



Central Asian
Scientific
Journal

**VOL 1(29)
2026**



ASTANA

Электронный научный журнал «Central Asian Scientific Journal»

Central Asian Scientific Journal

выпуск №1 (29), январь – март 2026 г.
Том 1

Основан в 2021 году (издается ежеквартально)

зарегистрирован в Комитете информации Министерства
информации и общественного развития Республики
Казахстан №KZ40VPY00067791 от 07.04.2023 г.

Тақырыптық бағыт:

- Pedagogikalyq, qoǵamdyq-áleýmettik, tehnikalyq, ekonomikalyq jáne zań ǵylymdary
- Aqparattyq-komýnikasialyq tehnologialar
- Teorialyq jáne ǵylymi-praktikalyq ǵylymi zertteýler

Тематическая направленность:

- Педагогические, общественно-социальные, технические, экономические и юридические науки
- Информационно-коммуникационные технологии
- Теоретические и научно-практические научные исследования

Thematic focus:

- Pedagogical, socio-political, technical, economic, and legal sciences
- Information and communication technologies
- Theoretical and scientific-practical research

Jarialanatyn aqparattyń, dáleksózderdiń jáne ózge de baıandamalaryń durystyǵy úshin avtor jaýapty bolady

За достоверность публикуемой информации, цитат и иных изложений ответственность несет автор

The author is responsible for the accuracy of the published information, quotes, and other statements.



"Central Asian Scientific
Journal" elektronдық ғылыми
журналы аппараты
agenttigi

Информационное агентство
Электронный научный журнал
«Central Asian Scientific
Journal»

Information Agency Electronic
scientific Journal "Central Asian
Scientific Journal"

№1 (29), 2026 j
Shyǵarý jiligi – jylyna 4 nómir
2021 j. bastap shyǵady

№1 (29), 2026 г.
Периодичность – 4 номера в год
Выходит с 2021 года

No.1 (29), 2026
Periodicity: 4 issues per year
Since 2021

Bas redaktor:
Baidildinov T. J. – p. ǵ. k.,
professor

Главный редактор:
Байдильдинов Т.Ж. – к.п.н.,
профессор

Editor-in-Chief:
Baidildinov T.Zh. – Ph.D.,
Professor

Redaksialyq alqa:
Latypov R.H. – t. ǵ. d.,
prof., Qazan, Resei
Radwan Labban –
Plymouth College, United
Kingdom
Safarov G.A. – e. ǵ. d.,
prof., Tashkent, Ózbekstan
Mýkasheva A.A. – z.ǵ. d.,
prof., L.N. Gýmilev
atyndaǵy EÝU
Baǵojanova D.S. – p. ǵ. k.,
HAA akademigi
Kojasheva G.O. – p.ǵ.
k., docent, Abay atyndaǵy
KazPÝU
Teleýev G.B. – PhD, QAY
Ózdenbaev J.Ş. – t. ǵ. k.,
I.Jansügirov atyndaǵy JU
Nürǵaliev S.A. – PhD,
asistent professor, AITU

Редакционная коллегия:
Латыпов Р.Х. – д.т.н., проф.,
Казань, Россия
Radwan Labban – Plymouth
College, United Kingdom
Сафаров Г.А. – д.э.н., проф.,
Ташкент, Узбекистан
Мукашева А.А. – д.ю.н., проф.,
ЕНУ им. Л.Н. Гумилева
Байгожанова Д.С. – к.п.н.,
академик МАИИ
Кожашева Г.О. – к.п.н, доцент,
КазНПУ им. Абая
Телеуев Г.Б. – PhD, KAU
Узденбаев Ж.Ш. – к.т.н.,
ст.преподаватель, ЖУ им.
И.Жансугурова
Нургалиева С.А. – PhD,
ассистент.проф., AITU

Editorial Board:
Latypov R.H. – Doctor of
Technical Sciences, Professor,
Kazan, Russia
Radwan Labban – Plymouth
College, United Kingdom
Safarov G.A. – Doctor of
Economic Sciences, Professor,,
Tashkent, Uzbekistan
Mukasheva A.A. – Doctor of Law,
Professor, L.N. Gumilyov ENU
Baigozhanova D.S. – Ph.D.,
Academician of the MAIN
Kozhasheva G.O. – c.p.s, Abay
KazNPU
Teleuev G.B. – PhD, KAU
Uzdenbaev Zh.Sh. – Candidate
of Technical Sciences,
Zhansugurov ZhU
Nurgaliyeva S.A. – PhD, assistant
prof., AITU

Qazaqstan Respýblıkasy
Aqqarat jáne qoǵamdyq
damý ministrliginiń
07.04.2023 j.
№KZ40VPY00067791
aqqarat komitetinde
tirkelgen.

Зарегистрирован в Комитете
информации Министерства
информации и
общественного развития
Республики Казахстан
№KZ40VPY00067791 от
07.04.2023

Registered with the Information
Committee of the Ministry of
Information and Public
Development of the Republic of
Kazakhstan No.
KZ40VPY00067791 dated
07.04.2023.

JK DOC, 010000,
Qazaqstan Respýblıkasy,
Astana q.

ИП DOC, 010000,
Республика Казахстан, г.
Астана

IP DOC, 010000,
Kazakhstan, Astana



МАЗМУНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENT

ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ҚҰҚЫҚ ҒЫЛЫМДАРЫ – СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЮРИДИЧЕСКИЕ НАУКИ – SOCIO-ECONOMIC AND LEGAL
SCIENCES

Ким Евгений

**МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШИМИ АУДИТОРИЯМИ В БИЗНЕСЕ: ИСКУССТВО
МАССОВОЙ МОТИВАЦИИ И ВЛИЯНИЯ 3**

Ibragimova Sezim Khairullaevna

LEGAL ISSUES OF PERSONAL DATA PROTECTION IN THE KYRGYZ REPUBLIC.....11

Sabirova Adina Ulugbekovna, Smadiiarova Aruuke Sydykovna

**PROTECTION OF THE RIGHTS OF HONEST OWNERS IN RETURNING THE PRIVATISED
PROPERTY IN FAVOUR OF THE STATE.....16**

Elina Atakishieva

**SOCIAL TRANSFORMATION AND IDENTITY RECONSTRUCTION IN CENTRAL ASIA: A
THEORETICAL SOCIOLOGICAL PERSPECTIVE.....33**

Щемелинин Константин Сергеевич

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ.....36

Yesbossyn Aiym Dauletqhanqyzy

**DIGITAL GOVERNMENT PLATFORMS IN PUBLIC ADMINISTRATION: DECISION-MAKING
MODELS IN SOUTH KOREA AND KAZAKHSTAN.....82**

Zheldibayev Madi Kalibekovich

**ASSESSING THE IMPACT OF IOT ON EFFICIENCY, TRANSPARENCY AND CITIZEN
ENGAGEMENT IN URBAN GOVERNANCE: A MEASUREMENT FRAMEWORK FOR ASTANA
AND ALMATY.....87**

Отаубаева Айгуль Бахрамовна

**АДМИНИСТРАТИВНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ ПРАВИЛ ОХРАНЫ
ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН.....96**

Калдарбеков Асылжан Оспанович

**ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ ЛЕСНОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА
УЗБЕКИСТАНА.....103**

Байтурова Аида Набиевна

**ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В СФЕРЕ
ТУРИЗМА РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН.....112**

Бердалиева Айну́р Қарабекқызы

**ҚАЗАҚСТАН ТӘЖІРИБЕСІНДЕ МЕМЛЕКЕТТІК ӘЛЕУМЕТТІК БАҒДАРЛАМАЛАРДЫҢ
ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕ ӨЗГЕРІСТЕР ТЕОРИЯСЫ.....118**

Кабул Сания

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЛАБОСИЛЬНЫХ КОМАНД В ДЖЕЗКАЗГАНЛАҒЕ.....125

**ПӘНДЕР АРАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР – МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ НАУКИ –
INTERDISCIPLINARY SCIENCES**

Altynay Omirkhan Maratkyzy

**ADAPTING PROJECT MANAGEMENT MODELS FOR DIGITAL MEDIA PLATFORMS IN
KAZAKHSTAN: A COMPARATIVE STUDY OF ANIMATION STUDIO MANAGEMENT
PRACTICES..... 130**

Мубаракова Ментай Жанатовна, Нурулдаева Гульжан Жагалбаевна

**ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В НЕФТЯНОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ.....139**

Dilnaz Kapezova

IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON MODERN MEDICAL PRACTICE.....145

МЕДИЦИНА ҒЫЛЫМДАР - МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ - MEDICAL SCIENCES

Тоқтарбай Тойгүл Жалғасбекқызы

**ЭКДИСТЕРОИДТАР ҚАНТ ДИАБЕТІНЕ ҚАРСЫ ПОТЕНЦИАЛДЫ АГЕНТТЕР РЕТІНДЕ:
ӘСЕР ЕТУ МЕХАНИЗМДЕРІ 153**

Калиева Динара Нурлановна

**ИНТЕГРАЦИЯ ЛАЗЕРНЫХ И СВЕТОВЫХ НЕИНВАЗИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В
КОМПЛЕКСНЫХ ПРОГРАММАХ ОМОЛОЖЕНИЯ КОЖИ ЛИЦА И ТЕЛА.....157**

**ПЕДАГОГИКА ЖӘНЕ ПСИХОЛОГИЯ ҒЫЛЫМДАР - ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ И
ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ - PEDAGOGICAL AND PSYCHOLOGICAL SCIENCES**

Амзеева Динара Усенхановна

**ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ИСТОРИЯ КАЗАХСТАНА» В
УСЛОВИЯХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....166**

Такуадинова Айгерим Казизатовна

**ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ И ТВОРЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СТИЛЯ
ПЕДАГОГА-ХОРЕОГРАФА.....173**

Damir Kunbayev

**USING ONLINE GAMES TO IMPROVE COMMUNICATION SKILLS IN FUTURE LANGUAGE
TEACHERS.....173**

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР - ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ - TECHNICAL SCIENCE

Tarshilov Sergey

ADAPTIVE TRAFFIC LIGHT SYSTEMS IN MEGACITIES POWERED BY AI-BASED TRAFFIC PREDICTION..... 188

Ibragim Dias

IMPROVING APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN RECOMMENDATION SYSTEMS: MODERN APPROACHES AND FUTURE DIRECTIONS.....201

Abylkassym Aruzhan

DEVELOPMENT OF AI/ML METHODS FOR SHAPE RECOGNITION OF ARBITRARY OBJECTS FROM ELASTIC SCATTERING DATA.....209

Diana Kim

MODERN IMAGE SUPER-RESOLUTION METHODS BASED ON CNN AND GAN.....218

Meiramkan Zhanibek

MACHINE LEARNING APPROACHES FOR WHEAT YIELD FORECASTING: A REVIEW.....226

Uranov Daryn, Akhmetov Kazbek, Nurgaliyeva Symbat

THE FUTURE OF EDUCATION: A PARADIGM SHIFT TOWARDS AI-DRIVEN ASSESSMENTS AND PERSONALIZED LEARNING ECOSYSTEMS.....233

Sabyr Aruzhan, Nogaibay Symbat, Sagynbayeva Zhanat

AI-BASED DECISION SUPPORT SYSTEM FOR UNIVERSITY ADMISSION USING STANDARDIZED TEST SCORES.....237

Болатов Бекдаулет Алмасович

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА НА БАЗЕ ИОТ- ТЕХНОЛОГИЙ.....242

Stanislav Dmitrievich Bogdanov, Alua Bauyrzhankyzy Myrzakerimova

A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR RISK-AWARE REINFORCEMENT LEARNING IN PORTFOLIO OPTIMIZATION.....246

Сая Наурызбаева

АҚЫЛДЫ ҚАЛАЛАРДЫҢ ДАМУЫНЫҢ НЕГІЗГІ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПЛАТФОРМАСЫ...255

Amanzhol Bakhtiyar Zholdasbayuly, Zhanat Ospankyzy Karashbayeva

AN EFFICIENT NUMERICAL MODEL FOR THE SIMULATION OF HEAT AND MASS TRANSFER IN POROUS MEDIA..... 271

Aigerim Baimukhanbetova

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIGITALIZATION OF HAPTIC-VISUAL COMMUNICATION FOR ACCESSIBILITY..... 258

ӘЛЕУМЕТТІК-ЭКОНОМИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ҚҰҚЫҚ ҒЫЛЫМДАРЫ – СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И ЮРИДИЧЕСКИЕ НАУКИ – SOCIO- ECONOMIC AND LEGAL SCIENCES

УДК 005.32:659.1

Ким Евгений

основатель ТОО i-Panda.kz,
(г. Алматы, Казахстан)

МЕХАНИЗМЫ УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШИМИ АУДИТОРИЯМИ В БИЗНЕСЕ: ИСКУССТВО МАССОВОЙ МОТИВАЦИИ И ВЛИЯНИЯ

Аннотация: Статья посвящена анализу механизмов управления большими аудиториями в бизнесе в условиях доминирования цифровых каналов взаимодействия. Рассматривается, как массовое влияние формируется через коммуникационные и социально-психологические закономерности, включая роль социальных связей и посредников доверия, а также через управляемый путь аудитории от контакта к действию. Показано, что ключевые инструменты массовой мотивации в практиках компаний связаны с персонализацией, управлением доверием при автоматизации и использовании искусственного интеллекта, а также с удержанием и лояльностью, которые переводят разовое действие в повторяемое поведение. Обоснована необходимость организационного «контура управления» и формализованной оценки эффективности на основе метрик качества контакта, причинных измерений и экспериментирования. Сравнительный анализ кейсов Starbucks Rewards, Costco и Duolingo демонстрирует различия стратегий влияния в зависимости от бизнес-модели и целевых показателей, по которым оценивается результативность воздействия на аудиторию.

Ключевые слова: большие аудитории, массовая мотивация, влияние, цифровые коммуникации, персонализация, доверие, искусственный интеллект, удержание, лояльность, метрики эффективности, А/В-тестирование, инкрементальные измерения, организационная модель, маркетинговые технологии.

Актуальность исследования. Актуальность исследования обусловлена тем, что ключевые взаимодействия компаний с клиентами и пользователями все чаще происходят в цифровой среде – на платформах, в социальных сетях, в экосистемах сервисов и в онлайн-сообществах. В этих каналах аудитории обладают высокой связностью, быстро реагируют на информационные сигналы и способны в короткие сроки усиливать как позитивные эффекты (рост лояльности, вовлеченности, продаж), так и негативные (репутационные кризисы, волны недоверия, бойкоты, отток пользователей). Поэтому управление массовой аудиторией становится не вспомогательной коммуникационной функцией, а стратегическим управленческим контуром, напрямую влияющим на устойчивость бизнеса и конкурентоспособность.

Дополнительную значимость теме придает распространение алгоритмических инструментов воздействия: персонализация, рекомендательные механизмы, автоматизированные коммуникации и анализ поведения позволяют масштабировать

влияние и тонко настраивать мотивационные стимулы. Одновременно это повышает требования к прозрачности и ответственности: аудитории чувствительны к манипулятивным практикам, а регуляторные подходы в ряде юрисдикций усиливают ожидания к добросовестности платформ и к информированию пользователей о взаимодействии с автоматизированными системами. В результате научное изучение механизмов массовой мотивации и влияния становится необходимым для разработки таких моделей управления, которые обеспечивают эффективность коммуникаций, сохраняют доверие и поддерживают долгосрочные отношения между бизнесом и аудиторией.

Цель исследования. Цель данного исследования – систематизировать механизмы массовой мотивации и влияния в бизнесе и обосновать управленческую модель, которая связывает инструменты воздействия с организационными условиями их применения и с методами измерения эффективности на больших аудиториях.

Материалы и методы исследования. В качестве материалов использованы сведения из открытых источников: отраслевые стандарты измерений, публичные отчеты и письма компаний, а также агрегированные показатели и ориентиры по цифровым коммуникациям, представленные в открытом доступе.

Применены методы теоретического анализа и обобщения, контент-анализ открытых документов, сравнительный анализ, кейс-метод, а также аналитическое моделирование логики измерений.

Результаты исследования. Управление большими аудиториями в бизнесе опирается на теории массовой коммуникации и социальной психологии, которые описывают, как формируются установки и почему сообщения по-разному «срабатывают» в разных условиях. Одно из ключевых положений связано с тем, что влияние часто распространяется не напрямую «от медиа к каждому», а через социальные связи: идеи переходят от медиа к лидерам мнений и далее – к более широкой аудитории через межличностное общение, что подробно описывается в теории двухступенчатого потока информации. Для бизнеса это означает, что массовая аудитория практически всегда состоит из сетей и сообществ, а управленческая коммуникация должна учитывать посредников доверия и интерпретации (экспертов, авторов обзоров, администраторов сообществ), через которых смысл сообщения закрепляется или искажается.

Ключевые механизмы массовой мотивации и влияния в бизнесе обычно описываются через то, как выстраивается путь аудитории от первого контакта до действия, какие психологические факторы повышают готовность откликнуться и как среда выбора направляет поведение. В качестве базовой «карты» часто используется классическая схема AIDA (внимание – интерес – желание – действие), которая помогает структурировать массовые сообщения и согласовать контент с этапом принятия решения (рисунок 1).

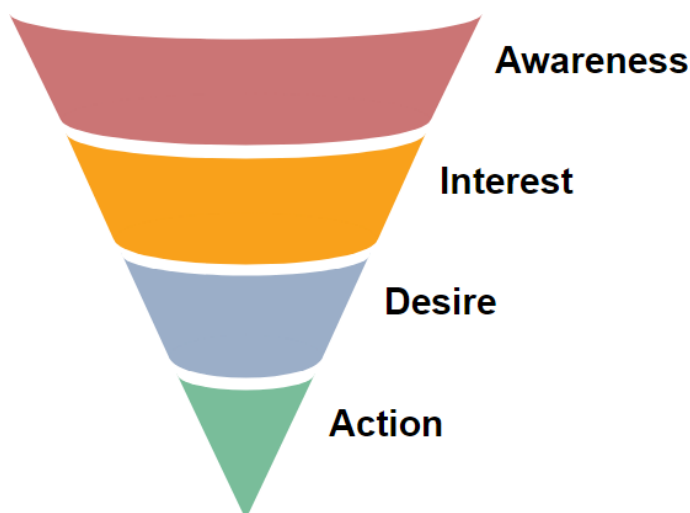


Рис. 1. Воронка AIDA, модель этапов воздействия на аудиторию [10]

Отдельный блок механизмов связан с доверием и безопасным использованием цифровых технологий, включая ИИ: при росте автоматизации коммуникаций аудитория оценивает не только удобство, но и этичность, надежность и прозрачность. В отчете Salesforce о состоянии взаимодействия компаний с клиентами отмечается снижение доли клиентов, которые доверяют бизнесу использовать ИИ этично, что делает доверие самостоятельным управленческим ресурсом и ограничителем инструментов влияния [8].

Механизмы удержания и лояльности относятся к массовой мотивации напрямую, потому что они переводят разовое действие в повторяемый паттерн поведения. В таблице 1 приведены примеры проверяемых количественных выводов из открытых источников, которые часто используются бизнесом при проектировании механизмов массовой мотивации и влияния.

Таблица 1 - Проверяемые количественные выводы из открытых источников о механизмах массовой мотивации и влияния в бизнесе

Механизм / фактор	Что измерено в открытых источниках	Значение
Персонализация	Ожидание персонализированных взаимодействий	71% ожидают персонализацию
	Реакция на отсутствие персонализации	76% испытывают фрустрацию
	Средний эффект на выручку (оценки исследований)	10-15% прирост (диапазон 5-25%)
Доверие к ИИ у клиентов	Доверие к этичному использованию ИИ бизнесом	42% доверяют (снижение относительно прошлого года)
Удержание клиентов	Связь удержания и прибыли	+5% удержания → +25-95% прибыли

Источник: [5], [8], [9].

Организационная модель управления большими аудиториями в бизнесе описывает, как внутри компании распределяются роли, процессы и ответственность за коммуникации, данные и технологии, чтобы работа с массовыми сегментами была управляемой и

измеримой. Важно закрепить, что управление большой аудиторией требует не только контента и каналов, но и устойчивого «контура управления»: единых правил планирования кампаний, согласования сообщений, контроля качества, управления изменениями, а также регулярной отчетности по результатам.

Рост сложности технологической среды делает организационную часть особенно значимой: по ежегодной карте маркетинговых технологий количество решений в ландшафте выросло с 11,038 до 14,106 за год, что иллюстрирует, почему компании вынуждены формализовать управление стеком инструментов, интеграциями и данными, а не полагаться на разрозненные инициативы отдельных команд (рисунок 2).

