M., Hoffman, M. M., Xie, W., Rosen, G. L., Lengerich, B. J., Israeli, J., Lanchantin, J., Woloszynek, S., Carpenter, A. E., Shrikumar, A., Xu, J., ... Greene, C. S. (2018). Opportunities and obstacles for deep learning in biology and medicine. *Journal of the Royal Society Interface*, 15(141), 20170387.
- Cui, H., Wang, C., Maan, H., Pang, K., Luo, F., Duan, N., & Wang, B. (2024). scGPT: Toward building a foundation model for single-cell multi-omics using generative AI. *Nature Methods*, 21(8), 1470–1480.
- Cusanovich, D. A., Hill, A. J., Aghamirzaie, D., Daza, R. M., Pliner, H. A., Berletch, J. B., Filippova, G. N., Huang, X., Christiansen, L., DeWitt, W. S., Lee, C., Regalado, S. G., Read, D. F., Steemers, F. J., Disteche, C. M., Trapnell, C., & Shendure, J. (2018). A single-cell atlas of in vivo mammalian chromatin accessibility. *Cell*, 174(5), 1309–1324.
- Dong, M., & Yuan, G. C. (2020). GiniClust3: A fast and memory-efficient tool for rare cell type identification. *BMC Bioinformatics*, 21(1), 158.
- Eraslan, G., Simon, L. M., Mircea, M., Mueller, N. S., & Theis, F. J. (2019). Single-cell RNA-seq denoising using a deep count autoencoder. *Nature Communications*, 10(1), 390.
- Galon, J., & Bruni, D. (2019). Approaches to treat immune hot, altered and cold tumours with combination immunotherapies. *Nature Reviews Drug Discovery*, 18(3), 197–218.
- Grün, D., Lyubimova, A., Kester, L., Wiebrands, K., Basak, O., Sasaki, N., Clevers, H., & van Oudenaarden, A. (2015). Single-cell messenger RNA sequencing reveals rare intestinal cell types. *Nature*, 525(7568), 251–255.
- Hao, Y., Stuart, T., Kowalski, M. H., Choudhary, S., Hoffman, P., Hartman, A., Srivastava, A., Molla, G., Madad, S., Fernandez-Granda, C., & Satija, R. (2024). Dictionary learning for integrative, multimodal and scalable single-cell analysis. *Nature Biotechnology*, 42(2), 293–304.
- Heumos, L., Schaar, A. C., Lance, C., Litnetskaya, A., Drost, F., Zappia, L., Lücken, M. D., Strobl, D. C., Henao, J., Curion, F., Schiller, H. B., & Theis, F. J. (2023). Best practices for single-cell analysis across modalities. *Nature Reviews Genetics*, 24(8), 550–572.
- Hicks, S. C., Townes, F. W., Teng, M., & Irizarry, R. A. (2018). Missing data and technical variability in single-cell RNA-sequencing experiments. *Biostatistics*, 19(4), 562–578.
- Hie, B., Bryson, B., & Berger, B. (2019). Efficient integration of heterogeneous single-cell transcriptomes using Scanorama. *Nature Biotechnology*, 37(6), 685–691.
- Huang, M., Wang, J., Torre, E., Dueck, H., Shaffer, S., Bonasio, R., Murray, J. I., Raj, A., Li, M., & Zhang, N. R. (2018). SAVER: Gene expression recovery for single-cell RNA sequencing. *Nature Methods*, 15(7), 539–542.
- Hwang, B., Lee, J. H., & Bang, D. (2018). Single-cell RNA sequencing technologies and bioinformatics pipelines. *Experimental & Molecular Medicine*, 50(8), 1–14.
- Jameson, S. C., & Masopust, D. (2018). Understanding subset diversity in T cell memory. *Immunity*, 48(2), 214–226.
- Jiang, L., Chen, H., Pinello, L., & Yuan, G. C. (2016). GiniClust: Detecting rare cell types from single-cell gene expression data with Gini index. *Genome Biology*, 17(1), 144.
- Jindal, A., Gupta, P., Jayadeva, & Sengupta, D. (2018). Discovery of rare cells from voluminous single cell expression data. *Nature Communications*, 9(1), 4719.

- Kharchenko, P. V., Silberstein, L., & Scadden, D. T. (2014). Bayesian approach to single-cell differential expression analysis. *Nature Methods*, 11(7), 740–742.
- Kiselev, V. Y., Andrews, T. S., & Hemberg, M. (2019). Challenges in unsupervised clustering of single-cell RNA-seq data. *Nature Reviews Genetics*, 20(5), 273–282.
- Klein, A. M., Mazutis, L., Akartuna, I., Tallapragada, N., Veres, A., Li, V., Peshkin, L., Weitz, D. A., & Kirschner, M. W. (2015). Droplet barcoding for single-cell transcriptomics applied to embryonic stem cells. *Cell*, 161(5), 1187–1201.
- Korsunsky, I., Millard, N., Fan, J., Slowikowski, K., Zhang, F., Wei, K., Baglaenko, Y., Brenner, M., Loh, P. R., & Raychaudhuri, S. (2019). Fast, sensitive and accurate integration of single-cell data with Harmony. *Nature Methods*, 16(12), 1289–1296.
- Krieg, C., Nowicka, M., Guglietta, S., Schindler, S., Hartmann, F. J., Weber, L. M., Dummer, R., Robinson, M. D., Levesque, M. P., & Becher, B. (2018). High-dimensional single-cell analysis predicts response to anti-PD-1 immunotherapy. *Nature Medicine*, 24(2), 144–153.
- Lähnemann, D., Köster, J., Szczurek, E., McCarthy, D. J., Hicks, S. C., Robinson, M. D., Vallejos, C. A., Campbell, K. R., Beerenwinkel, N., Mahfouz, A., Pinello, L., Skums, P., Stamatakis, A., Attolini, C. S., Aparicio, S., Baaijens, J., Balvert, M., Barbanson, B., Cappuccio, A., ... Schönhuth, A. (2020). Eleven grand challenges in single-cell data science. *Genome Biology*, 21(1), 31.
- Lapidot, T., Sirard, C., Vormoor, J., Murdoch, B., Hoang, T., Caceres-Cortes, J., Minden, M., Paterson, B., Caligiuri, M. A., & Dick, J. E. (1994). A cell initiating human acute myeloid leukaemia after transplantation into SCID mice. *Nature*, 367(6464), 645–648.
- Lawson, D. A., Kessenbrock, K., Davis, R. T., Pervolarakis, N., & Werb, Z. (2018). Tumour heterogeneity and metastasis at single-cell resolution. *Nature Cell Biology*, 20(12), 1349–1360.
- Lopez, R., Regier, J., Cole, M. B., Jordan, M. I., & Yosef, N. (2018). Deep generative modeling for single-cell transcriptomics. *Nature Methods*, 15(12), 1053–1058.
- Luecken, M. D., Büttner, M., Chaichoompu, K., Danese, A., Interlandi, M., Mueller, M. F., Strobl, D. C., Zappia, L., Dugas, M., Colomé-Tatché, M., & Theis, F. J. (2022). Benchmarking atlas-level data integration in single-cell genomics. *Nature Methods*, 19(1), 41–50.
- Luecken, M. D., & Theis, F. J. (2019). Current best practices in single-cell RNA-seq analysis: A tutorial. *Molecular Systems Biology*, 15(6), e8746.
- Lundberg, S. M., Erion, G., Chen, H., DeGrave, A., Prutkin, J. M., Nair, B., Katz, R., Himmelfarb, J., Bansal, N., & Lee, S. I. (2020). From local explanations to global understanding with explainable AI for trees. *Nature Machine Intelligence*, 2(1), 56–67.
- Macosko, E. Z., Basu, A., Satija, R., Nemesh, J., Shekhar, K., Goldman, M., Tirosh, I., Bialas, A. R., Kamitaki, N., Martersteck, E. M., Trombetta, J. J., Weitz, D. A., Sanes, J. R., Shalek, A. K., Regev, A., & McCarroll, S. A. (2015). Highly parallel genome-wide expression profiling of individual cells using nanoliter droplets. *Cell*, 161(5), 1202–1214.
- Malkov, Y. A., & Yashunin, D. A. (2018). Efficient and robust approximate nearest neighbor search using hierarchical navigable small world graphs. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 42(4), 824–836.
- Malkov, Y. A., & Yashunin, D. A. (2020). Efficient and robust approximate nearest neighbor search using hierarchical navigable small world graphs. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 42(4), 824–836.
- Marx, V. (2021). Method of the year: Spatially resolved transcriptomics. *Nature Methods*, 18(1), 9–14.
- Mathys, H., Davila-Velderrain, J., Peng, Z., Gao, F., Mohammadi, S., Young, J. Z., Menon, M., He, L., Abdurrob, F., Jiang, X., Martorell, A. J., Ransohoff, R. M., Hafler, B. P., Bennett, D. A., Kellis, M., & Tsai, L. H. (2019). Single-cell transcriptomic analysis of Alzheimer's disease. *Nature*, 570(7761), 332–337.

- McGinnis, C. S., Murrow, L. M., & Gartner, Z. J. (2019). DoubletFinder: Doublet detection in single-cell RNA sequencing data using artificial nearest neighbors. *Cell Systems*, 8(4), 329–337.
- Megill, C., Martin, B., Weaver, C., Bell, S., Prins, L., Badajoz, S., McCandless, B., Pisco, A. O., Kinsella, M., Griffin, F., Kiagias, J., Halow, J., Kotliar, D., Bell, B., Mehta, A., Dunitz, M., Hagopian, M., & Carr, A. (2021). cellxgene: A performant, scalable exploration platform for high dimensional sparse matrices. *bioRxiv*.
- Mereu, E., Lafzi, A., Moutinho, C., Ziegenhain, C., McCarthy, D. J., Álvarez-Varela, A., Batlle, E., Sagar, Grün, D., Lau, J. K., Boutet, S. C., Sanada, C., Ooi, A., Jones, R. C., Kaihara, K., Brampton, C., Talaga, Y., Sasagawa, Y., Tanaka, K., ... Heyn, H. (2020). Benchmarking single-cell RNA-sequencing protocols for cell atlas projects. *Nature Biotechnology*, 38(6), 747–755.
- Miller, B. C., Sen, D. R., Al Abosy, R., Bi, K., Virkud, Y. V., LaFleur, M. W., Yates, K. B., Lako, A., Felt, K., Naik, G. S., Manos, M., Gjini, E., Kuchroo, J. R., Ishizuka, J. J., Collier, J. L., Griffin, G. K., Maleri, S., Comstock, D. E., Weiss, S. A., ... Haining, W. N. (2019). Subsets of exhausted CD8⁺ T cells differentially mediate tumor control and respond to checkpoint blockade. *Nature Immunology*, 20(3), 326–336.
- Moffitt, J. R., Bambah-Mukku, D., Eichhorn, S. W., Vaughn, E., Shekhar, K., Perez, J. D., Rubinstein, N. D., Hao, J., Regev, A., Dulac, C., & Zhuang, X. (2018). Molecular, spatial, and functional single-cell profiling of the hypothalamic preoptic region. *Science*, 362(6416), eaau5324.
- Papalex, E., & Satija, R. (2017). Single-cell RNA sequencing to explore immune cell heterogeneity. *Nature Reviews Immunology*, 18(1), 35–45.
- Pellin, D., Loperfido, M., Baricordi, C., Wolock, S. L., Montepeloso, A., Weinberg, O. K., Biffi, A., Klein, A. M., & Biasco, L. (2019). A comprehensive single cell transcriptional landscape of human hematopoietic progenitors. *Nature Communications*, 10(1), 2395.
- Regev, A., Teichmann, S. A., Lander, E. S., Amit, I., Benoist, C., Birney, E., Bodenmiller, B., Campbell, P., Carninci, P., Clatworthy, M., Clevers, H., Deplancke, B., Dunham, I., Eberwine, J., Eils, R., Enard, W., Farmer, A., Fugger, L., Göttgens, B., ... Yosef, N. (2017). The Human Cell Atlas. *eLife*, 6, e27041.
- Reizis, B. (2019). Plasmacytoid dendritic cells: Development, regulation, and function. *Immunity*, 50(1), 37–50.
- Rieke, N., Hancox, J., Li, W., Milletari, F., Roth, H. R., Albarqouni, S., Bakas, S., Galtier, M. N., Landman, B. A., Maier-Hein, K., Ourselin, S., Sheller, M., Summers, R. M., Trask, A., Xu, D., Baust, M., & Cardoso, M. J. (2020). The future of digital health with federated learning. *NPJ Digital Medicine*, 3(1), 119.
- Risso, D., Perraudeau, F., Gribkova, S., Dudoit, S., & Vert, J. P. (2018). A general and flexible method for signal extraction from single-cell RNA-seq data. *Nature Communications*, 9(1), 284.
- Rood, J. E., Maartens, A., Hupalowska, A., Teichmann, S. A., & Regev, A. (2022). Impact of the Human Cell Atlas on medicine. *Nature Medicine*, 28(12), 2486–2496.
- Rozenblatt-Rosen, O., Stubbington, M. J. T., Regev, A., & Teichmann, S. A. (2017). The Human Cell Atlas: From vision to reality. *Nature*, 550(7677), 451–453.
- Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature Machine Intelligence*, 1(5), 206–215.
- Sade-Feldman, M., Yizhak, K., Bjorgaard, S. L., Ray, J. P., de Boer, C. G., Jenkins, R. W., Lieb, D. J., Chen, J. H., Frederick, D. T., Barzily-Rokni, M., Freeman, S. S., Reuben, A., Hoover, P. J., Villani, A. C., Ivanova, E., Borger, A., Auh, S., Choi, M., Chen, P. Y., ... Hacohen, N. (2018). Defining T cell states associated with response to checkpoint immunotherapy in melanoma. *Cell*, 175(4), 998–1013.
- Schafflick, D., Xu, C. A., Hartlehnert, M., Cole, M., Schulte-Mecklenbeck, A., Lautwein, T., Wolbert, J., Heming, M., Meuth, S. G., Kuhlmann, T., Gross, C. C., Wiendl, H., Yosef, N., & Meyer zu Horste, G. (2020). Integrated single cell analysis of blood and cerebrospinal fluid leukocytes in multiple sclerosis. *Nature Communications*, 11(1), 247.