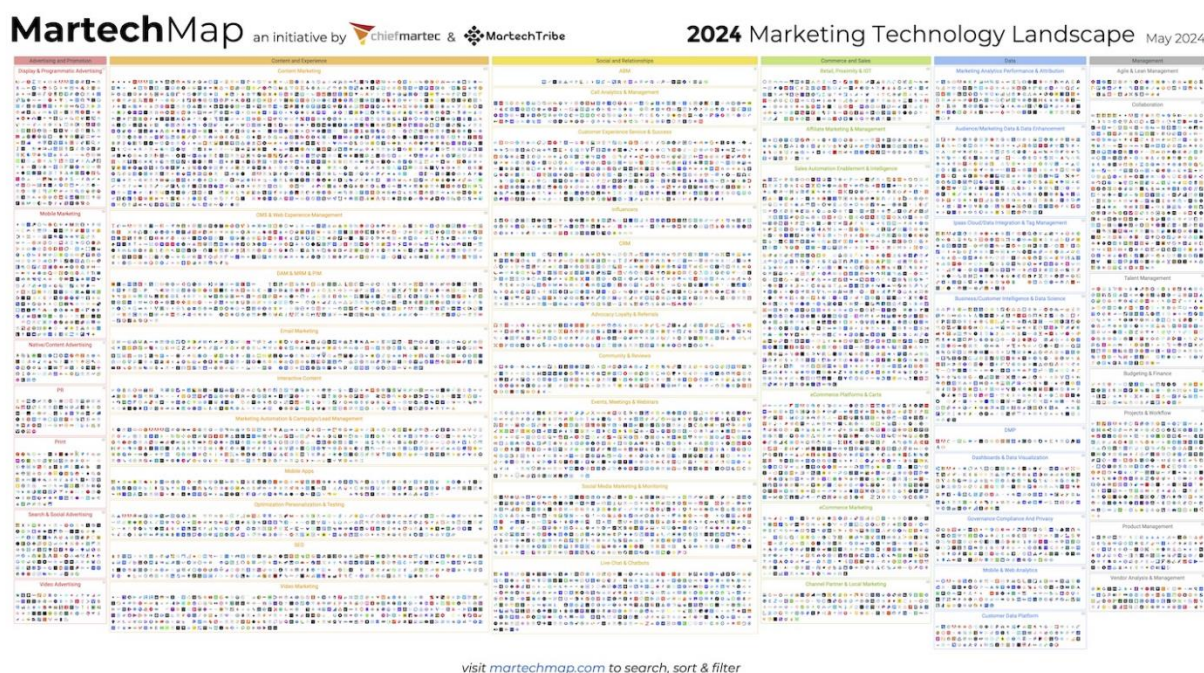


Рис. 2 - Карта маркетинговых технологий [1]

Внутри организационной модели в плане следует отразить, какие подразделения и роли участвуют в управлении аудиториями и где проходит граница ответственности: владельцы коммуникаций (бренд, PR/коммуникации, привлечение), владельцы продукта и клиентского опыта, аналитика и управление данными, а также операционная функция, обеспечивающая единые стандарты процессов и измерений. Для фиксации содержания этой функции удобно дать компактную «матрицу элементов» (таблица 2).

Таблица 2 - Элементы организационной модели операционного управления маркетингом

Элемент	Смысл в организационной модели
Процессы	Регламентация планирования, исполнения и контроля маркетинговых активностей
Технологии	Управление инструментами и их согласованной работой в едином контуре
Данные	Единые правила сбора, качества, доступа и использования данных для коммуникаций

Аналитика и измерение	Метрики, отчетность и анализ для проверки эффективности и корректировок
-----------------------	---

Источник: разработка автора.

Оценка эффективности массового влияния в бизнесе начинается с выбора метрик, которые отражают реальное движение аудитории от контакта к действию и позволяют отличать «охват» от фактического воздействия. В цифровых каналах базовые показатели (показы, клики, переходы) сами по себе не доказывают, что сообщение было действительно увидено и повлияло на решение, поэтому в измерениях отдельно фиксируют качество контакта и его последствие (рисунок 3).

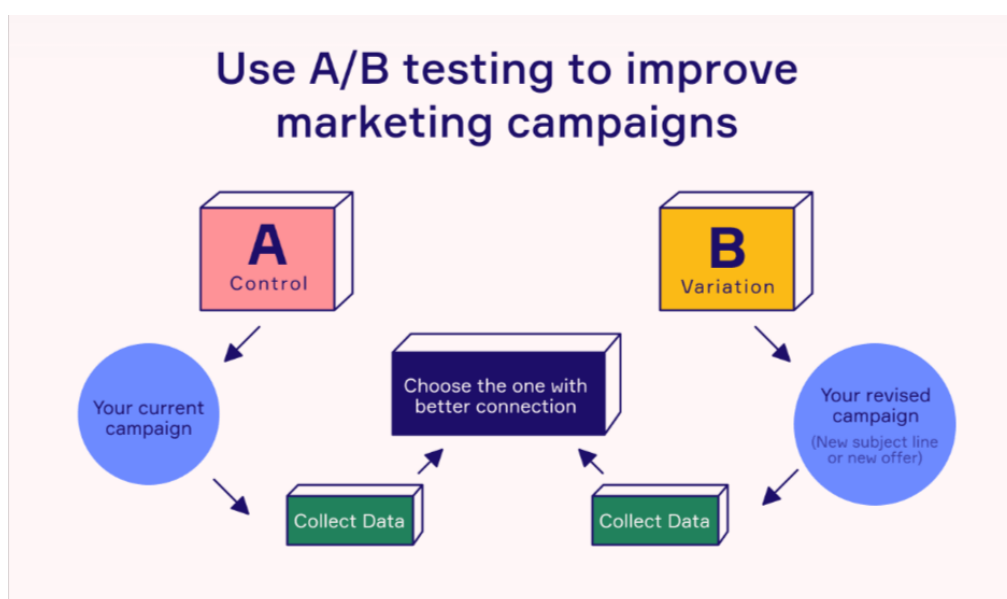


Рис. 3 - Пример визуальной логики А/В-тестирования: сравнение контрольного и тестового варианта по результату [2]

Практически значимая часть аналитики связана с тем, что бизнесу нужно не просто «сколько произошло», а «что произошло из-за коммуникации». Для этого применяют инкрементальные (причинные) измерения, где эффект оценивается через контролируемое сравнение групп. В Google Ads это реализовано в инструменте Conversion Lift, который прямо описан как контролируемый эксперимент с разделением аудитории на группу, видевшую рекламу, и группу, не видевшую рекламу, а разница в конверсиях интерпретируется как «lift» – прирост, вызванный наличием рекламы [3].

Отдельный обязательный блок метрик в массовых кампаниях – оценка того, имела ли аудитория реальную возможность увидеть рекламное сообщение. Для этого используют показатель видимости и опираются на рекомендации отраслевых стандартов MRC/IAB: для медийной рекламы «видимый показ» фиксируется, когда объявление находится в видимой части экрана и сохраняет эту видимость минимальное время; для крупных форматов допускаются отдельные условия; для видеорекламы применяются свои критерии видимости. Такой подход позволяет отделять формальные «показы» от фактически увиденных контактов и более корректно сравнивать эффективность разных каналов и площадок.

Для массовых коммуникаций в собственных каналах компании (например, email-рассылках) эффективность корректнее оценивать не «в вакууме», а в сравнении с

отраслевыми ориентирами, которые публикуются в открытом доступе. Такой подход помогает понять, является ли текущая открываемость, кликабельность и доля отказов типичной для рынка или указывает на проблему в базе адресов, теме письма, сегментации либо контенте. Крупные сервисы email-маркетинга регулярно выпускают открытые подборки бенчмарков по средним значениям и по отдельным отраслям.

Экспериментирование в этой системе измерений используется как способ отделить «совпало по времени» от «вызвано воздействием» и получить показатель прироста, который можно применять для оптимизации бюджета и сценариев коммуникации. В материалах Google по инкрементальным тестам подчеркивается, что результат позволяет оценить дополнительную выручку, которую бизнес получил именно благодаря кампании, и далее рассчитывать инкрементальную отдачу на рекламные расходы как отношение инкрементальной выручки к затратам на медиа.

Практические кейсы позволяют сравнить стратегии влияния не по описаниям, а по тому, какие управленческие решения масштабируются на миллионы людей и какие результаты компании раскрывают публично. В качестве сопоставимых примеров удобно брать бизнесы, где влияние «встроено» в продуктовую модель: программа лояльности (Starbucks), членская модель (Costco) и привычкообразующий цифровой сервис с игровой механикой (Duolingo). Числа в этих кейсах взяты из открытой корпоративной отчетности и пресс-релизов.

В таблице 3 представлены публичные показатели и управленческая логика стратегий влияния.

Таблица 3 - Публичные показатели и управленческая логика стратегий влияния

Кейс	Ядро стратегии влияния на аудиторию	Показатели из открытых источников
Starbucks Rewards	Программа лояльности, которая стимулирует повторные покупки через цифровой контур взаимодействия с клиентом	33,8 млн участников Starbucks Rewards, активных за последние 90 дней в США (итоги 2024 финансового года)
Costco (членская модель)	Членство как основной механизм удержания: регулярный взнос поддерживает долгосрочные отношения и повторяемость покупок	Продление членства на конец 2024 финансового года: 92,9% (США и Канада) и 90,5% (в мире); продажи Executive-участников – около 73,3% мировых продаж
Duolingo (модель freemium)	Удержание и вовлеченность через продуктовую механику и регулярное использование сервиса	Во 2 квартале 2025 года: MAU 128,3 млн (ежемесячная активная аудитория) и DAU 47,7 млн (ежедневная активная аудитория)

Источник: [4], [6], [7].

Сравнение кейсов показывает, что стратегии массового влияния различаются по месту, где формируется управляемое поведение, и по условиям, при которых оно устойчиво. Программа лояльности наиболее результативна в бизнесах с частыми повторными покупками и понятной фиксацией результата через транзакции, поскольку именно регулярность контакта делает вознаграждение и цифровые сценарии

взаимодействия эффективным инструментом удержания. Членская модель работает там, где компания способна стабильно подтверждать ценность членства и поддерживать высокий уровень доверия на длительном горизонте, поэтому ключевым становится не разовое стимулирование, а постоянное соотношение «взнос – выгода». Цифровая модель freemium опирается на способность продукта формировать привычку регулярного использования и удерживать интерес через понятный прогресс и повторяемые сценарии внутри сервиса.

С управленческой точки зрения это означает, что корректно сравнивать такие стратегии следует не по креативным решениям, а по целевым показателям и механике их достижения: для программ лояльности – по числу активных участников и повторяемости покупок, для членских моделей – по доле продления, для цифровых сервисов – по динамике активной аудитории и удержанию. Именно привязка к измеримым показателям и соответствующая организационная логика обеспечивают воспроизводимость эффекта на больших аудиториях.

Выводы. Таким образом, управление большими аудиториями в цифровой среде требует сочетания трех уровней: механизмов влияния (коммуникация, мотивационные стимулы, доверие, удержание), организационного обеспечения (процессы, технологии, данные и аналитика как единый контур) и доказательной оценки результатов (метрики, сравнение с ориентирами, причинные измерения и экспериментирование). Сравнение кейсов показывает, что эффективность стратегии определяется соответствием бизнес-модели и целевых показателей: для программ лояльности критичны активность участников и повторяемость покупок, для членских моделей – продление и долгосрочная ценность, для цифровых сервисов – динамика активной аудитории и удержание.

Следовательно, устойчивое массовое влияние достигается не отдельными коммуникационными приемами, а управляемой системой, где инструменты воздействия поддержаны организационной инфраструктурой и проверяются измеримыми результатами.

Литература:

1. 2024 Marketing Technology Landscape Supergraphic – 14,106 martech products (27.8% growth YoY) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://chiefmartec.com/2024/05/2024-marketing-technology-landscape-supergraphic-14106-martech-products-27-8-growth-yoy/>.
2. 6 Proven Ways to Measure Marketing Success | mvpGrow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mvpgrow.com/ways-to-measure-marketing-success>.
3. About Conversion Lift – Google Ads Help [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://support.google.com/google-ads/answer/12003020?hl=en>.
4. COST 2024 Annual Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://s201.q4cdn.com/287523651/files/doc_financials/2024/ar/COST-2024-Annual-Report.pdf.
5. Loyalty rules chapter one [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.bain.com/contentassets/29f74ec417fa4e36a1d7d7e7479badc5/loyalty_rules_chapter_one.pdf.
6. Q2FY25 Duolingo 6-30-25 Shareholder Letter [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://investors.duolingo.com/static-files/0b55110c-2eb9-466d-8549-5459e0851290>.

7. Starbucks Coffee Company – Starbucks Reports Q4 and Full Fiscal Year 2024 Results [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://investor.starbucks.com/news/financial-releases/news-details/2024/Starbucks-Reports-Q4-and-Full-Fiscal-Year-2024-Results/default.aspx>.

8. State of the Connected Customer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.salesforce.com/en-us/wp-content/uploads/sites/4/documents/research/State-of-the-Connected-Customer.pdf>.

9. The next frontier of personalized marketing | McKinsey [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/capabilities/growth-marketing-and-sales/our-insights/unlocking-the-next-frontier-of-personalized-marketing>.

10. Use AIDA Model for Marketing Strategy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://online.visual-paradigm.com/knowledge/marketing-tool/aida-model-for-marketing-strategy>.

UDC 342.721:004.738.5

Ibragimova Sezim Khairullaevna

Second-year Master's Student,
International and Business Law Program,
Ala-Too International University
(Bishkek, Kyrgyzstan)

LEGAL ISSUES OF PERSONAL DATA PROTECTION IN THE KYRGYZ REPUBLIC

Abstract: This article examines the legal issues of personal data protection in the Kyrgyz Republic in the context of global digital transformation. The study analyzes the constitutional guarantees of privacy, the provisions of the Law “On Personal Information,” and the existing gaps in enforcement mechanisms. Special attention is given to the absence of an authorized supervisory body, insufficient public awareness of personal data rights, and the lack of technical and organizational security measures for data holders. The article also compares the Kyrgyz regulatory framework with international practices in the European Union, the United Kingdom, Singapore, and Russia. Based on this analysis, the article proposes measures aimed at strengthening the national system of personal data protection, including the establishment of an authorized state body, development of methodological guidelines, and introduction of effective supervisory and enforcement mechanisms.

Key words: personal data; privacy; data protection law; authorized body; digital transformation; legal regulation; cross-border data transfer; information security; supervisory mechanisms.

The right to privacy, or the right to the inviolability of private life, defines the personal sphere of every individual (private and family life, honor, reputation, name, image, correspondence, dwelling, and more) as an independent value and ensures its protection from any unjustified intrusion or disclosure. The ideas of privacy and inviolability of private life have become a legal right that cannot be violated by anyone—neither by private individuals nor by the state.

The formulations contained in the Universal Declaration of Human Rights (phrased in a negative form — “no one shall,” rather than the positive — “everyone has the right to privacy”) regarding legal protection of private life and the prohibition of arbitrary interference have defined the essence and place of this institution within the human rights system. The Declaration proclaims the principles of non-interference in private life and the home as an inviolable personal space.

Following the Universal Declaration, the inviolability of private life was further enshrined in other fundamental documents: Article 17 of the International Covenant on Civil and Political Rights, Article 8 of the European Convention on Human Rights, and in the constitutions of nearly all countries, including the Constitution of the Kyrgyz Republic (Article 29 establishes the right of every person to the inviolability of private life and the protection of honor and dignity). The commitment to protecting private life from arbitrary interference has also been preserved in more recent international documents: the Charter of Fundamental Rights of the European Union,

adopted in 2000, reproduces the wording of Article 8 of the European Convention verbatim in Article 7.

Closely connected with the right to privacy is the institution of personal data protection. In essence, personal data protection is exercised in accordance with the right to the inviolability of private life. This protection extends to the collection and processing of personal data because “the right to privacy is affected not only during the analysis or use of information about an individual by a person or an algorithm, but also by the mere fact of preparing and collecting data concerning the personality, family, and life of a particular individual.” Even the simple generation or collection of data relating to a person’s identity, family, or life already affects the right to privacy, since these actions deprive the individual of a certain degree of control over information that may endanger his or her private life.

Moreover, the very existence of surveillance or analysis of personal data from various sources is equivalent to interference with the right to privacy. While the institution of privacy protects the interests of individuals from unlawful interference by the state or businesses, the legislative regulation of personal data protection proceeds from the possibility of data circulation, establishing principles and conditions for their lawful processing. Data is a necessary asset of the digital economy, and data exchange is an integral foundation of the information society and the digital market.

In the context of digital transformation and the emergence of digital services, the scale of personal data collection and exchange increases significantly. Technologies enable private companies and public authorities to use personal data in unprecedented volumes while carrying out their activities. This requires a robust legal framework for data protection, based on strict enforcement, as it is essential for creating an atmosphere of trust that will allow the digital economy to develop. It is necessary to increase legal certainty and practical reliability regarding lawful data exchange for individuals, economic entities, and public authorities. Therefore, improving legislation in the field of personal data protection and creating adequate supervisory bodies with strong powers to prevent violations are important tasks for the Kyrgyz Republic.

Let us consider the situation regarding personal data protection in our country. The Constitution of the Kyrgyz Republic guarantees the right of every person to the inviolability of private life, specifically the prohibition of collecting, storing, using, and disseminating confidential information and information about a person’s private life without his or her consent. In 2008, the Law “On Personal Information” No. 58 of 14.04.2008 (hereinafter referred to as the “Personal Data Law”) was adopted, aimed at the legal regulation of work with personal data (hereinafter “PD”). Kyrgyzstan is also a party to international agreements under which the legislator has established a range of rights and obligations for data owners, data holders, third parties, and the authorized state body responsible for ensuring the protection of PD. However, despite the existence of relevant legislation, in practice there is no effective mechanism for protecting PD. A number of procedural issues require improvement, and a mechanism must be created for supervising compliance with the rules of data collection, processing, storage, and protection, as well as for appealing unlawful actions by data holders and establishing sanctions for violations of legal requirements.

In our view, to ensure comprehensive protection of PD, the state should focus its efforts on three main sectors:

- 1) information and educational activities for personal data subjects;

- 2) the creation and strengthening of the powers of an authorized state body responsible for protecting the rights of PD subjects;
- 3) active enforcement of data protection measures through such an authorized body.

A key factor behind systemic violations in the field of PD is the insufficient level of public awareness regarding individual rights. Citizens who fall victim to violations of personal data protection laws often take no action. This inaction is usually due to a lack of understanding of the risks associated with personal data disclosure or a lack of knowledge about what actions may be taken, which authority oversees PD protection, and what guarantees the state provides. Therefore, one of the state's main tasks should be improving legal literacy, promoting careful handling of personal data, and enhancing interactions among participants in these legal relationships—namely the state, data holders, and citizens. Personal data subjects should be informed about systemic violations, penalties for collecting excessive data, and other unlawful practices in the PD sphere.

To ensure effective data protection, the state should develop guidelines for transparent data handling, align internal documents of data holders with legal requirements, and create instructions and methodologies for lawful collection, processing, and storage of PD. The Personal Data Law places an obligation on data holders to designate a processor that provides guarantees regarding technical and organizational security measures, except in cases where the data holder performs the processing independently. However, in practice, data holders do not comply with this obligation because no instructions or technical security measures have been established for data holders, nor does a supervisory body exist to ensure compliance. Thus, personal data protection legislation in the Kyrgyz Republic consists only of the Personal Data Law and the relevant provision of the Constitution.

According to the Personal Data Law, an authorized state body for PD protection (hereinafter the “Authorized Body”) is established in the Kyrgyz Republic and is responsible for registering data holders, maintaining the Register of Data Holders, and performing other functions under the Law. Article 18 of the Law provides that legal entities may process PD only after registering with the Authorized Body. Data holders and processors must ensure the security of PD to prevent unauthorized access, blocking, transfer, as well as accidental or unlawful destruction, alteration, or loss.

The Law also assigns supervisory functions to the Authorized Body; if inaccurate data or unlawful actions are detected, a PD subject may file a complaint. However, the Government of the Kyrgyz Republic has not designated such a body, and therefore, in practice, data holders do not register, the Register is not maintained, and violations in the PD sphere remain unpunished.

By contrast, many European countries have established offices of data protection commissioners responsible for enforcing PD rights and conducting inspections upon receiving complaints. In the United Kingdom, this role is performed by the Information Commissioner's Office (ICO). Its powers include inspecting government agencies, private individuals, and private-sector organizations and imposing fines or referring cases for criminal prosecution. Belgium has the Privacy Protection Commission, Finland has the Data Protection Ombudsman (Tietosuojavaltuutettu), and Germany has a data protection authority in each federal state responsible for compliance with data protection law. These authorities not only exercise oversight but also raise awareness and develop technical and organizational measures to protect data.

Beyond Europe, many countries have undertaken significant legislative reforms in the past five years, including states in Asia and the CIS. Notable progress has been made in Singapore,

where the Personal Data Protection Commission develops and implements policies and regulations to balance the need for data protection with the needs of organizations to use PD; prepares guidance for data holders; reviews cases and issues decisions; represents the state internationally; and provides educational and outreach programs for organizations and individuals. Russia adopted the Federal Law “On Personal Data” in 2006, and by 2008 established its authorized body for PD protection. Currently, this role is performed by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technologies, and Mass Media (Roskomnadzor). In 2015, its department for PD protection conducted 805 inspections and identified 1,188 violations.

With the ongoing development of technology and e-commerce, organizations are increasingly able to enter international markets and offer their goods and services to clients regardless of geographic boundaries. To operate internationally, companies need reliable and uninterrupted access to data wherever it is located. There is an opinion that avoiding strict data localization requirements allows businesses of all sizes to operate globally, meaning that free cross-border data transfer promotes both national and global economic development. This issue is now widely discussed internationally, including among business communities, and many states are reforming their legislation.

For example, in the United States, there are no restrictions on cross-border data transfer; organizations may store and transfer both corporate and employee data provided that adequate protection is ensured. In many European countries, however, cross-border transfers outside the EU are prohibited unless the receiving country provides an adequate level of protection or unless the PD subject has given written consent. In Kyrgyzstan, as in Russia, cross-border transfers are allowed if the data holder relies on an international treaty ensuring that the receiving party provides an adequate level of protection for PD subjects and their rights.

However, questions arise: what constitutes an “adequate level of protection,” and who determines whether a foreign state meets this standard? Russian practice shows that adequate countries include those that are parties to the Council of Europe Convention for the Protection of Individuals with regard to Automatic Processing of Personal Data (No. 108 of 28.01.1981) and other states listed by Roskomnadzor. In Kyrgyzstan, however, no such list exists, making it impossible to determine what level of protection a particular country provides. In practice, data holders determine independently whether data transfers are permissible. Therefore, it is reasonable to assign the Authorized Body the responsibility to determine which states provide adequate protection and require PD holders to notify the Authorized Body in writing about transfers, reflect such transfers in internal documentation, and obtain written consent from the PD subject when applicable.