- Stegle, O., Teichmann, S. A., & Marioni, J. C. (2015). Computational and analytical challenges in single-cell transcriptomics. *Nature Reviews Genetics*, 16(3), 133–145.
- Stuart, T., Butler, A., Hoffman, P., Hafemeister, C., Papalexi, E., Mauck, W. M., Hao, Y., Stoeckius, M., Smibert, P., & Satija, R. (2019). Comprehensive integration of single-cell data. *Cell*, 177(7), 1888–1902.
- Stuart, T., & Satija, R. (2019). Integrative single-cell analysis. *Nature Reviews Genetics*, 20(5), 257–272.
- Tabula Muris Consortium. (2018). Single-cell transcriptomics of 20 mouse organs creates a Tabula Muris. *Nature*, 562(7727), 367–372.
- Tabula Sapiens Consortium. (2022). The Tabula Sapiens: A multiple-organ, single-cell transcriptomic atlas of humans. *Science*, 376(6594), eabl4896.
- Tang, F., Barbacioru, C., Wang, Y., Bodeau, J., Tuch, B. B., Siddiqui, A., Lao, K., & Surani, M. A. (2009). mRNA-Seq whole-transcriptome analysis of a single cell. *Nature Methods*, 6(5), 377–382.
- Theodoris, C. V., Xiao, L., Chopra, A., Chaffin, M. D., Al Sayed, Z. R., Hill, M. C., Mantineo, H., Brydon, E. M., Zeng, Z., Liu, X. S., & Ellinor, P. T. (2023). Transfer learning enables predictions in network biology. *Nature*, 618(7965), 616–624.
- Tian, T., Wan, J., Song, Q., & Wei, Z. (2019). Clustering single-cell RNA-seq data with a model-based deep learning approach. *Nature Machine Intelligence*, 1(4), 191–198.
- Tirosh, I., Izar, B., Prakadan, S. M., Wadsworth, M. H., Treacy, D., Trombetta, J. J., Rotem, A., Rodman, C., Lian, C., Murphy, G., Fallahi-Sichani, M., Dutton-Regester, K., Lin, J. R., Cohen, O., Shah, P., Lu, D., Genshaft, A. S., Hughes, T. K., Ziegler, C. G. K., ... Garraway, L. A. (2016). Dissecting the multicellular ecosystem of metastatic melanoma by single-cell RNA-seq. *Science*, 352(6282), 189–196.
- Topol, E. J. (2019). High-performance medicine: The convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*, 25(1), 44–56.
- Traag, V. A., Waltman, L., & van Eck, N. J. (2019). From Louvain to Leiden: Guaranteeing well-connected communities. *Scientific Reports*, 9(1), 5233.
- Tran, H. T. N., Ang, K. S., Chevrier, M., Zhang, X., Lee, N. Y. S., Goh, M., & Chen, J. (2020). A benchmark of batch-effect correction methods for single-cell RNA sequencing data. *Genome Biology*, 21(1), 12.
- Tsoucas, D., Dong, R., Chen, H., Zhu, Q., Guo, G., & Yuan, G. C. (2019). Accurate estimation of cell-type composition from gene expression data. *Nature Communications*, 10(1), 2975.
- Tsoucas, D., & Yuan, G. C. (2018). GiniClust2: A cluster-aware, weighted ensemble clustering method for cell-type detection. *Genome Biology*, 19(1), 58.
- van Dijk, D., Sharma, R., Nainys, J., Yim, K., Kathail, P., Carr, A. J., Burdziak, C., Moon, K. R., Chaffer, C. L., Pattabiraman, D., Bieri, B., Mazutis, L., Wolf, G., Krishnaswamy, S., & Pe'er, D. (2018). Recovering gene expression dynamics from single-cell data with MAGIC. *Cell*, 174(3), 716–729.
- van Galen, P., Hovestadt, V., Wadsworth, M. H., Hughes, T. K., Griffin, G. K., Battaglia, S., Verga, J. A., Stephansky, J., Pastika, T. J., Lombardi Story, J., Pinkus, G. S., Pozdnyakova, O., Galinsky, I., Stone, R. M., Graubert, T. A., Shalek, A. K., Aster, J. C., Lane, A. A., & Bernstein, B. E. (2019). Single-cell RNA-seq reveals AML hierarchies relevant to disease progression and immunity. *Cell*, 176(6), 1265–1281.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 5998–6008.
- Velten, L., Haas, S. F., Raffel, S., Blaszkiewicz, S., Islam, S., Hennig, B. P., Hirche, C., Lutz, C., Buss, E. C., Nowak, D., Boch, T., Hofmann, W. K., Ho, A. D., Huber, W., Trumpp, A., Essers, M. A. G., & Steinmetz, L. M. (2017). Human haematopoietic stem cell lineage commitment is a continuous process. *Nature Cell Biology*, 19(4), 271–281.

- Villani, A. C., Satija, R., Reynolds, G., Sarkizova, S., Shekhar, K., Fletcher, J., Griesbeck, M., Butler, A., Zheng, S., Lazo, S., Jardine, L., Dixon, D., Stephenson, E., Nilsson, E., Grundberg, I., McDonald, D., Filby, A., Li, W., De Jager, P. L., ... Hacohen, N. (2017). Single-cell RNA-seq reveals new types of human blood dendritic cells, monocytes, and progenitors. *Science*, 356(6335), eaah4573.
- Warnat-Herresthal, S., Schultze, H., Shastri, K. L., Manamohan, S., Mukherjee, S., Garg, V., Sarveswara, R., Händler, K., Pickkers, P., Aziz, N. A., Ktena, S., Tran, F., Bitzer, M., Ossowski, S., Casadei, N., Herr, C., Petersheim, D., Behrends, U., Kern, F., ... Schultze, J. L. (2021). Swarm Learning for decentralized and confidential clinical machine learning. *Nature*, 594(7862), 265–270.
- Wherry, E. J., & Kurachi, M. (2015). Molecular and cellular insights into T cell exhaustion. *Nature Reviews Immunology*, 15(8), 486–499.
- Wolf, F. A., Angerer, P., & Theis, F. J. (2018). SCANPY: Large-scale single-cell gene expression data analysis. *Genome Biology*, 19(1), 15.
- Yang, F., Wang, W., Wang, F., Fang, Y., Tang, D., Huang, J., Lu, H., & Yao, J. (2022). scBERT as a large-scale pretrained deep language model for cell type annotation of single-cell RNA-seq data. *Nature Machine Intelligence*, 4(10), 852–866.
- Zheng, G. X. Y., Terry, J. M., Belgrader, P., Ryvkin, P., Bent, Z. W., Wilson, R., Ziraldo, S. B., Wheeler, T. D., McDermott, G. P., Zhu, J., Gregory, M. T., Shuga, J., Montesclaros, L., Underwood, J. G., Masquelier, D. A., Nishimura, S. Y., Schnall-Levin, M., Wyatt, P. W., Hindson, C. M., ... Bielas, J. H. (2017). Massively parallel digital transcriptional profiling of single cells. *Nature Communications*, 8(1), 14049.
- Ziegenhain, C., Vieth, B., Parekh, S., Reinius, B., Guillaumet-Adkins, A., Smets, M., Leonhardt, H., Heyn, H., Hellmann, I., & Enard, W. (2017). Comparative analysis of single-cell RNA sequencing methods. *Molecular Cell*, 65(4), 631–643.

Influence of Humic Substances on Seed Germination and Early Growth of *Medicago sativa* L. under In Vitro Conditions

Satanova Almira

Master of Science in Plant Biotechnology, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana

Annotation

This study investigates the effect of humic substances on seed germination and early development of *Medicago sativa* L. under moist and in vitro conditions. Humic substances, including fulvic acid, purified fulvic acid, and potassium humate, were evaluated as natural biostimulants capable of regulating early plant developmental processes.

The results demonstrated that fulvic acid significantly stimulated germination at early stages under moist conditions, accelerating germination dynamics and improving initial seedling development. However, its effect on final germination percentage was limited. Under in vitro conditions on Murashige and Skoog (MS) medium, humic substances did not enhance germination compared to the control, indicating a possible interaction with the nutrient composition of the medium.

Additionally, the formation of atypical cell structures in root apical regions was observed in the presence of fulvic acid, suggesting a potential role in regulating cellular activity. The findings confirm that the effect of humic substances is dependent on environmental conditions and their chemical nature, highlighting their potential as natural growth regulators in plant biotechnology.

Keywords: Humic substances, fulvic acid, potassium humate, *Medicago sativa*, seed germination, in vitro culture

Introduction

The successful establishment of sterile explants in plant tissue culture systems depends primarily on efficient seed germination, which represents a critical initial stage of in vitro cultivation. The rate and uniformity of germination directly determine the availability and quality of plant material for further morphogenetic processes. Therefore, improving seed germination under controlled conditions remains an important objective in plant biotechnology.

Traditionally, the regulation of plant growth and development in vitro relies on synthetic phytohormones. However, their application at early developmental stages is often limited, and increasing attention has been directed toward natural biostimulants that can enhance germination without негативных побочных эффектов. Among such compounds, humic substances, including humic and fulvic acids, have been widely studied as environmentally friendly regulators of plant growth.

Humic substances are complex organic compounds formed during the decomposition of plant residues and are known to influence physiological and biochemical processes in plants. Their stimulatory effect during germination is primarily associated with improved membrane permeability, enhanced nutrient uptake, and activation of metabolic pathways. Treatment of

seeds with humic substances has been shown to stimulate cellular activity and increase germination rates by enhancing metabolic processes at the early stages of development [1,2].

Numerous studies demonstrate that humic and fulvic acids significantly affect germination parameters, including germination percentage, speed, and seedling vigor. For example, the application of fulvic acids has been reported to increase final germination percentage and reduce mean germination time in crops such as wheat, barley, and sugar beet. Similarly, humic acid treatments have been shown to enhance germination rates and early seedling development in various plant species, with the effect being strongly dependent on concentration [3].

Importantly, the action of humic substances during germination is dose-dependent. Optimal concentrations stimulate germination and root development, whereas excessive concentrations may inhibit seed germination and reduce seedling viability. For instance, fulvic acid has been shown to increase germination rate and vigor index at optimal concentrations, while higher doses exhibit inhibitory effects. This indicates the necessity of precise optimization of humic substance concentrations in experimental systems [4,5].

In addition to their physiological effects, humic substances may also influence biochemical and molecular processes associated with germination. It has been demonstrated that humic acids can modulate enzymatic activity, including amylase systems responsible for mobilization of seed reserves, thereby accelerating germination processes. Furthermore, their auxin-like activity may contribute to early root initiation and seedling establishment [7].

Despite the growing body of evidence supporting the positive effects of humic substances on seed germination, their role under in vitro conditions remains insufficiently studied. In particular, the interaction between humic compounds and nutrient media, such as Murashige and Skoog medium, may alter their biological activity and influence germination outcomes [8,9].

Medicago sativa L. (alfalfa) is an economically important crop widely used in agriculture and biotechnology. However, the efficiency of its in vitro propagation largely depends on successful seed germination and early development. Therefore, the aim of this study was to investigate the effect of humic substances on seed germination and early developmental processes of *Medicago sativa* under in vitro conditions [10].

Methods and Materials

The experiment was designed to evaluate the effect of humic substances on seed germination dynamics and early seedling development of *Medicago sativa* L. under controlled conditions. Humic substances, including fulvic acid, purified fulvic acid, and potassium humate, were selected due to their reported biostimulant properties, including enhancement of nutrient uptake, activation of metabolic pathways, and regulation of early developmental processes.

Plant Material

Seeds of *Medicago sativa* L. variety "Shortandinskaya-2" were used as plant material. This variety was selected due to its adaptation to local environmental conditions and stable germination capacity.

Experimental Design

The experiment was conducted to evaluate the effect of humic substances on seed germination and early seedling development under two conditions:

1. Moist chamber conditions (ex vitro)

Seeds were germinated in a humid environment using the following treatments:

- Potassium humate (1%)
- Fulvic acid (1%)
- Purified fulvic acid (1%)
- Control (distilled water)

2. In vitro conditions (MS medium)

- Seeds were cultured on Murashige and Skoog (MS) medium supplemented with:
- Potassium humate (1%)
- Fulvic acid (1%)
- Purified fulvic acid (1%)
- Control (MS medium without additives)

Each treatment included **50 seeds**, except the control in the moist chamber (26 seeds).

Cultivation Conditions

- Temperature: $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$
- Photoperiod: 16 h light / 8 h dark
- Duration: 10 days
- Observations were recorded on days **3, 5, 7, and 10**.

Parameters Evaluated

- Germination percentage (%)
- Germination dynamics
- Leaf formation (%)
- Morphological characteristics of seedlings

Data Analysis

Germination percentage was calculated as the ratio of germinated seeds to the total number of seeds. The dynamics of germination and leaf formation were analyzed across observation time points.

Results

1. Effect of Humic Substances on Seed Germination under Moist Conditions

Seed germination under moist chamber conditions began on days 2–3 in all experimental variants. The most intensive phase of germination was observed between days 3 and 7, after which the rate of germination gradually decreased and stabilized by day 10. Among all treatments, fulvic acid demonstrated the most pronounced stimulatory effect on early germination. On day 3, the germination percentage reached 52%, and by day 10 it increased to 70%, representing the highest value among all experimental variants. However, this value only slightly exceeded the control (69.2%), indicating that the stimulatory effect of fulvic acid was most evident during early stages rather than at the final stage of germination. Purified fulvic acid showed a moderate and relatively stable effect, maintaining germination levels within the range of 60–62% throughout the observation period. In contrast, potassium humate exhibited the lowest efficiency, with a maximum germination rate of 58, suggesting a weaker biostimulatory effect under moist conditions (Fig. 1).

Overall, the results indicate that fulvic acid primarily accelerates early germination processes rather than significantly increasing final germination percentage.

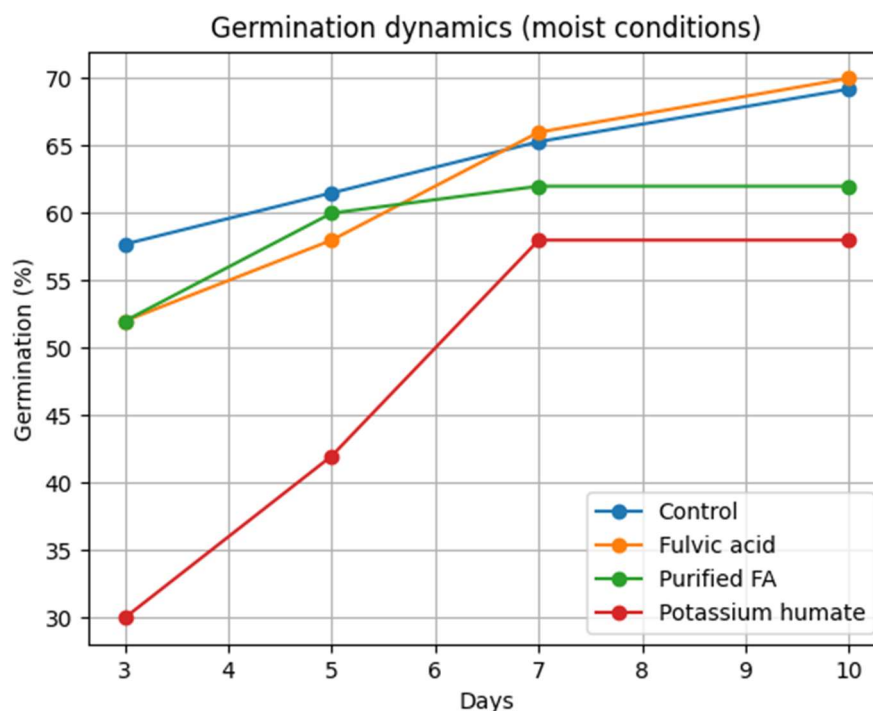


Figure 1. Dynamics of seed germination of *Medicago sativa* under moist conditions.