Conclusion. The analysis of the current state of personal data protection in the Kyrgyz Republic demonstrates that, despite the existence of constitutional guarantees and the adoption of the Law “On Personal Information,” the practical mechanisms for ensuring data protection remain insufficient. The absence of an authorized supervisory body, unclear procedures for registration and oversight of data holders, and the lack of technical and organizational standards create systemic vulnerabilities in the protection of personal data. Additionally, low public awareness about personal data rights prevents citizens from effectively defending their interests. International experience shows that an effective system of personal data protection requires not only strong legislation but also active enforcement, transparency, and ongoing educational efforts. For the Kyrgyz Republic, establishing an authorized body with clearly defined powers

and responsibilities is a critical step. Developing methodological guidelines for data holders, ensuring lawful cross-border data transfer, and introducing sanctions for violations would significantly improve compliance and strengthen trust in the digital environment.

Thus, comprehensive reforms in the field of personal data protection are essential for safeguarding individual rights, promoting legal certainty, and supporting the country's digital and economic development.

References:

1. Закон Кыргызской Республики “Об информации персонального характера” 2008, No. 58, статья 17

2. Закон Кыргызской Республики “Об информации персонального характера” 2008, No. 58, статья 6

3. Getting the Deal Through, “Data Protection & Privacy 2015,” (London: 2015): 202

4. DLA Piper, “Data Protection Laws of the World”: 41, 132, 146

5. Personal Data Protection Commission Singapore, последнее обновление от 29.02.2016, <https://www.pdpc.gov.sg/about-us/what-we-do>

6. “ComNews: На персональные данные прольется свет”, Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, последнее изменение 11 ноября 2015 года, <https://rkn.gov.ru/press/publications/news35923.htm>

7. Закон Кыргызской Республики “Об информации персонального характера” 2008, No. 58, статья 25

8. Правовые вопросы защиты персональных данных в Кыргызской Республике: Анализ действующего законодательства https://internetpolicy.kg/wp-content/uploads/2023/03/%D0%9F%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5-%D0%B2%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B_%D0%BE%D1%82%D1%87%D0%B5%D1%82_%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C-3.pdf

UDC 347.23

Sabirova Adina UlugbekovnaCo-founder
«Legacy Law Firm» LLC
(Bishkek, Kyrgyz Republic)**Smadiiarova Aruuke Sydykovna**General Director
«Legacy Law Firm» LLC
Bishkek city, Kyrgyz Republic

PROTECTION OF THE RIGHTS OF HONEST OWNERS IN RETURNING THE PRIVATISED PROPERTY IN FAVOUR OF THE STATE

Introduction. The right of ownership is one of the fundamental human rights and plays a key role in ensuring the stability of the legal and social order. At the same time, in the practice of legal regulation, there are situations when the right of ownership may be restricted in the interests of the state, for example, when privatised property is returned in favour of the state. Such processes occur through the initiation of criminal cases on the facts of illegal privatisation, which is accompanied by court proceedings, in the course of which the property is returned to the state. However, in these cases there is a problem of protecting the rights of honest owners who acquired property legally, but find themselves deprived of their ownership rights without proper compensation.

The purpose of this study is to analyse the protection of the rights of honest owners when the privatised property is returned in favour of the state. The paper will address issues related to the mechanisms for protecting the rights of honest owners, legal mechanisms for compensating losses and possible ways to improve the legislation to ensure a fair approach in such situations.

This problem is particularly relevant in 2024, when Kyrgyzstan continues to return property that had been privatised decades ago in favour of the state. In such situations, honest owners often find themselves at a disadvantage, as their rights are not always properly protected, and issues of compensation for loss of property remain unaccounted for. It is important to note that this issue has not yet been studied from a legal point of view in Kyrgyzstan. There are only opinions of journalists and public discussions, but there is no legal basis and detailed analysis of the situation in the context of legislation and judicial practice.

The issues of protecting the rights of honest owners when returning privatised property in favour of the state are the subject of active discussions. There are several approaches that are being discussed both in the legal environment and in society. The first question that arises in this discussion is **how are the rights of honest owners protected in case of property return?** Some lawyers argue that existing legal norms, including the Constitution and the Civil Code, should

protect the rights of individuals to acquired property if it was obtained legally. However, others believe that with privatised property being returned to the state, the interests of the public authority should be prioritised, which in turn weakens the protection of private property. The problem is that many honest owners are left without proper compensation, which causes discontent in society.

The second important aspect is the legal mechanisms for compensating good faith owners. Some researchers argue that in order to ensure fairness, a system of compulsory compensation should be introduced for owners whose property rights are violated. However, this approach faces economic and political difficulties. Opponents of compensation argue that it may lead to a financial burden on the state budget, especially if such compensation should be provided for all cases of property recovery. At the same time, there are examples where other countries have developed compensation mechanisms that balance the public interest.

Finally, the third issue concerns what improvements should be made to the legislation to better protect the rights of good faith owners? Some experts suggest introducing clearer and more transparent rules for resolving disputes between private owners and the state, establishing a mechanism that takes into account the interests of both parties. This could include establishing specialised judicial bodies or improving existing ones, as well as creating new procedures to compensate or protect the rights of good faith owners. It is important to bear in mind that improvements in the legal framework should be accompanied by increased legal awareness among citizens and strengthened mechanisms to monitor the implementation of legislation.

The methodological framework of the research includes two main methods: case study and content analysis. The case study will be used to analyze specific cases related to the return of property in order to identify how the judicial and legal authorities address the issues of protecting the rights of honest owners. Content analysis will be used to examine existing regulations, court decisions and legal documents to identify gaps in legislative and judicial practice regarding the protection of the rights of owners who acquired property in good faith.

Chapter 1. The Right of Private Ownership: History, Theoretical Foundations and Legal Regulation

The right of ownership is a fundamental human right and an important element of the legal system that protects the personal and economic interests of citizens. These right covers not only tangible assets such as land, buildings and vehicles, but also intangible assets such as copyrights or intellectual property rights. The importance of this right cannot be overemphasized, as it is the basis for the functioning of the market economy and the most important instrument for the protection of private interests.

Historical development of the institution of private ownership

The right of ownership has deep historical roots and its development is inseparable from the evolution of human societies. The concept of ownership has undergone significant changes in different historical epochs. In ancient societies, ownership was often the privilege of elites and

royal families. In ancient Greece and Rome, the right to property was recognized as an essential element of freedom, but it was limited by the social structure and depended on the social status of the individual.

In Ancient Rome, ownership was linked to the concept of “*dominium*”, which included the full right to own, dispose of and use property. However, it did not always extend to land and resources, which were usually under the control of the state. For example, land used for agriculture could be owned by private individuals as well as by the state. Roman law has left an important imprint on modern legal regulation, including principles such as the protection of property rights through the judiciary.

With the development of feudalism in Europe during the Middle Ages, the right of ownership of land became the main instrument of power. Land was distributed among kings, feudal lords and the church, and land ownership served as a symbol of social and economic status. At this time, property rights were not available to the majority of the population, as peasants were generally dependent on feudal lords and had no land rights of their own.

With the transition to capitalism in the early Modern period, especially the Enlightenment, the right of ownership began to be perceived as an inalienable right of individuals. The ideas put forward by thinkers such as John Locke were widely recognized in Europe, especially in England and France. Locke argued that property was a natural human right based on labor and personal effort. He believed that every person has a right to what he or she has created or on which he or she has invested his or her labor.

After the Industrial Revolution, the right of ownership became a key element of a market economy where private owners of land and businesses played an important role in economic development. This was the time of formation of modern legal institutions of private property, including the system of contracts and the protection of private interests through the judiciary. With the development of capitalist countries in the 19th and 20th centuries, the right of ownership became a right of every citizen, regardless of their social status or origin.

Theoretical foundations of the right of private ownership

The theoretical foundations of the right of ownership developed depending on the political and economic situation in different countries. In the 18th and 19th centuries in Europe and the United States, the main theories were formed to explain the role of private property in society. One of the most important theories is the theory of natural law put forward by John Locke, according to which the right of ownership is a natural right derived from human nature. Locke argued that everyone has a right to land and resources if they use them through labor and effort.

Social contract theory, on the other hand, argues that the right of ownership arises from agreements between people and the state, as well as from contracts between private actors. According to this approach, private property is the result of agreements and a social contract that enshrines the right of ownership in favor of the common good.

The theory of the social function of ownership was proposed in the 20th century by Marxist thinkers such as Karl Marx and Friedrich Engels. According to this theory, property should serve not only the interests of the owner, but also society as a whole. Unlike individualistic theories, the social function of property argues that resources and land should be used for the benefit of all, not just private owners.

The theory of market economy states that private ownership is the basis for a free market and a capitalist economy. This right allows individuals and organizations to freely dispose of their assets, enter into transactions and maximize profits. This theory views the right of ownership as integral to market relations, ensuring their stability and efficiency.

Legal regulation of the institution of private ownership in Kyrgyzstan

In the Kyrgyz Republic, the right of private ownership is regulated by several main legal acts, including the Constitution of the Kyrgyz Republic and the Civil Code of the Kyrgyz Republic. According to Article 15 of the Constitution, the right of private ownership is inviolable and protected on an equal basis with state and municipal property.

«Property is inviolable. No one may be arbitrarily deprived of his property. The right of inheritance shall be guaranteed. Seizure of property against the will of the owner is permitted only by court order in accordance with the procedure established by law. The seizure of property for public and State needs, as defined by law, is carried out by court decision by providing fair and prior security for compensation for the value of that property and for losses caused as a result of the alienation of the property»¹.

This provision is the basis for the protection of the rights of private owners and the defense of their property against unlawful seizure. The Constitution guarantees that property may be seized only in exceptional cases, if provided for by law, and with compulsory compensation of losses to the owner.

In addition, the Civil Code of the Kyrgyz Republic also regulates private ownership. Article 222 of the Civil Code² defines that the owner has the right to own, use and dispose of his property. This right is protected by law, and any actions that violate these rights can be challenged in court. It is important to emphasize that the legislation not only protects the right of ownership but also limits it taking into account the public interest, which is particularly relevant in the context of issues related to the return of privatized property to state ownership.

In order to understand more precisely what rights are violated when the state takes property from private owners, it is important to consider each of the owner's rights under Article 222 of the Civil Code.

Possession is the legally enforceable ability to actually possess property. It includes the physical ability to hold it, to store it, to use it as a source of wealth or personal comfort. For

¹ Article 15 of the Constitution of the Kyrgyz Republic

² Civil Code of the Kyrgyz Republic, Part I

example, if a person has acquired a piece of land, the right of possession allows him or her to physically be on the land, to build buildings on it, or to use it as he or she sees fit.

When the state initiates processes to return privatized property, it violates the owner's right to physical possession of his property. The seizure of property effectively deprives a citizen of the ability to use his plot of land, building or other property, even if he has legally acquired it.

Example of a violation: if the state takes away a piece of land on which a person has built a house or is farming, their physical possession of the land ceases, and they lose access to these valuable assets.

The right to use is the ability to extract useful properties from the property. For example, the owner of a land plot may use it for agriculture, construction, residence or other purposes that are not contrary to the law. For immovable property, it also means the right to receive income from renting out or using the property for personal purposes.

When the state takes property from honest owners, it deprives them of the ability to use that property for personal or economic purposes. This violation is particularly painful for those owners who have invested in their property, whether in building houses, running a business, or farming.

Example of violation: if a plot of land was used for business purposes, such as organizing a farm, the seizure of that plot deprives the owner of a source of income and violates his right to use the property for economic activity.

The right of disposal is the right of the owner to freely determine the legal fate of his or her property. It includes the right to sell, give, lease, bequeath or encumber the property with various obligations, such as mortgages.

When property is taken from a honest owner, he or she is deprived of the right to dispose of his or her property as he or she sees fit. This includes both being prevented from selling the property and being prohibited from using it as collateral or for other legal actions. Thus, the owner loses the ability to profit from the property or redistribute it based on his financial or personal interests.

Example of violation: if a plot of land has been sold or leased and the state decides to reclaim it, the owner loses the ability to dispose of the property - to sell it to another person, lease it or use it for profit.

When the state initiates the return of privatized property, it effectively violates the rights of the owners, including their right to own, use and dispose of the property. These actions can cause a wide range of legal and social consequences, such as loss of property, cessation of activities on the land or loss of sources of income.

However, it is important to note that the legality of such actions and mechanisms to protect the rights of owners will be explored in more detail in Chapter 4, which will focus on the balance between the inviolability of private ownership and the public interest. In this chapter, we will look in detail at how legislation can protect the rights of honest owners and what measures can be taken to improve current legal practices in Kyrgyzstan.

Chapter 2. Privatisation: History, theoretical foundations and legal regulation

History of privatisation: the collapse of the USSR and its consequences

The concept of “*privatisation*” became particularly relevant in the post-Soviet period, when the states of Central and Eastern Europe, including Kyrgyzstan, faced the need to transition from a planned economy to a market economy. During the Soviet era, the entire economy was based on centralised management and state ownership, which meant that all resources, including land, enterprises and other assets, were in the hands of the state. This economic order changed with the collapse of the Soviet Union and the transition to a market economy.

Privatisation as a process of transferring state ownership into private hands developed in the 1990s after the collapse of the USSR. With the transition to a market economy, many post-Soviet countries, including Kyrgyzstan, faced the task of reforming the economy, privatising state-owned enterprises and redistributing resources. This phenomenon is associated with government reforms aimed at reducing state control and encouraging private enterprise. Privatisation included the sale of state-owned enterprises, privatisation of land and other assets previously owned by the state.

In the historical context, privatisation in the former Soviet Union was an integral part of the transition from a socialist economy to a market economy. According to Michael Sachs and Jeffrey Sachs (Sachs, 1990), privatisation was not only an economic but also a political process, as it depended to a large extent on the political will of the government and it was important how privatised property would be distributed among different segments of society.

The concept of *privatisation* acquired a broad meaning in the 1990s and has received different interpretations depending on the country and context. In some post-Soviet countries, privatisation has been associated with the creation of private ownership and market institutions, while in others it has been associated with the redistribution of state property among elites. As Yuri Golovin (Golovin, 1996) notes, privatisation in post-Soviet countries was a highly controversial process that involved the redistribution of wealth and resources, which is largely responsible for the social and political problems these countries face to this day.

Theoretical foundations of privatisation

Privatisation as an economic process has several theoretical bases. Broadly speaking, privatisation is the process of transferring property from the state to private ownership. This process can include the sale of state-owned enterprises, the transfer of land to private ownership and social sector reforms.

The classical theory of privatisation argues that the transfer of property into private hands promotes economic efficiency, as private owners are more interested in increasing profits and optimising the use of resources. This theory is based on the principles of economic freedom, competition and market mechanisms. As argued by Grigory Gershunsky and Nikolai Ryzhkov (Gershunski, 1992), privatisation should lead to the creation of a competitive market that would ensure a more efficient use of resources than a planned economy.

There is also a critical theory of privatisation that highlights the risks of this process, especially in transition economies. Some researchers believe that privatisation in such countries may lead to increased social inequality and concentration of wealth in the hands of a small group of people. Sergei Soloviev (Soloviev, 2004) argues that without effective institutions and regulatory mechanisms, privatisation can lead to corruption and redistribution of property among elites, which violates the principles of justice.

However, neoliberal theory, popular in the 1980s and 1990s, argues that privatisation is an inevitable and necessary process to improve economic efficiency and stimulate the development of market institutions. According to this theory, privatisation helps to eliminate monopolies, improve the quality of goods and services and stimulate innovation. Views supporting this theory can be found in the works of Friedrich Hayek and Milton Friedman (Friedman, 2002), who believe that economic reforms, including privatisation, should reduce the role of the state in the economy and increase the role of private capital.

Privatisation in Kyrgyzstan

In Kyrgyzstan, privatisation has been an important element of the economic reforms that began after independence in 1991. As in other post-Soviet countries, the privatisation process in Kyrgyzstan was accompanied by significant social and economic changes. One of the first steps was the adoption of the Privatisation Legislation in 1992, which allowed the process of selling state-owned enterprises and transferring state property into private hands to begin.

Privatisation in Kyrgyzstan, as in other countries of the former Soviet Union, was aimed at reducing the state sector and creating a market for private entrepreneurs. The privatisation process was often flawed, leading to a number of social problems such as the concentration of property in the hands of a narrow group of people and the unfair distribution of wealth. Sergei Benashvili (Benashvili, 1999) notes that privatisation in Kyrgyzstan, despite successful steps such as the creation of a new class of private owners, has also led to a significant exacerbation of social and economic disparities in society.

An important point is that privatisation in Kyrgyzstan was carried out against a background of an insufficient legal framework and weak institutional arrangements, which led to a number of problems such as privatisation without proper legal procedures, violation of workers' rights and abusive transactions.

Privatisation in Kyrgyzstan, as in other transition economies, was associated with a number of problems that arose at different stages of the process. One of the main problems is the lack of transparency, corruption, and the mismatch between legislative norms and actual practice.

Examples from jurisprudence and real cases show how violations often occur that affect private owners and the public interest. Let us consider a few vivid examples that relate to the return of privatised property to state ownership.

One striking example concerns the building of educational institution “Z” (public school “Zvezdochka”), which was leased to a public school in Bishkek. The building with an adjacent territory of 2,801 square metres was taken out of state ownership in 1992, which was the reason for an inspection by the state authorities. The investigation found that this was done in violation of legal requirements, including KR Presidential Decree No. 37-UP of 16.02.1995 and a government decree on the protection of social infrastructure facilities. These regulations prohibited the alienation of social infrastructure facilities, such as children’s and educational institutions, regardless of whether or not the state had a share in them.

The inspection found that the transfer of the building into private hands violated the terms of the Programme for Denationalisation and Privatisation of State Property. As a result, the shareholders of the company voluntarily transferred the building back to the state, its value was estimated at 1 billion 6 million soms. Despite the return of the property, the educational institution continued its work, but now on the basis of a lease agreement with the State Agency for State Property Management.

This case highlights the importance of legal compliance and the lack of proper control over the privatisation process. The violation of legal norms in the 1990s led to the need to return the property to the state, which, despite legal legality, created certain difficulties for the educational institution. In practice, however, such cases often lead to conflicts between public and private interests, especially when it comes to large and critical social infrastructure facilities.

Another example is the case of a land plot in Nookat District, which was returned to state ownership as a result of a prosecutor’s inspection. The 381.74 ha plot had previously been illegally transferred into private hands in 1998, and, as it turned out, the land was associated with the Uluu-Too mercury deposit. However, despite the clear violation of the law, the site continued to be used by private individuals.

The Prosecutor’s Office found that the transfer of the plot was made in violation of the legislation, namely, in violation of the rules and conditions specified in the regulations concerning state property. After that the plot was returned to the balance of the state and its value was estimated at 1 billion 246 million soms.

In this case, the privatisation of a land plot related to natural resources was done illegally and this caused the need to return the property to the state. This case also highlights the importance of control over land privatisation, especially when it comes to natural resources that should remain in state ownership to ensure national security and sustainable development. The return of property in such situations is often accompanied by legal and social difficulties, as well as demands for compensation for honest owners, who in turn may suffer from the actions of the State.

Another example relates to an area in Chui oblast, which previously housed an enterprise for slaughtering livestock and producing sausage products. In 1995, several officials took this facility into private ownership. However, years later, the prosecutor's office discovered that the privatisation process was illegal, and as a result of an inspection, the property was returned to the state.

The territory where the buildings were located was valued at 119 million 937 thousand soms. Despite the return of the property to state ownership, the legality of privatisation has continued to be contested in recent years, raising questions about the legal purity of the transaction and the legality of the actions of officials.

This case also highlights the challenges of privatisation in relation to enterprises that may be of strategic importance or linked to important infrastructure such as food production. Problems arising in such cases include not only legal uncertainty but also social instability, as such enterprises are often linked to labour collectives and the economic life of regions.

Thus, privatisation in Kyrgyzstan, especially in the period after the collapse of the Soviet Union, was accompanied by numerous irregularities and deficiencies in the regulation of the process. The case studies show how illegal privatisations, as well as mistakes in the implementation of state programmes, can lead to the return of property to state ownership. These cases demonstrate not only the importance of compliance with legislation in privatisation, but also the need to create effective mechanisms to control this process. It is important to note that these cases also raise questions about the protection of the rights of honest owners, which will be explored in more detail in Chapter 4, where the balance between the rights of private owners and the interests of the state will be considered.

Chapter 3. Good faith purchaser: Concept, status in legislation and legal regulation

Meaning of Good faith purchaser

The term good faith purchaser refers to a person who acquired property without knowing or having reason to know that the property was acquired in violation of the rights of its previous owner. In legal theory and practice, this status is important to ensure the validity of transactions and to protect the rights of purchasers who act on the basis of trust in the seller.

The good faith of the purchaser is a key concept within the legal regulation of property transactions. This status protects the interests of those who acquire property in good faith, relying on the legality of the transaction and the actions of the seller. A good faith purchaser may claim protection of his rights in case it is revealed in the future that the property was acquired in violation of the rights of others. Otherwise, if the purchaser was not in good faith, his rights may be challenged and cancelled.

Article 291 of the Civil Code of the Kyrgyz Republic enshrines the provision on a good faith purchaser, stating that if property was acquired for compensation from a person who did not have the right to alienate it, but the purchaser did not know and should not have known about it,

he is entitled to retain the property, unless it was stolen or left the possession of the former owner for reasons beyond his control.