2. Leaf Formation under Moist Conditions

Leaf formation was first observed on day 5 and continued to increase until day 10. The highest percentage of seedlings with developed leaves was recorded in the control group (61.5%). In contrast, the lowest value was observed in the fulvic acid treatment (42%), indicating that despite its positive effect on germination, fulvic acid did not promote subsequent leaf development under these conditions. Morphological observations revealed clear differences between treatments. Seedlings grown in fulvic acid solution developed smaller, pale green leaves, indicating possible physiological stress or nutrient imbalance.

Conversely, potassium humate treatment resulted in larger and more intensely colored leaves, suggesting improved photosynthetic activity and overall plant vigor.

3. Germination under In Vitro Conditions (MS Medium)

Under in vitro conditions, germination began on day 3 in all variants. The highest germination rate was observed in the control group cultivated on MS medium without additives, reaching 70% by day 10. The addition of humic substances did not enhance germination under these conditions. Fulvic acid and potassium humate showed slightly lower values (60% and 64%, respectively), while purified fulvic acid demonstrated the lowest germination rate (58%). The germination dynamics under in vitro conditions are shown in **Figure 2**.

These results suggest that the presence of mineral nutrients in MS medium may reduce or mask the stimulatory effect of humic substances, possibly due to interactions affecting their bioavailability or mode of action.

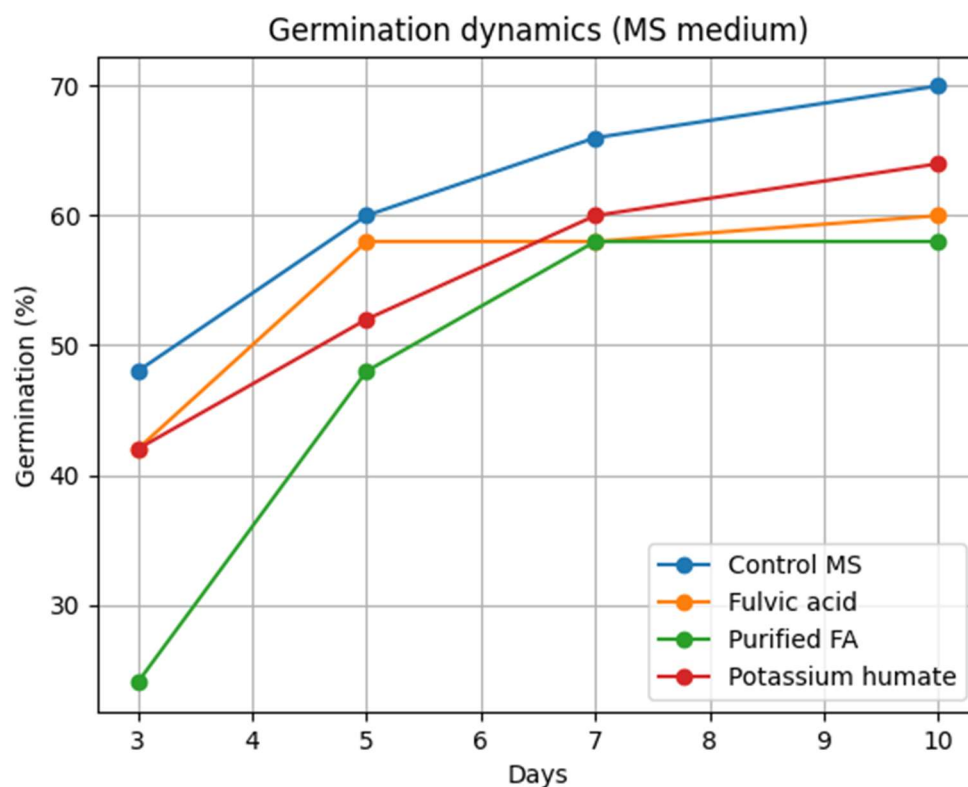


Figure 2. Dynamics of seed germination of *Medicago sativa* on MS medium.

4. Leaf Formation under In Vitro Conditions

Leaf formation under in vitro conditions began on day 5 and showed the most intensive increase between days 5 and 7. By day 10, approximately 96% of the germinated seedlings had developed leaves. The highest level of leaf formation was observed in the control group (70%), while the lowest was recorded in the purified fulvic acid treatment (54%).

These findings indicate that humic substances do not significantly improve post-germination development under in vitro conditions and may even slightly inhibit leaf formation depending on their form.

5. Observation of Atypical Cellular Activity

An important observation was the occurrence of unusual cell division patterns in seedlings grown on MS medium supplemented with 1% fulvic acid. Cellular clusters were observed in the apical regions of roots, resembling callus-like structures. This phenomenon may indicate increased meristematic activity and potential induction of cellular dedifferentiation processes. However, further cytological and histological analyses are required to confirm the nature of these structures and to clarify the mechanisms underlying this response.

Discussion

The results of the present study demonstrate that humic substances exert a differential effect on seed germination and early development of *Medicago sativa*, depending on both the cultivation conditions and the specific form of the compound.

Under moist chamber conditions, fulvic acid exhibited a pronounced stimulatory effect during the early stages of germination. This effect is consistent with previous studies reporting that humic substances enhance seed germination by increasing membrane permeability, improving water uptake, and activating metabolic processes associated with reserve mobilization. The observed acceleration of germination during the initial days of cultivation suggests that fulvic acid primarily influences early physiological processes rather than final germination capacity.

At the same time, the final germination percentage in the fulvic acid treatment was only slightly higher than in the control. This indicates that humic substances may not significantly increase the total number of germinated seeds, but rather enhance the rate and uniformity of germination. Such an effect has been described as a typical response to biostimulants, which act by optimizing physiological processes rather than fundamentally altering germination potential.

In contrast, potassium humate demonstrated a weaker effect on germination under moist conditions. This difference may be explained by variations in molecular structure and bioavailability between humic fractions. Fulvic acids, due to their lower molecular weight and higher solubility, are more readily absorbed by plant tissues, which enhances their biological activity at early developmental stages.

An important observation of this study is the reduced effectiveness of humic substances under in vitro conditions on MS medium. In all treatments, the control variant showed the highest germination rate, while the addition of humic compounds did not result in further improvement. This finding suggests a possible interaction between humic substances and the mineral composition of the nutrient medium.

One plausible explanation is that the high concentration of macro- and micronutrients in MS medium may mask or limit the stimulatory effects of humic substances. Since humic compounds are known to act partly by improving nutrient availability and transport, their effect may become less pronounced when nutrients are already present in optimal concentrations. Additionally, interactions between humic substances and mineral ions may alter their chemical properties, reducing their bioactivity.

The results also revealed that fulvic acid did not promote leaf formation under moist conditions and, in some cases, resulted in weaker seedling morphology. This may indicate that while fulvic acid enhances early germination processes, its effect on subsequent developmental stages is more complex and may depend on concentration and environmental conditions. Excessive concentrations may lead to physiological stress or imbalance in metabolic processes.

The observation of atypical cell division and formation of cell clusters in root apical regions under in vitro conditions in the presence of fulvic acid is particularly noteworthy. This phenomenon may indicate increased meristematic activity and potential induction of cellular dedifferentiation. Such effects have been associated with auxin-like activity of humic substances, which can influence cell division and developmental pathways. However, further cytological and molecular analyses are required to confirm the nature of these structures and to elucidate the underlying mechanisms.

Overall, the results of this study support the concept that humic substances act as biostimulants with context-dependent effects. Their influence is most pronounced during early stages of plant development and under conditions where nutrient availability is limited. Under nutrient-rich in vitro conditions, their stimulatory role may be reduced or modified.

These findings are in agreement with previous reports indicating that the biological activity of humic substances depends on concentration, chemical composition, and environmental conditions. Therefore, their effective application in plant tissue culture requires careful optimization of both dosage and cultivation system.

Conclusion

The present study demonstrates that humic substances exert a significant but context-dependent effect on seed germination and early development of *Medicago sativa* L. Fulvic acid showed the most pronounced stimulatory effect during the initial stages of germination under moist conditions, accelerating germination dynamics and improving early seedling establishment. However, its influence on the final germination percentage was limited, indicating that its primary

role is associated with the regulation of early physiological processes rather than increasing overall germination capacity.

Under in vitro conditions on MS medium, the addition of humic substances did not enhance germination compared to the control. This suggests that their biostimulatory effect may be reduced in nutrient-rich environments, possibly due to interactions with mineral components of the medium or decreased necessity for enhanced nutrient availability. The results also indicate that the effect of humic substances depends on their chemical nature, with fulvic acid exhibiting higher biological activity compared to potassium humate, likely due to its greater solubility and bioavailability.

An additional observation of atypical cell proliferation in root apical regions under the influence of fulvic acid suggests a potential role of humic substances in regulating cellular activity and morphogenetic processes. However, further исследования are required to confirm these effects and clarify the underlying mechanisms.

Overall, the findings highlight the potential of humic substances as natural biostimulants for improving early stages of plant development. Their application in plant tissue culture systems may be beneficial, provided that optimal concentrations and cultivation conditions are carefully determined.

References

1. Saravanan M., Kurinskaya O. M., Vasilyev G. L. Use of humic acids in plant tissue culture: effects on growth and development. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2016;2:94–99.
2. Canellas L. P., Olivares F. L., Aguiar N. O., Jones D. L., Nebbioso A., Mazzei P., Piccolo A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*. 2015;196:15–27.
3. Gülser F., Ertan F. Effects of humic substances on in vitro plant growth and tissue culture. *Acta Biologica Turcica*. 2019;32(2):125–132.
4. Canellas L. P., Façanha A. R., Olivares F. L., Façanha A. L. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant and Soil*. 2002;246(2):185–196.
5. Elmongy M. S., Zhou H., Cao Y., Liu B., Xia Y. The effect of humic acid on endogenous hormone levels and antioxidant enzyme activity during in vitro rooting of evergreen azalea. *Scientia Horticulturae*. 2018;227:234–243.
6. Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology & Biochemistry*. 2002;34:1527–1536.
7. Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*. 2014;383:3–41.
8. du Jardin P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*. 2015;196:3–14.
9. Shah Z., Shah S. H., Peoples M. B., Schwenke G. D., Herridge D. F. Crop residue and fertilizer nitrogen effects on soil nitrogen mineralization and plant nitrogen uptake. *Plant and Soil*. 2003;254:389–398.
10. Jannin L., Arkoun M., Ourry A., Laîné P., Goux D., Garnica M., Fuentes M., San Francisco S., Baigorri R., Cruz F., Garcia-Mina J. M., Yvin J. C., Etienne P. Microarray analysis of humic acid effects on Brassica napus growth. *Plant and Soil*. 2012;359:303–315.

Детерминанты социальной тревожности и функциональных нарушений в период пубертатного кризиса у слепых учащихся старших классов

МАТКАРИМОВА КАМИЛЛА АСКАРОВНА

магистр социальных наук, клинический психолог, ORCID ID: 0009-0009-2878-3661

АТАБАЕВ ЧИНГИЗ АБУБАКИР-СЫЗДЫҚҰЛЫ

магистрант Университета Туран, город Алматы, Казахстан. ORCID ID 0009-0003-9387-7863

АСИМОВ МАРАТ АБУБАКРИЕВИЧ

профессор, доктор медицинских наук, Университет «Туран», г. Алматы, Казахстан. ORCID ID: 0000-0003-2358-9244

Аннотация В статье представлен комплексный теоретический анализ проблемы социальной тревожности у учащихся старших классов с глубокими нарушениями зрения (слепотой). Рассматривается генезис социальной тревоги от классических психоаналитических теорий до современных моделей самопрезентации. Особое внимание уделяется влиянию тревожности на функциональные нарушения в академической, семейной и социальной сферах жизни подростка. Авторы анализируют взаимосвязь между уровнем тревоги и субъективным качеством жизни, а также выявляют роль осознанной саморегуляции и школьной вовлеченности как ключевых психологических ресурсов, способствующих минимизации деструктивного влияния тревоги. Работа подчеркивает необходимость разработки специализированных программ психологической поддержки для слепых старшеклассников в условиях современной социальной турбулентности.

Ключевые слова: социальная тревожность, слепые учащиеся, старшие классы, качество жизни, функциональные нарушения, осознанная саморегуляция, школьная вовлеченность, академическая успешность, подростки с нарушениями зрения.

Keywords: social anxiety, blind students, senior high school students, quality of life, functional impairment, conscious self-regulation, school engagement, academic achievement, adolescents with visual impairments.

Введение

Современное общество функционирует в условиях «социальной турбулентности» — периода, характеризующегося высокой неопределенностью, экономическими рисками и трансформацией повседневности [Ульянова, Артамонова, 2023]. В этих обстоятельствах проблема психического благополучия подрастающего поколения становится стратегически важной. Благополучное общество базируется на уверенных, общительных и социально активных личностях, способных добиваться поставленных целей [Цыновкина, Васюта, 2022].

Однако подростковый возраст часто сопряжен с ростом тревожности. Проблема повышенной тревожности и низкого уровня коммуникации является крайне актуальной, так как именно в возрасте 14–17 лет формируется ядро личности и определяются будущие жизненные стратегии человека [Костюкова, 2023]. Для учащихся старших классов, имеющих глубокие нарушения зрения (слепоту), проблема тревожности приобретает особую специфику, поскольку физическое ограничение накладывает дополнительный отпечаток на процессы социальной адаптации и функционального взаимодействия с миром [Dickson et al., 2024].

Теоретические подходы к пониманию тревожности в психологии

Феномен тревожности традиционно занимает центральное место в психологических исследованиях. Фундаментальный вклад в изучение этой проблемы внесли З. Фрейд, А. Фрейд, а также А. М. Прихожан, Ю. Е. Гуляева и другие авторы [Цыновкина, Васюта, 2022]. В классической литературе тревожность рассматривается дифференцированно: как ситуативное состояние и как устойчивая личностная черта. По определению Ч. Д. Спилбергера и Ю. Л. Ханина, ситуативная тревожность возникает как реакция на социально-психологические стрессоры (ожидание негативной оценки, угроза самоуважению), в то время как личностная тревожность отражает индивидуальную склонность воспринимать широкий спектр ситуаций как угрожающих [Кляйн, 2019].

Социальная тревога выделяется как специфическая форма беспокойства, триггером которой являются ситуации социального взаимодействия. Термин «социальная фобия» был предложен Р. Janet еще в 1903 году [Карсон, Батчер, Минека, 2019]. В основе социальной тревожности лежит страх негативной оценки со стороны окружающих — опасение показаться слабым, глупым или неприятным [DSM-5-TR, 2022]. Согласно теории самопрезентации Б. Шлеппе и М. Лири, человек испытывает тревогу тогда, когда хочет произвести на других впечатление, но сомневается в своей способности сделать это успешно [Бодров, 2019].

Генезис тревожности и роль семейной системы

Тревожность может иметь как врожденную природу, так и формироваться как личностная черта при становлении тревожно-мнительного психотипа [Цыновкина, 2020]. Важнейшим фактором формирования тревожного типа личности является семейная система. В возрасте до 6 лет у ребенка отсутствует критическое мышление, и он полностью впитывает атмосферу, транслируемую родителями [Костюкова, 2023]. Если родители сами обладают повышенной социальной тревожностью, они могут непроизвольно вложить её в ребенка [Старшина, 2007].