‘If property is acquired for compensation from a person who had no right to alienate it, of which the purchaser did not know and should not have known, the original owner has the right to reclaim the property from the purchaser’s possession only if the property is lost...’ (Article 291 of the Civil Code of the Kyrgyz Republic)

Status of a good faith purchaser in law

The good faith of an purchaser is an important element that determines its legal status in the event of disputes regarding the ownership of property. Unlike a dishonest owner, who knew or should have known that the property was acquired in violation of the rights of others, a good faith purchaser is not liable for the illegal alienation of property. This provision is based on the principle of protecting the interests of parties who act with respect for the rights of others, which is the basis of civil turnover.

The Civil Code of the Kyrgyz Republic (Article 291) protects the rights of good faith purchasers, which makes this institution an important element of stability of civil turnover. However, despite these provisions, the legislation sometimes leaves open questions related to what is considered good faith and how to verify the fact of good faith of purchaser.

Comparison with the legislation of other countries allows us to see differences and similarities in approaches to the protection of the rights of good faith purchasers. For example, in the Civil Code of the Republic of Kazakhstan (Article 217) similar provisions relate to the rights of good faith purchasers, but in Kazakhstan the courts are obliged to strictly adhere to the criteria of good faith and establish the presence of obvious signs of fraud or abuse when recognising a transaction as invalid.

Let us conduct a content analysis of Article 291 of the Civil Code of the Kyrgyz Republic, which defines the legal status of a good faith purchaser.

Article 291 says that if the property was acquired in good faith, it can be retained in the possession of the purchaser. However, there are exceptions, for example, if the property has been lost by the owner or stolen. The main point that this article emphasises is that a good faith purchaser is entitled to have his title protected even if it turns out in the future that the property was alienated in violation of the law.

The article emphasises the importance of the fact that the purchaser did not know and could not have known of the infringement of another person’s rights. This is a necessary condition for being recognised as good faith. However, the practice of court decisions shows that in some cases courts take a stricter approach to the definition of good faith, verifying that the purchaser could not have discovered the infringement with due diligence.

The article also emphasises that the rights of good faith purchasers can be freely disposed of, unless it is proved that the property left the possession of the former owner for unlawful

reasons. This provision contributes to the stability of civil turnover, as people can be confident in the legality of their transactions if they act in good faith.

It is important to note that the article provides for a number of exceptions. For example, if the property was stolen or left the possession without the owner's will, the good faith purchaser may be deprived of ownership of it. These exceptions are important to protect the rights of the original owners and prevent illegal transactions.

Protection of the rights of a good faith purchaser and the Resolution of the Plenum of the Supreme Court of the Kyrgyz Republic

Particular attention should be paid to the Resolution of the Plenum of the Supreme Court of the Kyrgyz Republic dated 24 May 2019 No. 11, which clarifies issues of judicial practice on disputes on invalidity of transactions and protection of the rights of good faith purchasers. The Resolution emphasises that invalidation of an initial transaction does not automatically invalidate subsequent transactions.

Courts should take into account that a good faith purchaser may retain its rights to the property if it was transferred to it in a lawful manner, even if the original transaction was recognised as invalid. An important point is that a vindication action (a claim for the return of property) can only be brought if the property has been lost or stolen. If the original transaction was vicious, but the owner's actions show his will to alienate the property, the court should refuse to reclaim the property from a good faith purchaser.

This ruling is of great importance for the protection of good faith purchasers, as it helps the court to more accurately assess the facts and actions of the parties when considering disputes over ownership. The court must consider not only the legal side of the case, but also the factual circumstances, such as the will of the owner and the circumstances of the transaction.

Problems related to the rights of good faith purchasers

Problems of protecting the rights of good faith purchasers still exist, especially in the context of insufficient transparency of the privatisation process and property transactions. One of the main problems is the vagueness of the criteria of good faith. In some cases, the judiciary may not agree that the purchaser acted in good faith even if it could not have been aware of the infringement of another person's rights. This creates uncertainty in enforcement and may lead to unfair judgements.

Another problem is the lack of clear compensation mechanisms for good faith purchasers who lose property if it is returned to the original owner or the state. At the moment there is no legislation in Kyrgyzstan that would guarantee compensation for losses to good faith purchasers.

Comparative analysis with the legislation of Kazakhstan shows that Kazakhstan also has a number of problems with the rights of good faith purchasers, especially in the context of protecting their rights in the return of property. However, in Kazakhstan more attention is paid to the mechanism of compensation, which makes the process fairer for the owners.

A study by Aizhan Kozhakhanova (Kozhakhanova, 2017) on the rights of good faith purchasers in Kazakhstan highlights that the Kazakh judicial system, unlike Kyrgyzstan, regulates the process of protecting the rights of good faith purchasers in more detail through the creation of specialised norms and standards for assessing good faith in transactions. In particular, the Kazakh Civil Code strictly establishes rules for determining good faith, and courts are required to establish clear signs of fraud in invalidating a transaction.

In addition, Kazakhstan has a compensation system designed to compensate good faith purchasers if the courts order the return of property. This compensation system covers not only the loss of property, but also compensation for other losses related to the rights of honest owner.

The institution of a good faith purchaser plays a key role in the legal system, ensuring the stability of civil turnover and protecting the interests of those who acquire property in good faith. However, despite the positive aspects of this institution, in practice there are a number of significant problems related to its application and protection of the rights of good faith purchasers. One such problem is insufficiently clear legislative regulation of the criteria of good faith, which leads to legal uncertainty and different interpretations by courts of what can be considered good faith.

The Civil Code of the Kyrgyz Republic sets out the basic provisions relating to a good faith purchaser, but court practice often encounters difficulties in establishing whether the purchaser acted in good faith, particularly where the property was transferred in violation of the rights of another person. Courts must consider not only the legal but also the factual circumstances of the transaction in order to properly assess whether the act of acquiring the property was done in good faith. Importantly, these issues are often left open, creating legal uncertainty for both honest owners and the original owners.

An important aspect that requires further improvement is the lack of a clear system of compensation for good faith purchasers who lose property if it is returned to the original owner or the state. At the moment, Kyrgyz legislation does not provide sufficient mechanisms for compensation of losses for good faith purchasers, which leads to social conflicts and dissatisfaction of citizens. This is particularly relevant in the case of returning property previously privatised illegally or in violation of the law, which occurs, for example, in the framework of processes to return privatised objects to state ownership.

A comparative analysis of Kyrgyz and Kazakh legislation shows that Kazakhstan has a more developed legal practice, including stricter good faith criteria and a compensation mechanism. Kazakhstan has also introduced additional protections for good faith purchasers, making the legal system fairer and more predictable. Examples from the Kazakhstani case law described in the studies show that in the event of disputes, Kazakhstani courts tend to seek compromise solutions that take into account not only the letter of the law, but also the actual good faith of the parties, and provide compensation for losses to good faith purchasers.

In order to improve the legal situation in Kyrgyzstan, it is necessary to improve legislation and judicial practice, directing efforts towards a clear definition of the criteria of good faith of purchasers and the creation of an effective system of compensation for losses. This will not only

protect the interests of honest owners, but will also increase citizens' confidence in the legal system, creating a more stable and fair civil turnover.

Thus, the protection of the rights of good faith purchasers in Kyrgyzstan requires comprehensive changes in legislative and judicial practice. This includes not only the improvement of legal norms, but also the development of institutions that could effectively protect the interests of citizens in case of property recovery and prevent arbitrary decisions that may violate the rights of those who enter into transactions in good faith.

Chapter 4. Protection of the right of ownership through the prism of the balance of values: inviolability of private ownership and public interests

Understanding the balance between the rights of private owners and public interests

The balance between the rights of private owners and public interests is an integral part of the legal system, especially in conditions of economic transformation and political change, as observed in Kyrgyzstan. The essence of the balance is to ensure that private property is protected without compromising the public interest. In legal theory, this concept suggests that government interference in private property should be limited to strict and transparent rules aimed at the public good.

The balance of values between the protection of private property and the public interest can be conceptualised as a dynamic process that requires a balanced approach. Public interests may include the protection of public order, national security, the use of natural resources in the public interest, and the preservation of social welfare. While private property represents the right of citizens to freely dispose of their property, which serves as the basis for personal freedom and economic independence.

To achieve this balance, it is necessary to:

- Develop clear and specific criteria for determining when the public interest requires the state to intervene in private property. For example, if property was privatised illegally, the state may require the return of that property, which serves the public interest, but the interests of the good faith purchaser must be taken into account.
- Take into account the legality of the privatisation and repossession process, as any interventions by the state must be legal, consistent with the Constitution and international standards for the protection of human rights. This will help prevent the arbitrary deprivation of citizens of their property.
- Apply the principle of proportionality, which is that state intervention should be necessary and sufficient to achieve the objective without unduly infringing the rights of private individuals. For example, if the state decides to return property to its ownership, it should do so in a procedurally compliant and lawful manner, providing compensation for the loss of property.

- Establish a system of consultation and public involvement in the processes of changing legislation and regulating property rights. This will make it possible to take into account the interests of all parties and create a more balanced legal system.

Thus, in order to ensure an effective distinction between private and public interests, it is necessary to clearly establish a legislative and legal framework that allows the State to act within its powers, while respecting the rights of private owners and ensuring their protection.

Political instability and its impact on the protection of the rights of good faith purchasers

Political instability is one of the most important factors that affect the protection of property rights and the balance between private and state ownership. Changes of power and political reforms may lead to changes in legislation, revision of privatisation transactions and, as a consequence, the return of property to state ownership. This creates legal uncertainty and increases the risk of loss of property for citizens who acquired property in good faith.

Political instability exacerbates the problem, as each new government may take steps to return property privatised in previous years, which creates risks for those citizens who acquired property legally. Frequent changes in power structures lead to frequent changes in privatisation and repossession policies, which in turn disrupts the stability of legal norms.

To solve this problem, it is necessary to:

- Create legal stability through a sustainable and transparent legislative framework for privatisation and repossession of property.
- To ensure legal protection of citizens in case of property return by guaranteeing compensation to good faith purchasers for the loss of their property, as provided for in Articles 14 and 15 of the Civil Code of the Kyrgyz Republic.

Theory of liability of state authorities for omissions in the privatisation process

The liability of state authorities is an important aspect of protecting the rights of good faith purchasers, especially when privatisation or repossession of property occurs in violation of the law. State authorities should be held liable for their actions if they result in harm to citizens. This may apply both to cases where public authorities have made mistakes in the privatisation process and to cases where the violation of the law has caused the loss of property to good faith purchasers.

The theory of liability of state authorities suggests that if the actions or inactions of the authorities violate the rights of citizens, they are obliged to compensate for the losses caused. This includes both material losses (real damage) and lost profit, which can be compensated in civil actions.

Article 14 of the Civil Code of the Kyrgyz Republic, which deals with compensation for damages, describes that a person whose right has been violated may claim full compensation for damages, including the costs of restoring the violated right and loss of profit. These provisions should be actively applied in cases where state authorities violate the rights of citizens in the process of returning property, as they are obliged to compensate damages caused to good faith purchasers.

Mechanisms for compensation of losses to good faith purchasers

In order to protect the rights of good faith purchasers, it is necessary to develop effective mechanisms for compensation of losses. At the moment, such mechanisms are practically absent in Kyrgyzstan, which creates social tension and legal uncertainty.

1) The most straightforward and obvious mechanism is to provide monetary compensation. This should be not only compensation for the value of the property, but also for the loss of profit, i.e. the amount of money that the good faith purchaser could have earned from the property. In addition, the compensation may include the costs of restoring the violated rights, such as legal expenses and other related losses.

For this mechanism to work effectively, the market value of the property at the time of repayment must be accurately determined. For example, for real estate and land, market value assessments conducted by professional appraisers can be used.

2) In cases where financial compensation is impossible or insufficient to cover the loss, the state should offer honest owners other property that is equal in value and function to the lost property. This mechanism is also important in cases where monetary compensation may lead to a budget deficit.

3) A special compensation fund, financed from the state budget, private investors or other sources, could be established to realise fair compensation. The fund could pay compensation to owners whose rights have been violated, as well as cover the costs of damages that have been caused by illegal repossession of property.

4) Development and implementation of procedures for filing and processing compensation claims, according to which it is important to establish clear and effective procedures for filing and processing compensation cases. These procedures should be accessible, transparent and fair for all citizens. For example, specialized courts or commissions could be established to deal exclusively with cases of compensation for losses to good faith purchasers. This would reduce the burden on the main courts and ensure efficient resolution of disputes.

5) Ensuring accessibility of compensation for all categories of citizens, where compensation should be available not only to legal entities, but also to individuals, especially when they are the sole owners of the property and use it for personal needs.

Thus, in order to establish effective compensation mechanisms, it is necessary to develop legislative acts that will clearly regulate the compensation process, ensure fair assessment of losses and guarantee accessibility of compensation to all affected citizens.

The role of judicial independence in protecting the rights of good faith purchasers

Judicial independence plays a key role in ensuring fairness in property recovery proceedings. Judicial independence is a cornerstone of the rule of law, as judges must make decisions based on the law and facts alone, without influence from state authorities or political structures.

In times of political instability, it is particularly important that courts remain independent and impartial. The judicial system must be able to protect the rights of good faith purchasers, even if the judgements relate to the return of property to the state. It is important that court decisions are based on facts and law, rather than political context, to ensure citizens' confidence in the legal system.

To ensure justice, it is important for courts to be independent of political and economic interests. A system of independent courts will reduce the impact of political instability on justice and ensure that the rights of good faith purchasers are protected, especially in the context of the return of property to the state.

In addition, the judicial system should be transparent and accessible, ensuring that citizens can effectively defend their rights and receive fair redress. It is important that the judiciary, with the necessary powers and independence, make decisions that will be based on the principles of the rule of law, justice and equality of all before the law.

Conclusion

The study examined key issues of property rights protection through the prism of balancing values between the inviolability of private property and public interests, with a special focus on the rights of honest owners in the context of returning privatized property to the state. Both theoretical aspects and practical problems arising in the process of realization of these principles are considered, and possible solutions are proposed.

To further improve the legal system and more effectively protect the rights of honest owners, it is important to continue the research in several key areas. Firstly, it is necessary to analyze the legal norms of other countries where mechanisms to protect the rights of good faith purchasers have been successfully implemented, such as Kazakhstan and other states with developed legal systems. Comparative analyses will allow to draw lessons and introduce the best practices into the Kyrgyz legal system. Secondly, it is worthwhile to study the practice of compensation for losses in the context of returning property to the state, considering international experience. This will allow to develop more effective and fair compensation mechanisms for honest owners, as well as minimize risks for citizens who acquired property legally. Thirdly, it is necessary to develop proposals to improve judicial practice, including the establishment of specialized courts or commissions to consider disputes relating to property rights. This would not

only speed up the process of conflict resolution, but also improve the quality of justice, guaranteeing a more prompt and fair resolution of property restitution issues.

Thus, although the problem of protecting the rights of good faith purchasers is multifaceted and requires a comprehensive approach, it is solvable subject to a comprehensive reform of legislation and judicial practice. Systematic improvement of legal mechanisms, increasing the efficiency of judicial procedures and the introduction of international practices will ensure fair protection of citizens' rights and create a stable legal framework for the development of civil turnover in the country.

List of used sources:

1. Constitution of the Kyrgyz Republic.
2. Civil Code of the Kyrgyz Republic.
3. Gershunski, G., & Ryzhkov, N. (1992). *Privatization and Economic Efficiency*. Economics Journal, 12(2).
4. Soloviev, S. (2004). *Problems of Privatisation in Transition Economies: Risks and Consequences*. Moscow, Publishing House "Ekonomika".
5. Sachs, M., & Sachs, J. (1990). *Privatization and Political Reform*. Journal of Economic Policy.
6. Golovin, Y. (1996). *Privatisation in post-Soviet countries: social and political aspects*. Moscow, Academy of Sciences Publishing House.
7. Friedman, M. (2002). *Capitalism and Freedom*. University of Chicago Press.
8. Benashvili, S. (1999). *Privatisation in Kyrgyzstan: social and economic aspects*. M., Publishing House 'Economy and Law'.
9. The building of the public school "Zvezdochka" in Bishkek was seized from the private owners and returned to the state
https://kaktus.media/doc/513222_zdanie_chastnoy_shkoly_zvezdochka_v_bishkeke_iziali_y_chastnikov_i_vernyli_gosydarstvy_foto.html
10. SCNS: Illegally privatised object worth 120 million soms was returned to the state
https://kaktus.media/doc/509350_gknb:_gosydarstvy_vernyli_nezakonno_privatizirovanny_obekt_stoimostu_120 mln_somov.html
11. The Nookat District Prosecutor's Office returned a land plot of 381.74 hectares to the ownership of the state <https://www.akchabar.kg/ru/news/prokuratura-nookatskogo-rajona-vernula-v-sobstvennost-gosudarstva-uchastok-ploshchadyu-38174-ga-psprsmxjpppiwzux>
12. Kozhakhanova, A. "The rights of bona fide purchasers in Kazakhstan: judicial practice and legal consequences". Legal Journal of Kazakhstan, 2017.

UDC 316.4

Elina Atakishieva

Master's student,
Department of International and Business Law
International Ala-Too University
(Bishkek, Kyrgyz Republic)

SOCIAL TRANSFORMATION AND IDENTITY RECONSTRUCTION IN CENTRAL ASIA: A THEORETICAL SOCIOLOGICAL PERSPECTIVE

Abstract: The article examines the processes of social transformation and identity reconstruction in Central Asia from a theoretical sociological perspective. The post-Soviet transformation of the region has been accompanied by profound changes in social structures, institutions, and value systems, which have significantly influenced the formation of individual and collective identities. Drawing on classical and contemporary sociological theories of social change, modernization, and identity, the article conceptualizes Central Asia as a space of hybrid social development where traditional norms coexist with globalizing influences and post-Soviet legacies. Particular attention is paid to the role of historical memory, cultural continuity, and socio-political restructuring in shaping identity discourses in the region. The article contributes to the theoretical understanding of social transformation in post-Soviet societies and highlights the analytical significance of Central Asia for broader sociological debates on identity formation in transitional contexts.

Keywords: social transformation, identity, Central Asia, post-Soviet societies, sociological theory

Introduction. The post-Soviet period has become a defining stage in the social development of Central Asian societies. The collapse of the Soviet Union initiated complex and multidimensional processes of transformation that affected political institutions, economic systems, social structures, and cultural practices. These changes have not only reconfigured formal social institutions but have also profoundly influenced patterns of social interaction, systems of values, and identity formation. From a sociological perspective, Central Asia represents a unique laboratory for examining how societies negotiate continuity and change under conditions of systemic transformation [1].

Social transformation is not limited to institutional reforms or economic restructuring; it also involves shifts in collective meanings and self-perceptions. In this context, identity becomes a key analytical category that allows researchers to capture the subjective dimensions of social change. As emphasized in sociological theory, identity is constructed through social interaction and institutional frameworks rather than being a fixed or essential attribute [2]. Periods of rapid transformation intensify identity-related processes, as individuals and groups seek to redefine their social positions and collective belonging.

The purpose of this article is to provide a theoretical analysis of social transformation and identity reconstruction in Central Asia. Rather than focusing on empirical data, the article applies sociological theories of social change and identity to conceptualize the specific trajectory of post-Soviet transformation in the region. The central research question concerns how Central Asia can

be theoretically understood as a space of hybrid social development within broader sociological debates on modernization and identity.

Theoretical Framework of Social Transformation and Identity

The concept of social transformation occupies a central place in sociological theory. Classical sociological approaches conceptualized social change as a linear and progressive process associated with modernization, rationalization, and institutional differentiation. However, contemporary theoretical perspectives challenge this linearity by emphasizing the plurality of social trajectories and the coexistence of different forms of modernity [5]. Such approaches allow for a more nuanced understanding of societies that do not conform to a single model of development.

Identity theory provides an important analytical framework for examining the subjective dimensions of social transformation. Identity is understood as a socially constructed and continuously negotiated phenomenon shaped by cultural narratives, power relations, and historical experiences [3]. Sociological distinctions between individual, social, and collective identity highlight the multiple levels at which identity formation occurs. During periods of structural transformation, identity becomes a key mechanism through which social actors interpret uncertainty and adapt to changing social environments.

This article builds on these theoretical insights by conceptualizing Central Asia as a hybrid space of social transformation, where elements of multiple modernities intersect with post-Soviet legacies and local cultural frameworks. Such an approach extends existing sociological models by incorporating regional specificity into broader theories of social change and identity formation.

Central Asia as a Space of Social Transformation

Central Asia's social transformation cannot be understood without considering its historical and structural specificities. The Soviet period established a common institutional framework across the region, including centralized governance, planned economies, and standardized systems of education and social mobility. At the same time, local traditions, kinship relations, and informal social practices continued to shape everyday life beneath the surface of Soviet modernization.

The post-Soviet transition disrupted established social patterns and generated new forms of inequality and stratification. Market reforms, state-building processes, and demographic changes have significantly altered social relations and life trajectories. Processes such as urbanization, labor migration, and the expansion of digital communication have further transformed social interaction and cultural consumption. Scholars note that these transformations involve not only institutional change but also the reinterpretation of tradition and historical memory [10].

From a theoretical perspective, Central Asia exemplifies a hybrid model of social transformation. Modernization processes coexist with traditional norms and practices, creating a multilayered social reality that challenges linear models of social change. This hybridity underscores the importance of sociological frameworks capable of accounting for both global influences and local social contexts [4].

Identity Reconstruction in Central Asian Societies

Identity reconstruction in Central Asia is closely connected to broader processes of nation-building and cultural revival that followed independence. National identity emerged as a central ideological project aimed at redefining collective belonging and legitimizing new political and

social orders. Language policies, reinterpretations of history, and the revival of cultural symbols played a significant role in shaping national identity narratives.

At the same time, identity in Central Asian societies remains plural and dynamic. Individuals navigate multiple identity frameworks, including ethnic, religious, national, and transnational identities. Sociological theory emphasizes that such plurality is characteristic of societies undergoing rapid transformation, where identity becomes a site of negotiation rather than a stable category [6]. In this context, identity reconstruction serves as a mechanism for managing social uncertainty and maintaining a sense of continuity amid change.

The tension between tradition and modernity is particularly evident in Central Asian identity discourses. Traditional values are often rearticulated as markers of authenticity, while modern practices are associated with progress and global integration. This duality reflects the broader dynamics of social transformation and illustrates how identity formation is shaped by both historical legacies and contemporary social forces.

Conclusion. The theoretical analysis presented in this article demonstrates that social transformation and identity reconstruction in Central Asia are deeply interconnected processes. Drawing on sociological theories of social change and identity, the study highlights the importance of context-sensitive approaches for understanding post-Soviet societies.

By conceptualizing Central Asia not merely as a peripheral region but as an analytically significant case, this article contributes to broader sociological debates on multiple modernities and identity formation in transitional contexts. The region's experience illustrates how global theoretical models can be enriched through engagement with local historical trajectories and cultural frameworks. Future research may build on this theoretical perspective by incorporating empirical studies that explore identity reconstruction in everyday social practices and institutional settings.

References:

1. Giddens, A. *The Consequences of Modernity*. Cambridge: Polity Press, 1991.
2. Berger, P., Luckmann, T. *The Social Construction of Reality*. New York: Anchor Books, 1966.
3. Bauman, Z. *Identity*. Cambridge: Polity Press, 2004.
4. Castells, M. *The Power of Identity*. Oxford: Blackwell Publishing, 2004.
5. Eisenstadt, S. N. Multiple Modernities. *Daedalus*, 2000, Vol. 129, No. 1, pp. 1–29.
6. Yadov, V. A. *Social Transformations in Russia*. Moscow: Institute of Sociology RAS, 2005.
7. Touraine, A. *The Return of the Actor*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1988.
8. Asmolov, A. G. *Personality Psychology: A Cultural-Historical Approach*. Moscow: Smysl, 2007.
9. Huntington, S. *Who Are We? The Challenges to America's National Identity*. New York: Simon & Schuster, 2004.
10. Abashin, S. N. *Central Asia: The Invention of Tradition*. Moscow: New Literary Observer, 2011.

УДК 330.34

Щемелинин Константин Сергеевич
Независимый исследователь
(г. Симферополь, Россия)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Аннотация. Введено понятие интеллектуального потенциала как количества человек с коэффициентом интеллекта IQ выше 130 в исследуемой группе людей.

Рассчитан интеллектуальный потенциал человечества в определенные моменты времени в течение последних 130 тысяч лет.

Определено, что колоссальные успехи людей в сфере науки, техники и искусства за предыдущие 130 тысяч лет являются следствием роста интеллектуального потенциала человечества в десятки тысяч раз.

Рассчитан топ-126 стран мира по проценту людей с IQ больше 130 и топ-126 стран мира по интеллектуальному потенциалу на 2024 год.

Введено понятие использования интеллектуального потенциала в разных областях деятельности.

Рассчитан топ-120 стран по использованию интеллектуального потенциала в науке, топ-98 стран по использованию интеллектуального потенциала в технике, топ-111 стран по использованию интеллектуального потенциала в музыке и топ-102 стран по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году, а также проанализировано использование интеллектуального потенциала в книгоиздательстве в 2022-2024 годах: рассчитан топ-68 стран по книгам, помещенных в депозитории, и топ-35 стран по количеству изданных наименований книг.

Рассчитано использование интеллектуального потенциала человечества в технике с 2015 по 2024 год, а также использование интеллектуального потенциала человечества в киноискусстве с 2000 по 2023 год.

Ключевые слова: интеллект, интеллектуальный потенциал, региональное развитие, научно-исследовательская работа, музыкальное искусство, патенты, книгоиздание, киноискусство

Оглавление

§1. Ограниченность IQ

§2. Интеллектуальный потенциал

§3. Интеллектуальный потенциал человечества

§4. Отдельные виды интеллектуального потенциала

§5. Анализ функции интеллектуального потенциала

§6. Топ-126 стран мира по проценту людей с IQ больше 130 в 2024 году

§7. Топ-126 стран мира по интеллектуальному потенциалу в 2024 году

§8. Использование интеллектуального потенциала

§9. Анализ функции использования интеллектуального потенциала

§10. Топ-120 стран по использованию интеллектуального потенциала в науке в 2024 году

§11. Топ-98 стран по использованию интеллектуального потенциала в технике в 2024 году

§12. Топ-111 стран по использованию интеллектуального потенциала в музыке в 2024 году

§13. Топ-102 стран по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году

§14. Использование интеллектуального потенциала в книгоиздательстве в 2022-2024 годах: топ-68 стран по книгам, помещенных в депозитарии, и топ-35 стран по количеству изданных наименований книг

§15. Использование интеллектуального потенциала человечества в технике с 2015 по 2024 год

§16. Использование интеллектуального потенциала человечества в киноискусстве с 2000 по 2023 год

§1. Ограниченность IQ

То, как человек раскроет свои интеллектуальные способности, на наличие которых указывает размер его IQ, зависит не только от морально-волевых качеств самого индивидуума, но также и от тех вариантов для карьеры и заработка денег, которые ему предоставит общество: например, скудные перспективы по заработку на написании книг не дадут раскрыть свой талант многим из потенциальных писателей.

Коэффициент интеллекта IQ характеризует возможности человека в умственной сфере, причем не во всей сфере, а именно в сфере создания интеллектуального труда.

Коэффициент интеллекта IQ никак не характеризует такие умственные способности людей, как, например, плести интриги и правдоподобно лгать.

Кроме того, коэффициент интеллекта IQ никак не учитывает трудолюбие человека, а также его способность противостоять трудностям.

В целом, как видно, коэффициент интеллекта IQ не может являться точным маркером будущих жизненных и интеллектуальных успехов индивидуума.

§2. Интеллектуальный потенциал

Коэффициент интеллекта IQ показывает размер способностей человека к некоторым видам интеллектуальной работы. Современные тесты для определения IQ сделаны так, чтобы средний IQ у максимально большой группы людей был бы равен 100.

Наличие способностей не означает гарантии получения результата: например, 10 случайно выбранных человек с IQ=90 вполне могут написать книг больше, чем 10 случайно выбранных человек с IQ=140; однако, случайным образом выбранная группа из одного миллиона человек с IQ=90, безусловно, напишет книг многократно меньше, чем случайным образом подобранная группа из миллиона людей с IQ=140.

Интеллектуальный потенциал большой группы людей следует понимать в качестве их интеллектуальных возможностей, поэтому для поиска интеллектуального потенциала нужно рассматривать большую группу людей, имеющих определенный повышенный IQ.

В принципе, для базы расчета можно взять любое значение IQ от 110 до 140 (150), однако многие шкалы, переводящие числовые значения IQ в качественные показатели, людей с IQ выше 130 определяют как индивидуумов с чрезвычайно высоким уровнем коэффициента интеллекта или интеллектуально одаренных личностей, поэтому в рамках данного исследования для определения фундаменты (базы, основы) интеллектуального потенциала выбран IQ равный 130, так как о людях с IQ больше 130 можно с уверенностью говорить о том, что многие виды их интеллектуальных способностей находятся, безусловно, выше, чем тех же самые виды интеллектуальных способностей у обычных людей с IQ от 90 до 110.

Таким образом, **интеллектуальный потенциал – это количество человек с IQ выше 130 в исследуемой группе людей в рассматриваемый момент времени.**

IQ подчиняется нормальному распределению, поэтому $Z = (IQ - \mu) / \sigma$, где:

IQ = 130 единиц.

μ – это среднее значение IQ жителей страны.

Стандартное отклонение $\sigma = 15$.

§3. Интеллектуальный потенциал человечества

Определение №1. Интеллектуальный потенциал человечества – это число всех людей, имеющих IQ больше 130 в рассматриваемый момент времени.

Интеллектуальный потенциал человечества обозначается IPH, так как он образован от слов «интеллект» (рус) и «intelligence» (англ), «потенциал» (рус) и «potential» (англ), а также слова «humanity» («человечество» на англ) и выражения Homo sapiens («человек разумный» на лат).

IPH обозначает численность всех людей человечества, имеющих IQ больше 130.

Размерность интеллектуального потенциала:

На русском языке: [IPH] = [млн чел.]

На английском языке: [IPH] = [mln people]

Интеллектуальный потенциал описывает все человечество в целом, поэтому с его помощью можно сравнивать человечество в разные промежутки времени.

При среднем значении IQ=100 для всего человечества $f(Z)=0,97725$, поэтому число людей с IQ выше 130 составляет 2,275% населения Земли, следовательно, интеллектуальный потенциал человечества на 12 ноября 2025 года и численности населения Земли составляющей около 8256 млн чел. [10] равен $IPH = 187,8$ млн чел.

Таблица 1. Размер интеллектуального потенциала человечества (Homo sapiens) начала времен и до сегодняшнего времени

№	Дата	Численность человечества, млн чел.	Размер интеллектуального потенциала человечества IPH, млн чел.
1	130000 год до н. э.	0,12-0,325 [7]	0,00273-0,00739
2	10000 год до н. э.	4 [1, с. 57]	0,09
3	5000 год до н. э.	5 [1, с. 79]	0,11
4	2000 год до н. э.	27 [1, с. 116]	0,61
5	500 год до н. э.	100 [1, с. 243]	2,28
6	200 год	190 [11]	4,32
7	700 год	210 [11]	4,78
8	1000 год	275 [11]	6,25
9	1200 год	360 [11]	8,20
10	1400 год	350 [11]	7,96
11	1500 год	450 [11]	10,2
12	1700 год	610 [11]	13,9
13	1900 год	1600 [11]	36,4
14	1927 год	2000 [11]	45,5
15	1960 год	3015 [11]	68,6
16	1975 год	4071 [11]	92,6
17	1987 год	5050 [11]	114,9
18	1998 год	6007 [11]	136,7
19	2010 год	7022 [11]	159,8
20	2022 год	8021 [11]	182,5
21	2025 год	8256 [10]	187,8

Ограничение для таблицы 1.

В современное время среднее значение IQ человечества равно 100, но это не означает, что люди, жившие 5-10 и более тыс. лет назад имели бы такой же IQ, если бы их тестирование

проводилось по сегодняшним тестам – это связано с тем, что человеческий мозг стал постепенно уменьшаться в размерах примерно 12000-10000 лет назад [6, р. 02]. Эта тенденция усилилась 3000 лет назад [6, р. 06], в результате чего мозг современных людей сейчас примерно на 10,7% меньше, нежели мозг людей, живших 300-10 тыс. лет назад [6, р. 03]. Но интеллект и размер IQ зависят не только от объема мозга, но и от его структуры, поэтому неизвестно, какими могли бы быть результаты современного теста IQ, проведенного у людей прошлого – может быть, они были выше, может быть – такими же, а может быть и ниже, чем у людей в начале XXI века. Дать ответ на этот вопрос в настоящее время невозможно, поэтому таблица 1 рассчитана из допущения о том, что среднее значение IQ человечества, определенного по современным тестам, во все времена равно 100.

Вывод №1 из таблицы 1. За последние 130 тысяч лет интеллектуальный потенциал человечества вырос примерно в 25000-70000 раз.

Вывод №2 из таблицы 1. За последние 12000 лет интеллектуальный потенциал человечества вырос в $187,8/0,09=2087\approx 2100$ раз.

Вывод №3 из таблицы 1. Один год современного научного, технологического и культурного развития человечества соответствует 2000 лет развития людей, живших 12000 лет назад.

Вывод №4 из таблицы 1. Один год современного научного, технологического и культурного развития человечества соответствует 30 годам развития людей 1000 лет назад.

Вывод №5 из таблицы 1. Чем выше численность человечества, тем выше размер нашего интеллектуального потенциала, а значит, и выше возможности в сфере науки, техники и искусства.

Вывод №6 из таблицы 1. Колоссальные научные, технологические и культурные успехи человечества последних лет и десятилетий, затмевающие успехи прошлых тысячелетий, являются следствием тысячекратного роста интеллектуального потенциала людей и его воплощением в реальные вещи.

Замечание. В выводе №5 из таблицы 1 стилистически правильным будет написать не «нашего интеллектуального потенциала», а «его интеллектуального потенциала», но все мы – люди, поэтому являемся частью человечества, а значит, с точки зрения логики следует писать именно «нашего интеллектуального потенциала».

§4. Отдельные виды интеллектуального потенциала

Определение №2. Интеллектуальный потенциал группы людей – это число людей, принадлежащих этой группе и имеющих IQ больше 130 в рассматриваемый момент времени.

Интеллектуальный потенциал группы людей обозначается IPG, так как он образован от слов «интеллект» (рус) и «intelligence» (англ), «потенциал» (рус) и «potential» (англ), а также «группа людей» (рус) и «group of people» (англ).

Под группой людей следует понимать ограниченную по определенным признакам общность людей, численностью не менее 100 тыс. чел. (хотя лучше в качестве минимума брать 0,4-0,5 млн чел.). В качестве примеров такого рода групп людей можно называть солдат, заключенных, студентов, врачей, моряков, преподавателей университетов, чиновников и так далее.

Определение №3. Интеллектуальный потенциал страны – это число людей, проживающих в этой стране и имеющих IQ больше 130 в рассматриваемый момент времени.

Интеллектуальный потенциал страны (государства) обозначается IPS, так как он образован от слов «интеллект» (рус) и «intelligence» (англ), «потенциал» (рус) и «potential» (англ), а также «страна» (рус) и «state» (англ).

Определение №4. Интеллектуальный потенциал этноса – это число людей, принадлежащих этому этносу и имеющих IQ больше 130 в рассматриваемый момент времени.

Интеллектуальный потенциал этноса IPE, так как он образован от слов «интеллект» (рус) и «intelligence» (англ), «потенциал» (рус) и «potential» (англ), а также «этнос» (рус) и «ethnos» and «ethnic group» (англ).

Определение №5. Интеллектуальный потенциал региона – это число людей, проживающих в этом регионе и имеющих IQ больше 130 в рассматриваемый момент времени.

Интеллектуальный потенциал региона IPR, так как он образован от слов «интеллект» (рус) и «intelligence» (англ), «потенциал» (рус) и «potential» (англ), а также «регион» (рус) и «region» (англ).

В качестве региона может выступать любая географически выделенная территория, например: остров, исторический или географический регион, административная единица, локальный регион проживания одного или нескольких исследуемых этносов и так далее.

Примеры отдельных видов интеллектуальных потенциалов:

IPG (soldiers, Germany) – интеллектуальный потенциал солдат в Германии.

IPS (France) – интеллектуальный потенциал Франции.

IPE (Italians) – интеллектуальный потенциал итальянцев.

IPR (Siberia) – интеллектуальный потенциал жителей Сибири.

Интеллектуальный потенциал:

I. Позволяет сравнивать одинаковые по размеру группы людей друг с другом.

II. Позволяет делать вывод о том, на сколько качественно рассматриваемая группа людей распоряжается своим интеллектуальным потенциалом.

III. Указывает направления для работы для тех стран, которые заинтересованы в эмиграции к себе интеллектуально одаренных людей.

Интеллектуальный потенциал воплощается, например, в:

1. Количестве качественных научных работ.

2. Количестве запатентованных изобретений.

3. Количестве новых книг.

4. Количестве созданных песен.

§5. Анализ функции интеллектуального потенциала

Изменение значения интеллектуального потенциала в течение времени является функцией, зависящей от времени, которая в каждый год принимает свое собственное значение: $f(t)$.

Для примера математического анализа можно рассмотреть интеллектуальный потенциал человечества IPH , представленный в виде функции: $f(t)=IPH(t)$

Размерность времени в этой функции:

На русском языке: $[t] = [\text{год}]$.

На английском языке: $[t] = [\text{year}]$.

Дифференцирование функции $IPH(t)$ позволяет найти первую производную, которая покажет скорость изменения интеллектуального потенциала человечества:

$$\frac{d(IPH)}{dt}$$

Двойное дифференцирование функции $IPH(t)$ позволяет найти вторую производную, которая покажет ускорение или замедление скорости изменения значения интеллектуального потенциала человечества:

$$\frac{d^2(IPH)}{dt^2}$$

Наибольший интерес для практического применения могут представлять первые и вторые производные для IPG, IPR, IPS и IPE, так как они позволяют увидеть изменение интеллектуального потенциала рассматриваемой группы людей по каждому отдельному исследуемому фактору, который воздействует на среднее значение IQ анализируемых людей.

§6. Топ-126 стран мира по проценту людей с IQ больше 130 в 2024 году

Таблица 2. Топ-126 стран по проценту людей с IQ больше 130 в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	f(Z)	Процент людей, имеющих IQ больше 130, %
1	Китай	107,19	1415,3	0,9358	6,417
2	Южная Корея	106,43	51,6	0,9419	5,805
3	Япония	106,40	122,9	0,9422	5,782
4	Иран	106,30	92,6	0,9429	5,705
5	Сингапур	105,14	5,9	0,9513	4,873
6	Россия	103,16	143,8	0,9632	3,678
7	Монголия	102,86	3,5	0,9648	3,520
8	Армения	102,58	2,9	0,9662	3,377
9	Австралия	102,57	27	0,9663	3,372
10	Испания	102,30	47,9	0,9676	3,240
11	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,9687	3,135
12	Шри-Ланка	102,02	23,3	0,9689	3,107
13	Словения	101,96	2,1	0,9692	3,079
14	Канада	101,65	40,2	0,9706	2,938
15	Таиланд	101,52	71,6	0,9712	2,880
16	Беларусь	101,47	9	0,9714	2,859
17	Франция	101,42	66,7	0,9716	2,837
18	Сербия	100,86	6,7	0,9740	2,603
19	Италия	100,84	59	0,9741	2,595
20	Швейцария	100,75	9	0,9744	2,559
21	Грузия	100,59	3,8	0,9750	2,496
22	Малайзия	100,48	36,1	0,9755	2,453
23	Финляндия	100,30	5,6	0,9761	2,385
24	Вьетнам	100,12	101,7	0,9768	2,319
25	Бельгия	100,11	11,8	0,9769	2,315
26	Греция	100,07	9,9	0,9770	2,300
27	Люксембург	100,00	0,7	0,9772	2,275
28	Исландия	99,99	0,4	0,9773	2,271
29	Словакия	99,76	5,4	0,9781	2,190
30	США	99,74	347,7	0,9782	2,183
31	Чешская Республика	99,73	10,6	0,9782	2,180
32	Нидерланды	99,72	18,4	0,9782	2,176
33	Великобритания	99,68	69,6	0,9784	2,162
34	Австрия	99,65	9,1	0,9785	2,152
35	Германия	99,64	83,9	0,9785	2,149
36	Венгрия	99,46	9,6	0,9791	2,088
37	Ливан	99,39	5,9	0,9794	2,064
38	Эстония	99,39	1,3	0,9794	2,064

39	Перу	99,37	34,6	0,9794	2,058
40	Польша	99,35	38	0,9795	2,051
41	Португалия	99,34	10,4	0,9795	2,048
42	Мальта	99,19	0,5	0,9800	1,999
43	Хорватия	99,17	3,8	0,9801	1,992
44	Индия	99,08	1466,9	0,9804	1,964
45	Турция	99,07	87,7	0,9804	1,960
46	Израиль	99,07	9,5	0,9804	1,960
47	Латвия	98,84	1,8	0,9811	1,889
48	Азербайджан	98,71	10,4	0,9815	1,849
49	Литва	98,67	2,8	0,9816	1,837
50	Черногория	98,65	0,6	0,9817	1,831
51	Норвегия	98,52	5,6	0,9821	1,792
52	Кипр	98,51	1,4	0,9821	1,789
53	Швеция	98,49	10,7	0,9822	1,784
54	Ирландия	98,32	5,3	0,9827	1,734
55	Бруней	98,14	0,5	0,9832	1,684
56	Дания	97,94	6	0,9837	1,629
57	Болгария	97,79	6,7	0,9841	1,588
58	Босния и Герцеговина	97,62	3,1	0,9846	1,544
59	Северная Македония	97,59	1,8	0,9846	1,536
60	Тунис	97,51	12,4	0,9848	1,516
61	Мьянма	97,37	54,9	0,9852	1,480
62	Молдова	97,32	3	0,9853	1,468
63	Египет	97,21	118,7	0,9856	1,441
64	Албания	97,19	2,8	0,9856	1,436
65	Казахстан	97,17	20,9	0,9857	1,431
66	Непал	97,07	29,6	0,9859	1,407
67	Алжир	97,01	47,6	0,9861	1,393
68	Маврикий	96,89	1,3	0,9864	1,365
69	ОАЭ	96,80	11,4	0,9866	1,344
70	Узбекистан	96,79	37,2	0,9866	1,341
71	Марокко	96,78	38,5	0,9866	1,339
72	Иордания	96,71	11,5	0,9868	1,323
73	Филиппины	96,66	117	0,9869	1,312
74	Бангладеш	96,46	176,2	0,9873	1,268
75	Румыния	96,31	18,9	0,9876	1,235
76	Куба	96,02	10,9	0,9883	1,175
77	Мексика	95,51	132,2	0,9893	1,074
78	Украина	95,38	39,3	0,9895	1,050
79	Чили	95,38	19,9	0,9895	1,050
80	Эфиопия	95,09	136,3	0,9900	0,997
81	Кувейт	95,02	5	0,9901	0,985
82	Уругвай	95,01	3,4	0,9902	0,983
83	Эквадор	95,00	18,3	0,9902	0,982
84	Кыргызстан	94,85	7,3	0,9904	0,956
85	Мадагаскар	94,80	32,9	0,9905	0,947
86	Катар	94,77	3,1	0,9906	0,942
87	Аргентина	94,39	45,9	0,9912	0,880
88	Коста-Рика	94,15	5,2	0,9916	0,842

89	Южная Африка	94,11	64,9	0,9916	0,836
90	Оман	94,08	5,5	0,9917	0,832
91	Бахрейн	94,04	1,7	0,9917	0,826
92	Ирак	93,99	47,2	0,9918	0,818
93	Камбоджа	93,97	17,9	0,9918	0,815
94	Саудовская Аравия	93,95	34,7	0,9919	0,812
95	Таджикистан	93,55	10,8	0,9925	0,755
96	Йемен	93,30	42	0,9928	0,721
97	Пакистан	93,25	256,1	0,9929	0,714
98	Индонезия	93,18	286,2	0,9929	0,705
99	Колумбия	93,17	53,6	0,9930	0,704
100	Бразилия	92,92	213	0,9933	0,672
101	Боливия	92,76	12,6	0,9935	0,652
102	Лаос	92,05	7,9	0,9943	0,570
103	Нигерия	91,35	238,7	0,9950	0,499
104	Гватемала	91,29	18,7	0,9951	0,493
105	Кения	91,22	57,8	0,9951	0,486
106	Сальвадор	91,07	6,3	0,9953	0,472
107	Венесуэла	91,02	28,5	0,9953	0,468
108	Пуэрто-Рико	90,94	3,2	0,9954	0,461
109	Парагвай	90,76	7	0,9956	0,445
110	Гондурас	90,53	11	0,9957	0,425
111	Панама	90,49	4,6	0,9958	0,422
112	Гана	90,25	35,2	0,9960	0,402
113	Зимбабве	90,21	17	0,9960	0,399
114	Доминиканская Республика	90,06	11,5	0,9961	0,388
115	Того	89,94	9,8	0,9962	0,379
116	Камерун	89,94	30	0,9962	0,379
117	Уганда	89,89	51,7	0,9963	0,375
118	Танзания	89,40	71	0,9966	0,340
119	Никарагуа	88,70	7	0,9971	0,295
120	Сенегал	88,27	19	0,9973	0,270
121	Демократическая Республика Конго	88,01	113,6	0,9974	0,256
122	Республика Конго	88,01	6,5	0,9974	0,256
123	Мозамбик	87,81	35,9	0,9975	0,246
124	Бенин	86,88	14,9	0,9980	0,202
125	Ангола	85,33	39,3	0,9985	0,145
126	Габон	85,08	2,6	0,9986	0,137

§7. Топ-126 стран мира по интеллектуальному потенциалу в 2024 году

Две цитаты из источника [3]:

1. «Average IQ: 100».