Чрезмерная опека родителей лишает подростка возможности научиться самостоятельной адаптации [Цыновкина, 2020]. Подростки, не наученные справляться с трудностями, начинают избегать коммуникации, что порождает цикл «ментальной жвачки» — навязывания самому себе негативных мыслей [Костюкова, 2023]. Это ведет к дезадаптации личности, снижению самооценки и потере мотивации к обучению [Старшина, 2007]. Психологическая травма в семье часто становится базой для последующих поведенческих проблем [Дозорцева, 2019].

Уровни проявления и симптоматика социальной тревоги

Психологи выделяют несколько уровней состояния тревоги. По классификации Ф. Б. Березина, первый уровень характеризуется лишь внутренней напряженностью, служащей сигналом к мобилизации [Гаранян и др., 2020]. При нарастании тревоги возникают гиперестетические реакции, собственно тревога (ощущение неопределенной угрозы) и страх — опредмечивание опасности. Пятый уровень выражается в чувстве ужаса, а высшая точка — тревожно-боязливое возбуждение — ведет к максимальной дезорганизации деятельности [Гаранян и др., 2020].

Физиологически социальная тревожность проявляется через тремор, потливость, учащенное сердцебиение и головные боли [Прихожан, 2019]. Психологические симптомы включают расфокусировку внимания, бессонницу и чувство беспомощности перед неизвестной опасностью [Цыновкина, 2020]. Важно отметить, что умеренный уровень тревожности может быть фактором мобилизации ресурсов, повышая интеллект и когнитивные способности подростка [Цыновкина, 2020]. Однако высокий уровень ведет к социальной изоляции и девиантному поведению [Сотникова, 2020].

Экономические и социальные последствия тревожных расстройств

Детские тревожные расстройства сопряжены со значительным экономическим бременем. Прямые затраты на лечение и косвенные издержки, такие как неформальный уход и потеря производительности труда лиц, осуществляющих опеку, создают ощутимое давление на ВВП страны [Pollard et al., 2023]. Исследования показывают, что общие ежегодные социальные затраты на одного ребенка с тревожным расстройством составляют до 4040 фунтов стерлингов (в ВВП 2021 года) [Pollard et al., 2023]. Помимо финансового аспекта, тревога ведет к существенному ухудшению повседневной жизни молодых людей, ограничивая их возможности в образовании и труде.

Функциональные нарушения и академическая среда

Под функциональным нарушением понимается степень, в которой симптомы тревоги мешают молодому человеку выполнять важные аспекты повседневной жизни. У слепых учащихся старших классов симптомы тревоги могут приводить к серьезным трудностям в трех ключевых областях: семейной, академической и социальной. В домашней среде тревога влияет на отношения с опекунами и сиблингами, затрудняя выполнение обязанностей и участие в жизни семьи [Dickson et al., 2024].

В школьной среде тревожные подростки демонстрируют более низкую успеваемость, большую прогуливаемость и меньшую вероятность поступления в вуз [Dickson et al., 2024]. Для слепого старшеклассника, чья учебная деятельность требует повышенной концентрации и использования специальных средств, тревога становится дополнительным барьером. Кроме того, тревожность негативно связана с отношениями со сверстниками: подростки сообщают о меньшем количестве дружеских связей, большем чувстве одиночества и риске виктимизации [de Lijster et al., 2018]. У подростков с высоким уровнем интеллекта тревожность часто проявляется через отрицание авторитета взрослых и самоутверждение [Старшинина, 2007]. В ряде случаев следствием становится противоправное поведение, используемое как способ притупления эмоционального беспокойства [Агамиров, Григорьева, 2016; Кузнецова, 2016].

Методы оценки нарушений и их точность

Для коррекции тревожности необходима точная диагностика. В современной литературе выделяют общие показатели функциональных нарушений, такие как Шкала глобальной оценки детей (CGAS) [Shaffer et al., 1983], и специфические шкалы: Шкала влияния детской тревожности (CAIS) [Langley et al., 2014] и Шкала влияния детской тревожности на жизнь (CALIS) [Lyneham et al., 2013]. Широко используются диагностические интервью, такие как ADIS [Albano & Silverman, 2016].

Важной проблемой остается низкая точность оценок и расхождение данных от разных источников (ребенок, опекун, клиницист) [Bird et al., 2000; De Los Reyes et al., 2011]. Оценки клиницистов чаще наиболее точно совпадают с оценками опекунов [Dickson et al., 2022]. Также применяется шкала инвалидности Шихана (SDS) для оценки самоотчетов [Sheehan et al., 1996]. Для слепых учащихся субъективное восприятие своих ограничений часто является решающим фактором.

Качество жизни как многомерный конструкт

Качество жизни (КЖ) — это многомерная конструкция, отражающая позитивное восприятие молодым человеком своих жизненных обстоятельств [Dickson et al., 2024]. Оно выходит за рамки симптомов и включает общее благополучие. Метаанализы подтверждают, что КЖ у взрослых и молодежи с тревожными расстройствами значительно ниже, чем в неклинических группах [Olatunji et al., 2007; Öztürk et al., 2018]. Тревожные молодые люди сообщают о более низком КЖ по параметрам физического и психологического благополучия, автономии и социальной поддержки [Telman et al., 2017; Raknes et al., 2017].

Для оценки КЖ используются методы PedsQL [Varni et al., 2001], PQ-LES-Q [Endicott et al., 2006], а также новые инструменты, такие как QoL-ChYMH [Celebre et al., 2021; Stewart et al., 2020]. На уровень КЖ влияют тяжесть тревожности, коморбидность, социально-экономический статус и негативные жизненные события [Ramsawh & Chavira, 2016; Raknes et al., 2017].

Психологические ресурсы: саморегуляция и школьная вовлеченность

В противовес тревожности выступает система внутренних ресурсов. Ключевым метаресурсом является осознанная саморегуляция [Моросанова, 2021; Моросанова, Фомина, Бондаренко, 2023]. Она позволяет подростку эффективно решать учебные задачи и сохранять благополучие [Morosanova et al., 2023]. Исследования подтверждают значимость связи между саморегуляцией, интеллектом и академической успешностью [Потанина, Моросанова, 2023].

Важным конструктом является школьная вовлеченность [Wang et al., 2017], которая напрямую коррелирует с развитой саморегуляцией [Estévez et al., 2021]. Значимым внешним ресурсом выступает поддержка учителя и качество преподавания [Froiland et al., 2019; Лункина, Гордеева, 2023]. Для оценки вовлеченности используется «Многомерная шкала школьной вовлеченности» [Фомина, Моросанова, 2020].

Роль самовоспитания и возрастные задачи развития

С позиции Э. Эриксона, подростковый период — это время кризиса «становления индивидуальности» [Костюкова, 2023]. Успешное преодоление этого этапа ведет к приобретению качества верности и способности поступать по внутреннему убеждению [Бондаренко, 2019; Бандура, 2019]. Образование понимается как создание «образа» личности через самопознание, самовоспитание и самообучение [Костюкова, 2023]. Самовоспитание позволяет подростку сформировать личность, способную испытывать наименьшее напряжение в социальной среде [Костюкова, 2023; Трунова, 2018].

Заключение

Социальная тревожность у подростков — это многомерный феномен, влияющий на все сферы жизни. В условиях «социальной турбулентности» критически важным становится развитие внутренних регуляторных ресурсов и школьной вовлеченности [Ульянова, Артамонова, 2023]. Понимание механизмов тревожности и своевременная поддержка позволяют подростку успешно пройти через кризисы взросления, избежав деструктивных форм поведения и реализовав свой потенциал [Lawrence et al., 2015; Goodsell et al., 2017].