2. «Below is the average IQ by country, updated as of January 1, 2025. This study is based on data from 1,352,763 people worldwide who took the same IQ test (mean: 100, SD: 15) on this website in 2024».

Таблица 3. Топ-126 стран по интеллектуальному потенциалу в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	$f(Z)$	Процент людей, имеющих IQ больше 130, %	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130
1	Китай	107,19	1415,3	0,9358	6,417	90,822
2	Индия	99,08	1466,9	0,9804	1,964	28,803
3	США	99,74	347,7	0,9782	2,183	7,590
4	Япония	106,40	122,9	0,9422	5,782	7,106
5	Россия	103,16	143,8	0,9632	3,678	5,289
6	Иран	106,30	92,6	0,9429	5,705	5,283
7	Южная Корея	106,43	51,6	0,9419	5,805	2,996
8	Вьетнам	100,12	101,7	0,9768	2,319	2,358
9	Бангладеш	96,46	176,2	0,9873	1,268	2,233
10	Таиланд	101,52	71,6	0,9712	2,880	2,062
11	Индонезия	93,18	286,2	0,9929	0,705	2,018
12	Франция	101,42	66,7	0,9716	2,837	1,892
13	Пакистан	93,25	256,1	0,9929	0,714	1,829
14	Германия	99,64	83,9	0,9785	2,149	1,803
15	Турция	99,07	87,7	0,9804	1,960	1,719
16	Египет	97,21	118,7	0,9856	1,441	1,710
17	Испания	102,30	47,9	0,9676	3,240	1,552
18	Филиппины	96,66	117	0,9869	1,312	1,535
19	Италия	100,84	59	0,9741	2,595	1,531
20	Великобритания	99,68	69,6	0,9784	2,162	1,505
21	Бразилия	92,92	213	0,9933	0,672	1,431
22	Мексика	95,51	132,2	0,9893	1,074	1,420
23	Эфиопия	95,09	136,3	0,9900	0,997	1,359
24	Нигерия	91,35	238,7	0,9950	0,499	1,191
25	Канада	101,65	40,2	0,9706	2,938	1,181
26	Австралия	102,57	27	0,9663	3,372	0,911
27	Малайзия	100,48	36,1	0,9755	2,453	0,886
28	Мьянма	97,37	54,9	0,9852	1,480	0,813
29	Польша	99,35	38	0,9795	2,051	0,779
30	Шри-Ланка	102,02	23,3	0,9689	3,107	0,724
31	Перу	99,37	34,6	0,9794	2,058	0,712
32	Алжир	97,01	47,6	0,9861	1,393	0,663
33	Южная Африка	94,11	64,9	0,9916	0,836	0,543
34	Марокко	96,78	38,5	0,9866	1,339	0,516
35	Узбекистан	96,79	37,2	0,9866	1,341	0,499
36	Непал	97,07	29,6	0,9859	1,407	0,416
37	Украина	95,38	39,3	0,9895	1,050	0,413
38	Аргентина	94,39	45,9	0,9912	0,880	0,404
39	Нидерланды	99,72	18,4	0,9782	2,176	0,400
40	Ирак	93,99	47,2	0,9918	0,818	0,386
41	Колумбия	93,17	53,6	0,9930	0,704	0,377
42	Мадагаскар	94,80	32,9	0,9905	0,947	0,312
43	Йемен	93,30	42	0,9928	0,721	0,303
44	Казахстан	97,17	20,9	0,9857	1,431	0,299

45	Демократическая Республика Конго	88,01	113,6	0,9974	0,256	0,291
46	Сингапур	105,14	5,9	0,9513	4,873	0,287
47	Саудовская Аравия	93,95	34,7	0,9919	0,812	0,282
48	Кения	91,22	57,8	0,9951	0,486	0,281
49	Бельгия	100,11	11,8	0,9769	2,315	0,273
50	Беларусь	101,47	9	0,9714	2,859	0,257
51	Танзания	89,40	71	0,9966	0,340	0,241
52	Румыния	96,31	18,9	0,9876	1,235	0,233
53	Чешская Республика	99,73	10,6	0,9782	2,180	0,231
54	Швейцария	100,75	9	0,9744	2,559	0,230
55	Греция	100,07	9,9	0,9770	2,300	0,228
56	Португалия	99,34	10,4	0,9795	2,048	0,213
57	Чили	95,38	19,9	0,9895	1,050	0,209
58	Венгрия	99,46	9,6	0,9791	2,088	0,200
59	Австрия	99,65	9,1	0,9785	2,152	0,196
60	Уганда	89,89	51,7	0,9963	0,375	0,194
61	Азербайджан	98,71	10,4	0,9815	1,849	0,192
62	Швеция	98,49	10,7	0,9822	1,784	0,191
63	Тунис	97,51	12,4	0,9848	1,516	0,188
64	Израиль	99,07	9,5	0,9804	1,960	0,186
65	Эквадор	95,00	18,3	0,9902	0,982	0,180
66	Сербия	100,86	6,7	0,9740	2,603	0,174
67	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,9687	3,135	0,166
68	ОАЭ	96,80	11,4	0,9866	1,344	0,153
69	Иордания	96,71	11,5	0,9868	1,323	0,152
70	Камбоджа	93,97	17,9	0,9918	0,815	0,146
71	Гана	90,25	35,2	0,9960	0,402	0,142
72	Финляндия	100,30	5,6	0,9761	2,385	0,134
73	Венесуэла	91,02	28,5	0,9953	0,468	0,133
74	Куба	96,02	10,9	0,9883	1,175	0,128
75	Монголия	102,86	3,5	0,9648	3,520	0,123
76	Ливан	99,39	5,9	0,9794	2,064	0,122
77	Словакия	99,76	5,4	0,9781	2,190	0,118
78	Камерун	89,94	30	0,9962	0,379	0,114
79	Болгария	97,79	6,7	0,9841	1,588	0,106
80	Норвегия	98,52	5,6	0,9821	1,792	0,100
81	Армения	102,58	2,9	0,9662	3,377	0,098
82	Дания	97,94	6	0,9837	1,629	0,098
83	Грузия	100,59	3,8	0,9750	2,496	0,095
84	Гватемала	91,29	18,7	0,9951	0,493	0,092
85	Ирландия	98,32	5,3	0,9827	1,734	0,092
86	Мозамбик	87,81	35,9	0,9975	0,246	0,088
87	Боливия	92,76	12,6	0,9935	0,652	0,082
88	Таджикистан	93,55	10,8	0,9925	0,755	0,082
89	Хорватия	99,17	3,8	0,9801	1,992	0,076
90	Кыргызстан	94,85	7,3	0,9904	0,956	0,070
91	Зимбабве	90,21	17	0,9960	0,399	0,068
92	Словения	101,96	2,1	0,9692	3,079	0,065
93	Ангола	85,33	39,3	0,9985	0,145	0,057

94	Литва	98,67	2,8	0,9816	1,837	0,051
95	Сенегал	88,27	19	0,9973	0,270	0,051
96	Кувейт	95,02	5	0,9901	0,985	0,049
97	Босния и Герцеговина	97,62	3,1	0,9846	1,544	0,048
98	Гондурас	90,53	11	0,9957	0,425	0,047
99	Оман	94,08	5,5	0,9917	0,832	0,046
100	Лаос	92,05	7,9	0,9943	0,570	0,045
101	Доминиканская Республика	90,06	11,5	0,9961	0,388	0,045
102	Молдова	97,32	3	0,9853	1,468	0,044
103	Коста-Рика	94,15	5,2	0,9916	0,842	0,044
104	Албания	97,19	2,8	0,9856	1,436	0,040
105	Того	89,94	9,8	0,9962	0,379	0,037
106	Латвия	98,84	1,8	0,9811	1,889	0,034
107	Уругвай	95,01	3,4	0,9902	0,983	0,033
108	Парагвай	90,76	7	0,9956	0,445	0,031
109	Бенин	86,88	14,9	0,9980	0,202	0,030
110	Сальвадор	91,07	6,3	0,9953	0,472	0,030
111	Катар	94,77	3,1	0,9906	0,942	0,029
112	Северная Македония	97,59	1,8	0,9846	1,536	0,028
113	Эстония	99,39	1,3	0,9794	2,064	0,027
114	Кипр	98,51	1,4	0,9821	1,789	0,025
115	Никарагуа	88,70	7	0,9971	0,295	0,021
116	Панама	90,49	4,6	0,9958	0,422	0,019
117	Маврикий	96,89	1,3	0,9864	1,365	0,018
118	Республика Конго	88,01	6,5	0,9974	0,256	0,017
119	Люксембург	100,00	0,7	0,9772	2,275	0,016
120	Пуэрто-Рико	90,94	3,2	0,9954	0,461	0,015
121	Бахрейн	94,04	1,7	0,9917	0,826	0,014
122	Черногория	98,65	0,6	0,9817	1,831	0,011
123	Мальта	99,19	0,5	0,9800	1,999	0,010
124	Исландия	99,99	0,4	0,9773	2,271	0,009
125	Бруней	98,14	0,5	0,9832	1,684	0,008
126	Габон	85,08	2,6	0,9986	0,137	0,004

§8. Использование интеллектуального потенциала

Определение №6. Использование интеллектуального потенциала – это создание предметов интеллектуального труда всем человечеством или группой людей, объединенной по какому-либо признаку, в одной, четко очерченной области, в рассматриваемом году.

Использование интеллектуального потенциала обозначается буквой «U» от слов «использование» (рус) и «usage» (англ).

Примеры:

UIPN (patents, 2024) – использование человечеством своего интеллектуального потенциала в области технического творчества (получение патентов) в 2024 году.

UIPG (students, Japan, music, 2000) – использование японскими студентами своего интеллектуального потенциала в музыке в 2000 году.

UIPS (USA, science articles, 2010) – использование США своего интеллектуального потенциала в науке (публикация научных статей) в 2010 году.

UIPE (Russians, books, 2020) – использование русскими своего интеллектуального потенциала в области книгопечатания в 2020 году.

UIPR (Asia, patents, 2022) – использование жителями Азии своего интеллектуального потенциала в области технического творчества (получение патентов) в 2022 году.

Размерность использования интеллектуального потенциала:

$$\text{На русском языке: } [UIP] = \left[\frac{\text{штуки}}{\text{млн} * \text{чел.}} \right]$$

$$\text{На английском языке: } [UIP] = \left[\frac{\text{units}}{\text{mln} * \text{people}} \right]$$

Под словом «штуки» на русском («units» на англ) следует понимать количество отдельных единице завершеного интеллектуального труда, например, число опубликованных научных статей или книги.

Также можно использовать краткую форму записи, например:

UIPGM (students, Japan, 2000) – использование японскими студентами своего интеллектуального потенциала в музыке в 2000 году (где «М» обозначает «music»).

UIPS (USA, SA, 2010) – использование США своего интеллектуального потенциала в науке (публикация научных статей) в 2010 году (где «SA» обозначает «science articles»).

UIPEB (Russians, 2020) – использование русскими своего интеллектуального потенциала в области книгопечатания в 2020 году (где «В» обозначает «books»).

UIPRP (Asia, 2022) – использование жителями Азии своего интеллектуального потенциала в области технического творчества (получение патентов) в 2022 году (где «Р» обозначает «patents»).

§9. Анализ функции использования интеллектуального потенциала

Изменение значения использования интеллектуального потенциала в течение времени является функцией, зависящей от времени, которая в каждый год принимает свое собственное значение: $f(t)$.

Для примера математического анализа можно рассмотреть использование интеллектуального потенциала человечества UIPHM в музыке, представленной в виде функции: $f(t) = UIPHM(t)$

Размерность времени в этой функции:

На русском языке: $[t] = [\text{год}]$.

На английском языке: $[t] = [\text{year}]$.

Дифференцирование функции $IPHM(t)$ позволяет найти первую производную, которая покажет скорость изменения использования интеллектуального потенциала человечества в музыке:

$$\frac{d(IPHM)}{dt}$$

Двойное дифференцирование функции $IPHM(t)$ позволяет найти вторую производную, которая покажет ускорение или замедление скорости изменения использования интеллектуального потенциала человечества в музыке:

$$\frac{d^2(IPHM)}{dt^2}$$

Наибольший интерес для практического применения могут представлять первые и вторые производные для IPG, IPR, IPS и IPE, так как они позволяют увидеть изменение интеллектуального потенциала рассматриваемой группы людей по каждому отдельному исследуемому фактору в анализируемой сфере деятельности.

§10. Топ-120 стран по использованию интеллектуального потенциала в науке в 2024 году

В таблице 4 сравниваются 120 стран мира друг с другом, а в таблицах 5, 6, 7, 8, 9, 10 и 11 сравниваются аналогичные по численности населения страны.

Таблица 4. Топ-120 стран по использованию интеллектуального потенциала в науке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Доля научного вклада во все статьи из рейтинга [2]	Использование интеллектуального потенциала в науке, UIPS (science articles), научный вклад на млн чел.
1	Швейцария	100,75	9,0	0,2303	1453,55	6311,8
2	Дания	97,94	6,0	0,0977	603,39	6175,2
3	Швеция	98,49	10,7	0,1908	812,91	4259,8
4	Исландия	99,99	0,4	0,0091	37,03	4075,7
5	Израиль	99,07	9,5	0,1862	640,25	3437,8
6	Нидерланды	99,72	18,4	0,4004	1150,01	2872,2
7	США	99,74	347,7	7,5904	21631,57	2849,9
8	Германия	99,64	83,9	1,8026	4860,47	2696,4
9	Великобритания	99,68	69,6	1,5049	3905,83	2595,4
10	Норвегия	98,52	5,6	0,1004	242,35	2414,6
11	Сингапур	105,14	5,9	0,2875	681,96	2372,2
12	Австрия	99,65	9,1	0,1958	436,10	2227,0
13	Финляндия	100,30	5,6	0,1336	288,63	2160,9
14	Бельгия	100,11	11,8	0,2732	520,05	1903,8
15	Канада	101,65	40,2	1,1810	1867,67	1581,4
16	Австралия	102,57	27,0	0,9106	1429,48	1569,9
17	Люксембург	100,00	0,7	0,0159	23,70	1488,2
18	Ирландия	98,32	5,3	0,0919	133,68	1454,3
19	Франция	101,42	66,7	1,8922	2401,75	1269,3
20	Чешская Республика	99,73	10,6	0,2310	276,27	1195,8
21	Эстония	99,39	1,3	0,0268	27,15	1011,8
22	Италия	100,84	59,0	1,5309	1409,49	920,7
23	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,1661	151,80	913,6
24	Испания	102,30	47,9	1,5518	1353,81	872,4
25	Словения	101,96	2,1	0,0647	53,35	825,1
26	Кипр	98,51	1,4	0,0251	19,84	792,0
27	Португалия	99,34	10,4	0,2130	157,87	741,3
28	Южная Корея	106,43	51,6	2,9955	2008,50	670,5
29	Саудовская Аравия	93,95	34,7	0,2819	180,76	641,3
30	Чили	95,38	19,9	0,2089	133,68	639,8
31	Венгрия	99,46	9,6	0,2004	115,66	577,1
32	Япония	106,40	122,9	7,1062	3256,21	458,2

33	Польша	99,35	38,0	0,7794	354,98	455,5
34	Греция	100,07	9,9	0,2277	99,67	437,7
35	Катар	94,77	3,1	0,0292	12,45	426,3
36	Хорватия	99,17	3,8	0,0757	30,07	397,2
37	Китай	107,19	1415,3	90,8223	35103,19	386,5
38	Панама	90,49	4,6	0,0194	7,20	371,0
39	Тайвань	107,10	23,0	1,4587	537,05	368,2
40	Мальта	99,19	0,5	0,0100	3,52	352,2
41	ОАЭ	96,80	11,4	0,1532	52,56	343,1
42	Литва	98,67	2,8	0,0514	16,25	315,9
43	Латвия	98,84	1,8	0,0340	10,15	298,6
44	Бразилия	92,92	213,0	1,4309	384,09	268,4
45	Аргентина	94,39	45,9	0,4038	88,36	218,8
46	Южная Африка	94,11	64,9	0,5428	105,03	193,5
47	Оман	94,08	5,5	0,0457	7,64	167,0
48	Болгария	97,79	6,7	0,1064	16,23	152,5
49	Румыния	96,31	18,9	0,2335	35,12	150,4
50	Уругвай	95,01	3,4	0,0334	4,89	146,3
51	Словакия	99,76	5,4	0,1183	17,11	144,7
52	Коста-Рика	94,15	5,2	0,0438	6,32	144,3
53	Уганда	89,89	51,7	0,1938	21,46	110,8
54	Зимбабве	90,21	17,0	0,0679	6,41	94,4
55	Армения	102,58	2,9	0,0979	8,62	88,0
56	Маврикий	96,89	1,3	0,0177	1,55	87,4
57	Грузия	100,59	3,8	0,0948	8,20	86,5
58	Кения	91,22	57,8	0,2812	24,20	86,1
59	Черногория	98,65	0,6	0,0110	0,88	80,1
60	Украина	95,38	39,3	0,4126	32,83	79,6
61	Турция	99,07	87,7	1,7193	127,97	74,4
62	Мексика	95,51	132,2	1,4202	103,83	73,1
63	Россия	103,16	143,8	5,2890	377,95	71,5
64	Северная Македония	97,59	1,8	0,0276	1,92	69,4
65	Колумбия	93,17	53,6	0,3772	25,73	68,2
66	Индия	99,08	1466,9	28,8034	1862,67	64,7
67	Сербия	100,86	6,7	0,1744	9,61	55,1
68	Кувейт	95,02	5,0	0,0493	2,67	54,2
69	Бенин	86,88	14,9	0,0301	1,58	52,4
70	Камерун	89,94	30,0	0,1136	5,93	52,2
71	Никарагуа	88,70	7,0	0,0206	1,02	49,4
72	Сенегал	88,27	19,0	0,0513	2,43	47,3
73	Гана	90,25	35,2	0,1417	6,62	46,7
74	Ливан	99,39	5,9	0,1218	5,28	43,4
75	Танзания	89,40	71,0	0,2413	10,39	43,1
76	Эквадор	95,00	18,3	0,1796	7,70	42,9
77	Таиланд	101,52	71,6	2,0624	88,26	42,8
78	Узбекистан	96,79	37,2	0,4990	19,24	38,6
79	Азербайджан	98,71	10,4	0,1923	7,23	37,6
80	Марокко	96,78	38,5	0,5156	18,43	35,7
81	Парагвай	90,76	7,0	0,0311	1,03	33,1
82	Иордания	96,71	11,5	0,1522	4,81	31,6