Список использованных источников

1. Ульянова Е. Н., Артамонова Я. В. Теоретико-методологические основы исследования социальной тревожности // *Caucasian Science Bridge*. – 2023. – Т. 6. – № 3. – С. 10–22.
2. Цыновкина С. А., Васюта Г. Г. Тревожность в подростковом возрасте и её влияние на коммуникативные навыки // *Вестник ШГПУ*. – 2022. – № 2 (54). – С. 218–223.
3. Костюкова А. В. Феномен тревожности личности как риск-фактор противоправного поведения несовершеннолетних // *Курсантские исследования*. – Могилев, 2023. – Вып. 10. – С. 67–69.
4. Dickson S. J., Oar E. L., Kangas M. et al. A Systematic Review and Meta-Analysis of Impairment and Quality of Life in Children and Adolescents with Anxiety Disorders // *Clinical Child and Family Psychology Review*. – 2024. – № 27. – С. 342–356.
5. Фрейд З. Торможения, симптомы и тревога. — М.: Азбука, 2021. — 256 с.
6. Фрейд А. Психология Я и защитные механизмы. — М.: Институт общегуманитарных исследований, 2016. — 160 с.
7. Прихожан А. М. Психология тревожности: дошкольный и школьный возраст. — СПб.: Питер, 2019. — 192 с.
8. Гуляева Ю. Е. Психологические особенности тревожности у подростков // *Психология и педагогика*. — 2018.
9. Спилбергер Ч. Д. Концептуальные и методологические проблемы исследования тревоги // *Стресс и тревога в спорте*. — М.: Физкультура и спорт, 1983. — С. 12–24.
10. Ханин Ю. Л. Межличностная и внутриличностная тревога в условиях значимой совместной деятельности // *Вопросы психологии*. — 1991. — № 5. — С. 56–64.
11. Кляйн М. О теории вины и тревоги // *Развитие в психоанализе*. — М.: Академический проект, 2019. — С. 394.
12. Janet P. *Les Obsessions et la Psychasthénie*. — Paris: Félix Alcan, 1903.
13. Карсон Р., Батчер Дж., Минека С. *Аномальная психология*. — СПб.: Питер, 2019. — 1167 с.
14. American Psychiatric Association. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fifth Edition, Text Revision (DSM-5-TR)*. — Washington, DC, 2022.
15. Schlenker B. R., Leary M. R. Social anxiety and self-presentation: A conceptualization and model // *Psychological Bulletin*. — 1982. — Vol. 92. — № 3. — С. 641–669.
16. Leary M. R. *Social Anxiety*. — Beverly Hills, CA: Sage Publications, 1983.
17. Бодров В. А. Психологический стресс: развитие и преодоление. — М.: ПЕР СЭ, 2019. — 523 с.
18. Цыновкина С. А. Особенности социальной тревожности в подростковом возрасте // *Молодой ученый*. — 2020. — № 12. — С. 15–18.
19. Старшина И. В. Феномен подростковой тревожности // *Преподаватель XXI век*. — 2007. — № 1. — С. 83–87.
20. Дозорцева Е. Г. Психологическая травма у подростков с проблемами в поведении. — М.: Генезис, 2019. — 128 с.
21. Березин Ф. Б. Психическая и психофизиологическая адаптация человека. — Л.: Наука, 1988. — 270 с.
22. Гаранян Н. Г., Холмогорова А. Б. и др. Предэкзаменационный стресс и эмоциональная дезадаптация у студентов // *Социальная и клиническая психиатрия*. — 2020. — № 2. — С. 38–42.
23. Сотникова Ю. Л. Особенности социальной тревожности в подростковом возрасте // *Молодой ученый*. — 2020. — № 15.
24. Агамиров К. В., Григорьева М. А. Отчуждение личности и тревожность как факторы отклоняющегося поведения // *Юридическая наука*. — 2016. — № 6. — С. 5–9.

25. Кузнецова М. Н. К вопросу о тревожных расстройствах и деструктивном поведении у подростков // Вестник Совета молодых ученых. — 2016. — № 4. — С. 73–79.
26. Pollard J. et al. The multifaceted consequences and economic costs of child anxiety problems: A systematic review and meta-analysis // JCPP Advances. — 2023. — № 3(3). — e12149.
27. de Lijster J. M. et al. Social and academic functioning in adolescents with anxiety disorders: A systematic review // Journal of Affective Disorders. — 2018. — № 230. — С. 108–117.
28. Shaffer D. et al. A Children's Global Assessment Scale (CGAS) // Archives of General Psychiatry. — 1983. — № 40(11). — С. 1228–1231.
29. Langley A. K. et al. The child anxiety impact scale (CAIS): Examining parent- and child-reported impairment // Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology. — 2014. — № 43(4). — С. 579–591.
30. Lyneham H. J. et al. Psychometric properties of the Child Anxiety Life Interference Scale (CALIS) // Journal of Anxiety Disorders. — 2013. — № 27(7). — С. 711–719.
31. Albano A. M., Silverman W. K. The anxiety disorders interview schedule for DSM-5-child and parent versions. — Oxford University Press, 2016.
32. De Los Reyes A. et al. Are clinicians' assessments of improvements in children's functioning "global"? // Journal of Clinical Child and Adolescent Psychology. — 2011. — № 40(2). — С. 281–294.
33. Dickson S. J., Kuhnert R. L. et al. Impact of Psychotherapy for Children and Adolescents with Anxiety Disorders on Global and Domain-Specific Functioning // Clinical Child and Family Psychology Review. — 2022. — № 25(4). — С. 720–736.
34. Olatunji B. O. et al. Quality of life in the anxiety disorders: A meta-analytic review // Clinical Psychology Review. — 2007. — № 27(5). — С. 572–581.
35. Telman L. G. E. et al. Are Anxiety Disorders in Children and Adolescents Less Impairing Than ADHD and Autism Spectrum Disorders? // Child Psychiatry & Human Development. — 2017. — № 48(6). — С. 891–902.
36. Varni J. W. et al. PedsQL 4.0: Reliability and Validity of the Pediatric Quality of Life Inventory // Medical Care. — 2001. — № 39(8). — С. 800–812.
37. Celebre A., Stewart S. L. et al. An examination of correlates of quality of life in children and youth with mental health issues // Frontiers in Psychiatry. — 2021. — № 12. — 709516.
38. Endicott J. et al. Pediatric Quality of Life Enjoyment and Satisfaction Questionnaire (PQ-LES-Q) // Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry. — 2006. — № 45(4). — С. 401–407.
39. Ramsawh H. J., Chavira D. A. Association of childhood anxiety disorders and quality of life in a primary care sample // Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics. — 2016. — № 37(4). — С. 269–276.
40. Raknes S. et al. Quality of life in anxious adolescents // Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health. — 2017. — № 11(1). — С. 33.
41. Lawrence D. et al. The mental health of children and adolescents: Report on the second Australian child and adolescent survey. — Canberra: Department of Health, 2015.
42. Goodsell B. et al. Child and adolescent mental health and educational outcomes. — The University of Western Australia, 2017.
43. Моросанова В. И., Фомина Т. Г., Бондаренко И. Н. Регуляторные и личностные ресурсы успеваемости обучающихся с различными профилями школьной вовлеченности // Экспериментальная психология. — 2024. — Т. 17. — № 2. — С. 98–112.
44. Estévez I. et al. School engagement, academic achievement, and self-regulated learning // Sustainability. — 2021. — № 13(6).



Proceedings of the 13th International Scientific Conference «Modern Scientific Method» (May 1, 2026). Vienna, Austria, 2026. 510p

editor@publisher.agency

<https://publisher.agency>

University of Vienna

Faerberplatz 41

3133 Vienna, Austria