83	Лаос	92,05	7,9	0,0451	1,31	29,1
84	Бахрейн	94,04	1,7	0,0140	0,40	28,5
85	Молдова	97,32	3,0	0,0440	1,24	28,2
86	Демократическая Республика Конго	88,01	113,6	0,2909	7,72	26,5
87	Казахстан	97,17	20,9	0,2991	7,69	25,7
88	Пакистан	93,25	256,1	1,8293	41,57	22,7
89	Албания	97,19	2,8	0,0402	0,91	22,6
90	Иран	106,30	92,6	5,2831	118,94	22,5
91	Камбоджа	93,97	17,9	0,1459	2,89	19,8
92	Малайзия	100,48	36,1	0,8857	16,09	18,2
93	Таджикистан	93,55	10,8	0,0815	1,46	17,9
94	Вьетнам	100,12	101,7	2,3580	40,92	17,4
95	Тунис	97,51	12,4	0,1879	3,18	16,9
96	Мозамбик	87,81	35,9	0,0882	1,37	15,5
97	Боливия	92,76	12,6	0,0822	1,26	15,3
98	Монголия	102,86	3,5	0,1232	1,82	14,8
99	Перу	99,37	34,6	0,7119	9,95	14,0
100	Египет	97,21	118,7	1,7102	21,86	12,8
101	Индонезия	93,18	286,2	2,0179	22,49	11,1
102	Гватемала	91,29	18,7	0,0922	1,01	11,0
103	Венесуэла	91,02	28,5	0,1334	1,40	10,5
104	Алжир	97,01	47,6	0,6629	6,77	10,2
105	Кыргызстан	94,85	7,3	0,0698	0,71	10,2
106	Беларусь	101,47	9,0	0,2573	2,58	10,0
107	Доминиканская Республика	90,06	11,5	0,0446	0,44	9,9
108	Непал	97,07	29,6	0,4165	3,62	8,7
109	Нигерия	91,35	238,7	1,1906	9,78	8,2
110	Куба	96,02	10,9	0,1280	0,98	7,7
111	Мадагаскар	94,80	32,9	0,3116	2,25	7,2
112	Бангладеш	96,46	176,2	2,2335	15,25	6,8
113	Филиппины	96,66	117,0	1,5349	10,39	6,8
114	Эфиопия	95,09	136,3	1,3594	8,19	6,0
115	Шри-Ланка	102,02	23,3	0,7239	3,48	4,8
116	Ирак	93,99	47,2	0,3862	1,09	2,8
117	Мьянма	97,37	54,9	0,8127	1,34	1,6
118	Босния и Герцеговина	97,62	3,1	0,0479	0,05	1,0
119	Того	89,94	9,8	0,0371	0,03	0,8
120	Йемен	93,30	42,0	0,3028	0,06	0,2

Таблица 5. Топ-2 стран с населением от 400 млн чел. и выше по использованию интеллектуального потенциала в науке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Доля научного вклада во все статьи из рейтинга [2]	Использование интеллектуального потенциала в науке, UIPS (science articles), научный вклад на млн чел.	Относительный процент, %
1	Китай	107,19	1415,3	90,8223	35103,19	386,5	100,0
2	Индия	99,08	1466,9	28,8034	1862,67	64,7	16,7

Таблица 6. Топ-14 стран с населением от 100 до 400 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в науке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Доля научного вклада во все статьи из рейтинга [2]	Использование интеллектуального потенциала в науке, UIPS (science articles), научный вклад на млн чел.	Относительный процент, %
1	США	99,74	347,7	7,5904	21631,57	2849,9	100,0
2	Япония	106,40	122,9	7,1062	3256,21	458,2	16,1
3	Бразилия	92,92	213,0	1,4309	384,09	268,4	9,4
4	Мексика	95,51	132,2	1,4202	103,83	73,1	2,6
5	Россия	103,16	143,8	5,2890	377,95	71,5	2,5
6	Демократическая Республика Конго	88,01	113,6	0,2909	7,72	26,5	0,9
7	Пакистан	93,25	256,1	1,8293	41,57	22,7	0,8
8	Вьетнам	100,12	101,7	2,3580	40,92	17,4	0,6
9	Египет	97,21	118,7	1,7102	21,86	12,8	0,4
10	Индонезия	93,18	286,2	2,0179	22,49	11,1	0,4
11	Нигерия	91,35	238,7	1,1906	9,78	8,2	0,3
12	Бангладеш	96,46	176,2	2,2335	15,25	6,8	0,2
13	Филиппины	96,66	117,0	1,5349	10,39	6,8	0,2
14	Эфиопия	95,09	136,3	1,3594	8,19	6,0	0,2

Таблица 7. Топ-31 стран с населением от 30 до 100 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в науке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Доля научного вклада во все статьи из рейтинга [2]	Использование интеллектуального потенциала в науке, UIPS (science articles), научный вклад на млн чел.	Относительный процент, %
1	Германия	99,64	83,9	1,8026	4860,47	2696,4	100,0
2	Великобритания	99,68	69,6	1,5049	3905,83	2595,4	96,3
3	Канада	101,65	40,2	1,1810	1867,67	1581,4	58,6
4	Франция	101,42	66,7	1,8922	2401,75	1269,3	47,1
5	Италия	100,84	59,0	1,5309	1409,49	920,7	34,1
6	Испания	102,30	47,9	1,5518	1353,81	872,4	32,4
7	Южная Корея	106,43	51,6	2,9955	2008,50	670,5	24,9
8	Саудовская Аравия	93,95	34,7	0,2819	180,76	641,3	23,8
9	Польша	99,35	38,0	0,7794	354,98	455,5	16,9
10	Аргентина	94,39	45,9	0,4038	88,36	218,8	8,1
11	Южная Африка	94,11	64,9	0,5428	105,03	193,5	7,2
12	Уганда	89,89	51,7	0,1938	21,46	110,8	4,1
13	Кения	91,22	57,8	0,2812	24,20	86,1	3,2
14	Украина	95,38	39,3	0,4126	32,83	79,6	3,0
15	Турция	99,07	87,7	1,7193	127,97	74,4	2,8
16	Колумбия	93,17	53,6	0,3772	25,73	68,2	2,5
17	Камерун	89,94	30,0	0,1136	5,93	52,2	1,9
18	Гана	90,25	35,2	0,1417	6,62	46,7	1,7
19	Танзания	89,40	71,0	0,2413	10,39	43,1	1,6
20	Таиланд	101,52	71,6	2,0624	88,26	42,8	1,6
21	Узбекистан	96,79	37,2	0,4990	19,24	38,6	1,4
22	Марокко	96,78	38,5	0,5156	18,43	35,7	1,3
23	Иран	106,30	92,6	5,2831	118,94	22,5	0,8
24	Малайзия	100,48	36,1	0,8857	16,09	18,2	0,7
25	Мозамбик	87,81	35,9	0,0882	1,37	15,5	0,6
26	Перу	99,37	34,6	0,7119	9,95	14,0	0,5
27	Алжир	97,01	47,6	0,6629	6,77	10,2	0,4
28	Мадагаскар	94,80	32,9	0,3116	2,25	7,2	0,3
29	Ирак	93,99	47,2	0,3862	1,09	2,8	0,1
30	Мьянма	97,37	54,9	0,8127	1,34	1,6	0,1
31	Йемен	93,30	42,0	0,3028	0,06	0,2	0,0

Таблица 8. Топ-27 стран с населением от 10 до 30 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в науке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Доля научного вклада во все статьи из рейтинга [2]	Использование интеллектуального потенциала в науке, UIPS (science articles), научный вклад на млн чел.	Относительный процент, %
1	Швеция	99,64	10,7	0,1908	812,91	4259,8	100,0
2	Нидерланды	99,68	18,4	0,4004	1150,01	2872,2	67,4
3	Бельгия	101,65	11,8	0,2732	520,05	1903,8	44,7
4	Австралия	101,42	27,0	0,9106	1429,48	1569,9	36,9
5	Чешская Республика	100,84	10,6	0,2310	276,27	1195,8	28,1
6	Португалия	102,30	10,4	0,2130	157,87	741,3	17,4
7	Чили	106,43	19,9	0,2089	133,68	639,8	15,0
8	Тайвань	93,95	23,0	1,4587	537,05	368,2	8,6
9	ОАЭ	99,35	11,4	0,1532	52,56	343,1	8,1
10	Румыния	94,39	18,9	0,2335	35,12	150,4	3,5
11	Зимбабве	94,11	17,0	0,0679	6,41	94,4	2,2
12	Бенин	89,89	14,9	0,0301	1,58	52,4	1,2
13	Сенегал	91,22	19,0	0,0513	2,43	47,3	1,1
14	Эквадор	95,38	18,3	0,1796	7,70	42,9	1,0
15	Азербайджан	99,07	10,4	0,1923	7,23	37,6	0,9
16	Иордания	93,17	11,5	0,1522	4,81	31,6	0,7
17	Казахстан	89,94	20,9	0,2991	7,69	25,7	0,6
18	Камбоджа	90,25	17,9	0,1459	2,89	19,8	0,5
19	Таджикистан	89,40	10,8	0,0815	1,46	17,9	0,4
20	Тунис	101,52	12,4	0,1879	3,18	16,9	0,4
21	Боливия	96,79	12,6	0,0822	1,26	15,3	0,4
22	Гватемала	96,78	18,7	0,0922	1,01	11,0	0,3
23	Венесуэла	106,30	28,5	0,1334	1,40	10,5	0,2
24	Доминиканская Республика	100,48	11,5	0,0446	0,44	9,9	0,2
25	Непал	87,81	29,6	0,4165	3,62	8,7	0,2
26	Куба	99,37	10,9	0,1280	0,98	7,7	0,2
27	Шри-Ланка	97,01	23,3	0,7239	3,48	4,8	0,1

Таблица 9. Топ-32 стран с населением от 3 до 10 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в науке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Доля научного вклада во все статьи из рейтинга [2]	Использование интеллектуального потенциала в науке, UIPS (science articles), научный вклад на млн чел.	Относительный процент, %
1	Швейцария	100,75	9,0	0,2303	1453,55	6311,8	100,0
2	Дания	97,94	6,0	0,0977	603,39	6175,2	97,8
3	Израиль	99,07	9,5	0,1862	640,25	3437,8	54,5
4	Норвегия	98,52	5,6	0,1004	242,35	2414,6	38,3
5	Сингапур	105,14	5,9	0,2875	681,96	2372,2	37,6
6	Австрия	99,65	9,1	0,1958	436,10	2227,0	35,3
7	Финляндия	100,3	5,6	0,1336	288,63	2160,9	34,2
8	Ирландия	98,32	5,3	0,0919	133,68	1454,3	23,0
9	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,1661	151,80	913,6	14,5
10	Венгрия	99,46	9,6	0,2004	115,66	577,1	9,1
11	Греция	100,07	9,9	0,2277	99,67	437,7	6,9
12	Катар	94,77	3,1	0,0292	12,45	426,3	6,8
13	Хорватия	99,17	3,8	0,0757	30,07	397,2	6,3
14	Панама	90,49	4,6	0,0194	7,20	371,0	5,9
15	Оман	94,08	5,5	0,0457	7,64	167,0	2,6
16	Болгария	97,79	6,7	0,1064	16,23	152,5	2,4
17	Уругвай	95,01	3,4	0,0334	4,89	146,3	2,3
18	Словакия	99,76	5,4	0,1183	17,11	144,7	2,3
19	Коста-Рика	94,15	5,2	0,0438	6,32	144,3	2,3
20	Грузия	100,59	3,8	0,0948	8,20	86,5	1,4
21	Сербия	100,86	6,7	0,1744	9,61	55,1	0,9
22	Кувейт	95,02	5,0	0,0493	2,67	54,2	0,9
23	Никарагуа	88,7	7,0	0,0206	1,02	49,4	0,8
24	Ливан	99,39	5,9	0,1218	5,28	43,4	0,7
25	Парагвай	90,76	7,0	0,0311	1,03	33,1	0,5
26	Лаос	92,05	7,9	0,0451	1,31	29,1	0,5
27	Молдова	97,32	3,0	0,0440	1,24	28,2	0,4
28	Монголия	102,86	3,5	0,1232	1,82	14,8	0,2
29	Кыргызстан	94,85	7,3	0,0698	0,71	10,2	0,2
30	Беларусь	101,47	9,0	0,2573	2,58	10,0	0,2
31	Босния и Герцеговина	97,62	3,1	0,0479	0,05	1,0	0,0
32	Того	89,94	9,8	0,0371	0,03	0,8	0,0

Таблица 10. Топ-10 стран с населением от 1 до 3 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в науке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Доля научного вклада во все статьи из рейтинга [2]	Использование интеллектуального потенциала в науке, UIPS (science articles), научный вклад на млн чел.	Относительный процент, %
1	Эстония	99,39	1,3	0,0268	27,15	1011,8	100,0
2	Словения	101,96	2,1	0,0647	53,35	825,1	81,6
3	Кипр	98,51	1,4	0,0251	19,84	792,0	78,3
4	Литва	98,67	2,8	0,0514	16,25	315,9	31,2
5	Латвия	98,84	1,8	0,0340	10,15	298,6	29,5
6	Армения	102,58	2,9	0,0979	8,62	88,0	8,7
7	Маврикий	96,89	1,3	0,0177	1,55	87,4	8,6
8	Северная Македония	97,59	1,8	0,0276	1,92	69,4	6,9
9	Бахрейн	94,04	1,7	0,0140	0,40	28,5	2,8
10	Албания	97,19	2,8	0,0402	0,91	22,6	2,2

Таблица 11. Топ-4 стран с населением ниже 1 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в науке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Доля научного вклада во все статьи из рейтинга [2]	Использование интеллектуального потенциала в науке, UIPS (science articles), научный вклад на млн чел.	Относительный процент, %
1	Исландия	99,99	0,4	0,0091	37,03	4075,7	100,0
2	Люксембург	100,00	0,7	0,0159	23,70	1488,2	36,5
3	Мальта	99,19	0,5	0,0100	3,52	352,2	8,6
4	Черногория	98,65	0,6	0,0110	0,88	80,1	2,0

§11. Топ-98 стран по использованию интеллектуального потенциала в технике в 2024 году

В таблице 12 сравниваются 98 стран мира друг с другом, а в таблицах 13, 14, 15, 16, 17, 18 и 19 сравниваются аналогичные по численности населения страны.

Таблица 12. Топ-98 стран по использованию интеллектуального потенциала в технике в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число патентов [12]	Использование интеллектуального потенциала в технике, UIPS (patents), патентов на млн чел.
1	Южная Корея	106,43	51,6	2,9955	191142	63809
2	США	99,74	347,7	7,5904	275897	36348
3	Япония	106,4	122,9	7,1062	228936	32216
4	Германия	99,64	83,9	1,8026	38489	21352
5	Китай	107,19	1415,3	90,8223	1522292	16761
6	Финляндия	100,30	5,6	0,1336	1672	12518
7	Дания	97,94	6,0	0,0977	1078	11032
8	Саудовская Аравия	93,95	34,7	0,2819	2819	10001
9	Швеция	98,49	10,7	0,1908	1857	9731
10	Австрия	99,65	9,1	0,1958	1777	9074
11	Норвегия	98,52	5,6	0,1004	815	8120
12	Израиль	99,07	9,5	0,1862	1435	7705
13	Великобритания	99,68	69,6	1,5049	11487	7633
14	Франция	101,42	66,7	1,8922	13602	7189
15	Люксембург	100,00	0,7	0,0159	106	6656
16	Сингапур	105,14	5,9	0,2875	1621	5639
17	Италия	100,84	59,0	1,5309	8478	5538
18	Швейцария	100,75	9,0	0,2303	1190	5167
19	Польша	99,35	38,0	0,7794	3946	5063
20	Турция	99,07	87,7	1,7193	8429	4903
21	Нидерланды	99,72	18,4	0,4004	1819	4543
22	Латвия	98,84	1,8	0,0340	140	4118
23	Россия	103,16	143,8	5,2890	20623	3899
24	Румыния	96,31	18,9	0,2335	817	3500
25	Бразилия	92,92	213,0	1,4309	4973	3475
26	Канада	101,65	40,2	1,1810	4097	3469
27	Португалия	99,34	10,4	0,2130	719	3376
28	Австралия	102,57	27,0	0,9106	2511	2758
29	Бельгия	100,11	11,8	0,2732	716	2621
30	Украина	95,38	39,3	0,4126	1010	2448
31	Казахстан	97,17	20,9	0,2991	693	2317
32	Исландия	99,99	0,4	0,0091	21	2311
33	Греция	100,07	9,9	0,2277	499	2191
34	Хорватия	99,17	3,8	0,0757	164	2166
35	Словения	101,96	2,1	0,0647	139	2150
36	Алжир	97,01	47,6	0,6629	1396	2106
37	Чешская Республика	99,73	10,6	0,2310	465	2013
38	Словакия	99,76	5,4	0,1183	232	1962
39	Катар	94,77	3,1	0,0292	57	1952
40	Венгрия	99,46	9,6	0,2004	383	1911

41	Чили	95,38	19,9	0,2089	395	1890
42	Ирак	93,99	47,2	0,3862	727	1882
43	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,1661	310	1866
44	Болгария	97,79	6,7	0,1064	185	1738
45	Индия	99,08	1466,9	28,8034	49860	1731
46	Иран	106,3	92,6	5,2831	8503	1609
47	Литва	98,67	2,8	0,0514	66	1283
48	Кения	91,22	57,8	0,2812	360	1280
49	Оман	94,08	5,5	0,0457	55	1202
50	Азербайджан	98,71	10,4	0,1923	201	1045
51	Аргентина	94,39	45,9	0,4038	421	1042
52	Узбекистан	96,79	37,2	0,4990	518	1038
53	Грузия	100,59	3,8	0,0948	96	1012
54	Беларусь	101,47	9,0	0,2573	256	995
55	Ирландия	98,32	5,3	0,0919	90	979
56	Кыргызстан	94,85	7,3	0,0698	67	960
57	Малайзия	100,48	36,1	0,8857	843	952
58	ОАЭ	96,80	11,4	0,1532	144	940
59	Эстония	99,39	1,3	0,0268	25	932
60	Босния и Герцеговина	97,62	3,1	0,0479	44	919
61	Индонезия	93,18	286,2	2,0179	1682	834
62	Южная Африка	94,11	64,9	0,5428	413	761
63	Испания	102,3	47,9	1,5518	1149	740
64	Черногория	98,65	0,6	0,0110	8	728
65	Колумбия	93,17	53,6	0,3772	266	705
66	Мальта	99,19	0,5	0,0100	7	700
67	Мексика	95,51	132,2	1,4202	978	689
68	Северная Македония	97,59	1,8	0,0276	19	687
69	Молдова	97,32	3,0	0,0440	30	681
70	Сербия	100,86	6,7	0,1744	118	677
71	Монголия	102,86	3,5	0,1232	75	609
72	Марокко	96,78	38,5	0,5156	310	601
73	Бахрейн	94,04	1,7	0,0140	8	570
74	Филиппины	96,66	117,0	1,5349	786	512
75	Уругвай	95,01	3,4	0,0334	15	449
76	Вьетнам	100,12	101,7	2,3580	991	420
77	Коста-Рика	94,15	5,2	0,0438	18	411
78	Зимбабве	90,21	17,0	0,0679	27	398
79	Таиланд	101,52	71,6	2,0624	752	365
80	Шри-Ланка	102,02	23,3	0,7239	185	256
81	Перу	99,37	34,6	0,7119	179	251
82	Пакистан	93,25	256,1	1,8293	459	251
83	Эквадор	95,00	18,3	0,1796	41	228
84	Мозамбик	87,81	35,9	0,0882	18	204
85	Маврикий	96,89	1,3	0,0177	3	169
86	Иордания	96,71	11,5	0,1522	21	138
87	Куба	96,02	10,9	0,1280	17	133
88	Кипр	98,51	1,4	0,0251	3	120
89	Армения	102,58	2,9	0,0979	11	112

90	Доминиканская Республика	90,06	11,5	0,0446	4	90
91	Венесуэла	91,02	28,5	0,1334	9	67
92	Гватемала	91,29	18,7	0,0922	4	43
93	Гана	90,25	35,2	0,1417	6	42
94	Йемен	93,30	42,0	0,3028	11	36
95	Эфиопия	95,09	136,3	1,3594	44	32
96	Бангладеш	96,46	176,2	2,2335	67	30
97	Лаос	92,05	7,9	0,0451	1	22
98	Камбоджа	93,97	17,9	0,1459	1	7

Таблица 13. Топ-2 стран с населением от 400 млн чел. и выше по использованию интеллектуального потенциала в технике в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число патентов [12]	Использование интеллектуального потенциала в технике, UIPS (patents), патентов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Китай	107,19	1415,3	90,8223	1522292	16761	100,0
2	Индия	99,08	1466,9	28,8034	49860	1731	10,3

Таблица 14. Топ-11 стран с населением от 100 до 400 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в технике в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число патентов [12]	Использование интеллектуального потенциала в технике, UIPS (patents), патентов на млн чел.	Относительный процент, %
1	США	99,74	347,7	7,5904	275897	36348	100,0
2	Япония	106,40	122,9	7,1062	228936	32216	88,6
3	Россия	103,16	143,8	5,2890	20623	3899	10,7
4	Бразилия	92,92	213,0	1,4309	4973	3475	9,6
5	Индонезия	93,18	286,2	2,0179	1682	834	2,3
6	Мексика	95,51	132,2	1,4202	978	689	1,9
7	Филиппины	96,66	117,0	1,5349	786	512	1,4
8	Вьетнам	100,12	101,7	2,3580	991	420	1,2
9	Пакистан	93,25	256,1	1,8293	459	251	0,7
10	Эфиопия	95,09	136,3	1,3594	44	32	0,1
11	Бангладеш	96,46	176,2	2,2335	67	30	0,1

Таблица 15. Топ-26 стран с населением от 30 до 100 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в технике в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число патентов [12]	Использование интеллектуального потенциала в технике, UIPS (patents), патентов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Южная Корея	106,43	51,6	2,9955	191142	63809	100,0
2	Германия	99,64	83,9	1,8026	38489	21352	33,5
3	Саудовская Аравия	93,95	34,7	0,2819	2819	10001	15,7
4	Великобритания	99,68	69,6	1,5049	11487	7633	12,0
5	Франция	101,42	66,7	1,8922	13602	7189	11,3
6	Италия	100,84	59,0	1,5309	8478	5538	8,7
7	Польша	99,35	38,0	0,7794	3946	5063	7,9
8	Турция	99,07	87,7	1,7193	8429	4903	7,7
9	Канада	101,65	40,2	1,1810	4097	3469	5,4
10	Украина	95,38	39,3	0,4126	1010	2448	3,8
11	Алжир	97,01	47,6	0,6629	1396	2106	3,3
12	Ирак	93,99	47,2	0,3862	727	1882	2,9
13	Иран	106,3	92,6	5,2831	8503	1609	2,5
14	Кения	91,22	57,8	0,2812	360	1280	2,0
15	Аргентина	94,39	45,9	0,4038	421	1042	1,6
16	Узбекистан	96,79	37,2	0,4990	518	1038	1,6
17	Малайзия	100,48	36,1	0,8857	843	952	1,5
18	Южная Африка	94,11	64,9	0,5428	413	761	1,2
19	Испания	102,3	47,9	1,5518	1149	740	1,2
20	Колумбия	93,17	53,6	0,3772	266	705	1,1
21	Марокко	96,78	38,5	0,5156	310	601	0,9
22	Таиланд	101,52	71,6	2,0624	752	365	0,6
23	Перу	99,37	34,6	0,7119	179	251	0,4
24	Мозамбик	87,81	35,9	0,0882	18	204	0,3
25	Гана	90,25	35,2	0,1417	6	42	0,1
26	Йемен	93,30	42,0	0,3028	11	36	0,1

Таблица 16. Топ-20 стран с населением от 10 до 30 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в технике в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число патентов [12]	Использование интеллектуального потенциала в технике, UIPS (patents), патентов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Швеция	98,49	10,7	0,1908	1857	9731	100,0
2	Нидерланды	99,72	18,4	0,4004	1819	4543	46,7
3	Румыния	96,31	18,9	0,2335	817	3500	36,0
4	Португалия	99,34	10,4	0,2130	719	3376	34,7
5	Австралия	102,57	27,0	0,9106	2511	2758	28,3
6	Бельгия	100,11	11,8	0,2732	716	2621	26,9
7	Казахстан	97,17	20,9	0,2991	693	2317	23,8
8	Чешская Республика	99,73	10,6	0,2310	465	2013	20,7
9	Чили	95,38	19,9	0,2089	395	1890	19,4
10	Азербайджан	98,71	10,4	0,1923	201	1045	10,7
11	ОАЭ	96,80	11,4	0,1532	144	940	9,7
12	Зимбабве	90,21	17,0	0,0679	27	398	4,1
13	Шри-Ланка	102,02	23,3	0,7239	185	256	2,6
14	Эквадор	95,00	18,3	0,1796	41	228	2,3
15	Иордания	96,71	11,5	0,1522	21	138	1,4
16	Куба	96,02	10,9	0,1280	17	133	1,4
17	Доминиканская Республика	90,06	11,5	0,0446	4	90	0,9
18	Венесуэла	91,02	28,5	0,1334	9	67	0,7
19	Гватемала	91,29	18,7	0,0922	4	43	0,4
20	Камбоджа	93,97	17,9	0,1459	1	7	0,1

Таблица 17. Топ-26 стран с населением от 3 до 10 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в технике в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число патентов в [12]	Использование интеллектуального потенциала в технике, UIPS (patents), патентов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Финляндия	100,30	5,6	0,1336	1672	12518	100,0
2	Дания	97,94	6,0	0,0977	1078	11032	88,1
3	Австрия	99,65	9,1	0,1958	1777	9074	72,5
4	Норвегия	98,52	5,6	0,1004	815	8120	64,9
5	Израиль	99,07	9,5	0,1862	1435	7705	61,6
6	Сингапур	105,14	5,9	0,2875	1621	5639	45,0
7	Швейцария	100,75	9,0	0,2303	1190	5167	41,3

8	Греция	100,07	9,9	0,2277	499	2191	17,5
9	Хорватия	99,17	3,8	0,0757	164	2166	17,3
10	Словакия	99,76	5,4	0,1183	232	1962	15,7
11	Катар	94,77	3,1	0,0292	57	1952	15,6
12	Венгрия	99,46	9,6	0,2004	383	1911	15,3
13	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,1661	310	1866	14,9
14	Болгария	97,79	6,7	0,1064	185	1738	13,9
15	Оман	94,08	5,5	0,0457	55	1202	9,6
16	Грузия	100,59	3,8	0,0948	96	1012	8,1
17	Беларусь	101,47	9,0	0,2573	256	995	7,9
18	Ирландия	98,32	5,3	0,0919	90	979	7,8
19	Кыргызстан	94,85	7,3	0,0698	67	960	7,7
20	Босния и Герцеговина	97,62	3,1	0,0479	44	919	7,3
21	Молдова	97,32	3,0	0,0440	30	681	5,4
22	Сербия	100,86	6,7	0,1744	118	677	5,4
23	Монголия	102,86	3,5	0,1232	75	609	4,9
24	Уругвай	95,01	3,4	0,0334	15	449	3,6
25	Коста-Рика	94,15	5,2	0,0438	18	411	3,3
26	Лаос	92,05	7,9	0,0451	1	22	0,2

Таблица 18. Топ-9 стран с населением от 1 до 3 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в технике в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число патентов в [12]	Использование интеллектуального потенциала в технике, UIPS (patents), патентов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Латвия	98,84	1,8	0,0340	140	4118	100,0
2	Словения	101,96	2,1	0,0647	139	2150	52,2
3	Литва	98,67	2,8	0,0514	66	1283	31,2
4	Эстония	99,39	1,3	0,0268	25	932	22,6
5	Северная Македония	97,59	1,8	0,0276	19	687	16,7
6	Бахрейн	94,04	1,7	0,0140	8	570	13,8
7	Маврикий	96,89	1,3	0,0177	3	169	4,1
8	Кипр	98,51	1,4	0,0251	3	120	2,9
9	Армения	102,58	2,9	0,0979	11	112	2,7

Таблица 19. Топ-4 стран с населением до 1 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в технике в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число патентов в [12]	Использование интеллектуального потенциала в технике, UIPS (patents), патентов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Люксембург	100,00	0,7	0,0159	106	6656	100,0
2	Исландия	99,99	0,4	0,0091	21	2311	34,7
3	Черногория	98,65	0,6	0,0110	8	728	10,9
4	Мальта	99,19	0,5	0,0100	7	700	10,5

§12. Топ-111 стран по использованию интеллектуального потенциала в музыке в 2024 году

В таблице 20 сравниваются 111 стран мира друг с другом, а в таблицах 21, 22, 23, 24, 25, 26 и 27 сравниваются аналогичные по численности населения страны.

Таблица 20. Топ-111 стран по использованию интеллектуального потенциала в музыке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число музыкальных релизов [7]	Использование интеллектуального потенциала в музыке, UIPS (music), релизов на млн чел.
1	Исландия	99,99	0,4	0,009	441	48538,1
2	Нидерланды	99,72	18,4	0,400	13163	32874,6
3	Эстония	99,39	1,3	0,027	726	27054,7
4	Греция	100,07	9,9	0,228	5629	24717,7
5	Великобритания	99,68	69,6	1,505	32488	21587,7
6	Дания	97,94	6,0	0,098	1862	19055,9
7	Финляндия	100,30	5,6	0,134	2516	18836,6
8	Норвегия	98,52	5,6	0,100	1809	18023,4
9	Северная Македония	97,59	1,8	0,028	483	17469,1
10	Швеция	98,49	10,7	0,191	2972	15573,7
11	Германия	99,64	83,9	1,803	23860	13236,5
12	Бельгия	100,11	11,8	0,273	3593	13153,6
13	Португалия	99,34	10,4	0,213	1997	9377,4
14	Литва	98,67	2,8	0,051	465	9040,9
15	Мальта	99,19	0,5	0,010	90	9005,5
16	Ирландия	98,32	5,3	0,092	808	8790,4
17	Венгрия	99,46	9,6	0,200	1646	8213,5
18	Италия	100,84	59,0	1,531	12563	8206,2
19	Швейцария	100,75	9,0	0,230	1864	8094,1
20	США	99,74	347,7	7,590	58473	7703,6

21	Чешская Республика	99,73	10,6	0,231	1696	7340,9
22	Словения	101,96	2,1	0,065	469	7253,9
23	Латвия	98,84	1,8	0,034	240	7060,2
24	Австрия	99,65	9,1	0,196	1230	6281,1
25	Франция	101,42	66,7	1,892	11080	5855,7
26	Польша	99,35	38,0	0,779	4476	5743,1
27	Испания	102,30	47,9	1,552	8070	5200,2
28	Хорватия	99,17	3,8	0,076	378	4992,8
29	Австралия	102,57	27,0	0,911	4187	4598,2
30	Канада	101,65	40,2	1,181	5332	4514,7
31	Люксембург	100,00	0,7	0,016	70	4395,6
32	Чили	95,38	19,9	0,209	879	4206,9
33	Пуэрто-Рико	90,94	3,2	0,015	61	4137,6
34	Словакия	99,76	5,4	0,118	469	3965,9
35	Болгария	97,79	6,7	0,106	414	3890,3
36	Румыния	96,31	18,9	0,2335	879	3765,2
37	Уругвай	95,01	3,4	0,033	124	3709,1
38	Украина	95,38	39,3	0,413	1409	3414,7
39	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,166	505	3039,5
40	Молдова	97,32	3,0	0,044	123	2793,3
41	Аргентина	94,39	45,9	0,404	1069	2647,1
42	Сербия	100,86	6,7	0,174	448	2569,0
43	Израиль	99,07	9,5	0,1862	403	2163,9
44	Коста-Рика	94,15	5,2	0,044	86	1963,2
45	Колумбия	93,17	53,6	0,377	689	1826,5
46	Бразилия	92,92	213,0	1,431	2393	1672,3
47	Япония	106,40	122,9	7,106	10766	1515,0
48	Мексика	95,51	132,2	1,420	2030	1429,4
49	Кипр	98,51	1,4	0,025	32	1277,4
50	Россия	103,16	143,8	5,289	6441	1217,8
51	Черногория	98,65	0,6	0,011	13	1183,4
52	Грузия	100,59	3,8	0,095	112	1180,9
53	Боливия	92,76	12,6	0,082	96	1168,5
54	Панама	90,49	4,6	0,019	21	1082,0
55	Беларусь	101,47	9,0	0,257	169	656,9
56	Сингапур	105,14	5,9	0,287	169	587,9
57	Индонезия	93,18	286,2	2,018	975	483,2
58	Южная Корея	106,43	51,6	2,996	1294	432,0
59	Казахстан	97,17	20,9	0,299	121	404,6
60	Эквадор	95,00	18,3	0,180	69	384,1
61	Малайзия	100,48	36,1	0,886	339	382,8
62	Турция	99,07	87,7	1,719	563	327,5
63	Доминиканская Республика	90,06	11,5	0,045	14	314,1
64	Южная Африка	94,11	64,9	0,543	170	313,2
65	Парагвай	90,76	7,0	0,031	9	289,0
66	Перу	99,37	34,6	0,712	195	273,9
67	Босния и Герцеговина	97,62	3,1	0,048	12	250,7
68	Венесуэла	91,02	28,5	0,133	32	239,9

69	Уганда	89,89	51,7	0,194	46	237,4
70	Гватемала	91,29	18,7	0,092	21	227,8
71	Армения	102,58	2,9	0,098	22	224,6
72	Сальвадор	91,07	6,3	0,030	6	201,6
73	Албания	97,19	2,8	0,040	7	174,1
74	ОАЭ	96,80	11,4	0,153	24	156,7
75	Монголия	102,86	3,5	0,123	19	154,2
76	Тунис	97,51	12,4	0,188	28	149,0
77	Ливан	99,39	5,9	0,122	18	147,8
78	Филиппины	96,66	117,0	1,535	196	127,7
79	Тайвань	107,10	23,0	1,4587	184	126,1
80	Никарагуа	88,70	7,0	0,021	2	96,9
81	Иордания	96,71	11,5	0,152	14	92,0
82	Бахрейн	94,04	1,7	0,014	1	71,2
83	Гондурас	90,53	11,0	0,047	3	64,1
84	Республика Конго	88,01	6,5	0,017	1	60,1
85	Таиланд	101,52	71,6	2,062	122	59,2
86	Лаос	92,05	7,9	0,045	2	44,4
87	Кения	91,22	57,8	0,281	11	39,1
88	Куба	96,02	10,9	0,128	5	39,1
89	Сенегал	88,27	19,0	0,051	2	39,0
90	Ангола	85,33	39,3	0,057	2	35,1
91	Катар	94,77	3,1	0,029	1	34,2
92	Зимбабве	90,21	17,0	0,068	2	29,5
93	Гана	90,25	35,2	0,142	4	28,2
94	Азербайджан	98,71	10,4	0,192	5	26,0
95	Демократическая Республика Конго	88,01	113,6	0,291	7	24,1
96	Нигерия	91,35	238,7	1,191	24	20,2
97	Вьетнам	100,12	101,7	2,358	43	18,2
98	Индия	99,08	1466,9	28,803	436	15,1
99	Марокко	96,78	38,5	0,516	7	13,6
100	Ирак	93,99	47,2	0,386	4	10,4
101	Китай	107,19	1415,3	90,8223	849	9,3
102	Иран	106,30	92,6	5,283	47	8,9
103	Шри-Ланка	102,02	23,3	0,724	6	8,3
104	Эфиопия	95,09	136,3	1,359	11	8,1
105	Саудовская Аравия	93,95	34,7	0,282	2	7,1
106	Египет	97,21	118,7	1,710	12	7,0
107	Мадагаскар	94,80	32,9	0,312	2	6,4
108	Узбекистан	96,79	37,2	0,499	3	6,0
109	Алжир	97,01	47,6	0,663	3	4,5
110	Пакистан	93,25	256,1	1,829	7	3,8
111	Бангладеш	96,46	176,2	2,233	6	2,7

Таблица 21. Топ-2 стран с населением от 400 млн чел. и выше по использованию интеллектуального потенциала в музыке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число музыкальных релизов [7]	Использование интеллектуального потенциала в музыке, UIPS (music), релизов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Индия	99,08	1466,9	28,803	436	15,1	100,00
2	Китай	107,19	1415,3	90,8223	849	9,3	61,76

Таблица 22. Топ-14 стран с населением от 100 до 400 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в музыке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число музыкальных релизов [7]	Использование интеллектуального потенциала в музыке, UIPS (music), релизов на млн чел.	Относительный процент, %
1	США	99,74	347,7	7,590	58473	7703,6	100,00
2	Япония	106,40	122,9	7,106	10766	1515,0	19,67
3	Мексика	95,51	132,2	1,420	2030	1429,4	18,55
4	Россия	103,16	143,8	5,289	6441	1217,8	15,81
5	Индонезия	93,18	286,2	2,018	975	483,2	6,27
6	Бразилия	92,92	213,0	1,4309	384,09	268,4	3,48
7	Филиппины	96,66	117,0	1,535	196	127,7	1,66
8	Демократическая Республика Конго	88,01	113,6	0,291	7	24,1	0,31
9	Нигерия	91,35	238,7	1,191	24	20,2	0,26
10	Вьетнам	100,12	101,7	2,358	43	18,2	0,24
11	Эфиопия	95,09	136,3	1,359	11	8,1	0,11
12	Египет	97,21	118,7	1,710	12	7,0	0,09
13	Пакистан	93,25	256,1	1,829	7	3,8	0,05
14	Бангладеш	96,46	176,2	2,233	6	2,7	0,03

Таблица 23. Топ-27 стран с населением от 300 до 100 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в музыке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число музыкальных релизов [7]	Использование интеллектуального потенциала в музыке, UIPS (music), релизов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Великобритания	99,68	69,6	1,505	32488	21587,7	100,00
2	Германия	99,64	83,9	1,803	23860	13236,5	61,31
3	Италия	100,84	59,0	1,531	12563	8206,2	38,01
4	Франция	101,42	66,7	1,892	11080	5855,7	27,13
5	Польша	99,35	38,0	0,779	4476	5743,1	26,60
6	Испания	102,30	47,9	1,552	8070	5200,2	24,09
7	Канада	101,65	40,2	1,181	5332	4514,7	20,91
8	Украина	95,38	39,3	0,413	1409	3414,7	15,82
9	Аргентина	94,39	45,9	0,404	1069	2647,1	12,26
10	Колумбия	93,17	53,6	0,377	689	1826,5	8,46
11	Южная Корея	106,43	51,6	2,996	1294	432,0	2,00
12	Малайзия	100,48	36,1	0,886	339	382,8	1,77
13	Турция	99,07	87,7	1,719	563	327,5	1,52
14	Южная Африка	94,11	64,9	0,543	170	313,2	1,45
15	Перу	99,37	34,6	0,712	195	273,9	1,27
16	Уганда	89,89	51,7	0,194	46	237,4	1,10
17	Таиланд	101,52	71,6	2,062	122	59,2	0,27
18	Кения	91,22	57,8	0,281	11	39,1	0,18
19	Ангола	85,33	39,3	0,057	2	35,1	0,16
20	Гана	90,25	35,2	0,142	4	28,2	0,13
21	Марокко	96,78	38,5	0,516	7	13,6	0,06
22	Ирак	93,99	47,2	0,386	4	10,4	0,05
23	Иран	106,30	92,6	5,283	47	8,9	0,04
24	Саудовская Аравия	93,95	34,7	0,282	2	7,1	0,03
25	Мадагаскар	94,80	32,9	0,312	2	6,4	0,03
26	Узбекистан	96,79	37,2	0,499	3	6,0	0,03
27	Алжир	97,01	47,6	0,663	3	4,5	0,02

Таблица 24. Топ-24 стран с населением от 10 до 30 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в музыке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число музыкальных релизов [7]	Использование интеллектуального потенциала в музыке, UIPS (music), релизов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Нидерланды	99,72	18,4	0,400	13163	32874,6	100,00
2	Швеция	98,49	10,7	0,191	2972	15573,7	47,37
3	Бельгия	100,11	11,8	0,273	3593	13153,6	40,01
4	Португалия	99,34	10,4	0,213	1997	9377,4	28,52
5	Чешская Республика	99,73	10,6	0,231	1696	7340,9	22,33
6	Австралия	102,57	27,0	0,911	4187	4598,2	13,99
7	Чили	95,38	19,9	0,209	879	4206,9	12,80
8	Румыния	96,31	18,9	0,2335	879	3765,2	11,45
9	Боливия	92,76	12,6	0,082	96	1168,5	3,55
10	Казахстан	97,17	20,9	0,299	121	404,6	1,23
11	Эквадор	95,00	18,3	0,180	69	384,1	1,17
12	Доминиканская Республика	90,06	11,5	0,045	14	314,1	0,96
13	Венесуэла	91,02	28,5	0,133	32	239,9	0,73
14	Гватемала	91,29	18,7	0,092	21	227,8	0,69
15	ОАЭ	96,80	11,4	0,153	24	156,7	0,48
16	Тунис	97,51	12,4	0,188	28	149,0	0,45
17	Тайвань	107,10	23,0	1,4587	184	126,1	0,38
18	Иордания	96,71	11,5	0,152	14	92,0	0,28
19	Гондурас	90,53	11,0	0,047	3	64,1	0,20
20	Куба	96,02	10,9	0,128	5	39,1	0,12
21	Сенегал	88,27	19,0	0,051	2	39,0	0,12
22	Зимбабве	90,21	17,0	0,068	2	29,5	0,09
23	Азербайджан	98,71	10,4	0,192	5	26,0	0,08
24	Шри-Ланка	102,02	23,3	0,724	6	8,3	0,03

Таблица 25. Топ-31 стран с населением от 3 до 10 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в музыке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число музыкальных релизов [7]	Использование интеллектуального потенциала в музыке, UIPS (music), релизов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Греция	100,07	9,9	0,228	5629	24717,7	100,00
2	Дания	97,94	6,0	0,098	1862	19055,9	77,09
3	Финляндия	100,30	5,6	0,134	2516	18836,6	76,21
4	Норвегия	98,52	5,6	0,100	1809	18023,4	72,92
5	Ирландия	98,32	5,3	0,092	808	8790,4	35,56
6	Венгрия	99,46	9,6	0,200	1646	8213,5	33,23
7	Швейцария	100,75	9,0	0,230	1864	8094,1	32,75
8	Австрия	99,65	9,1	0,196	1230	6281,1	25,41
9	Хорватия	99,17	3,8	0,076	378	4992,8	20,20
10	Пуэрто-Рико	90,94	3,2	0,015	61	4137,6	16,74
11	Словакия	99,76	5,4	0,118	469	3965,9	16,04
12	Болгария	97,79	6,7	0,106	414	3890,3	15,74
13	Уругвай	95,01	3,4	0,033	124	3709,1	15,01
14	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,166	505	3039,5	12,30
15	Молдова	97,32	3,0	0,044	123	2793,3	11,30
16	Сербия	100,86	6,7	0,174	448	2569,0	10,39
17	Израиль	99,07	9,5	0,1862	403	2163,9	8,75
18	Коста-Рика	94,15	5,2	0,044	86	1963,2	7,94
19	Грузия	100,59	3,8	0,095	112	1180,9	4,78
20	Панама	90,49	4,6	0,019	21	1082,0	4,38
21	Беларусь	101,47	9,0	0,257	169	656,9	2,66
22	Сингапур	105,14	5,9	0,287	169	587,9	2,38
23	Парагвай	90,76	7,0	0,031	9	289,0	1,17
24	Босния и Герцеговина	97,62	3,1	0,048	12	250,7	1,01
25	Сальвадор	91,07	6,3	0,030	6	201,6	0,82
26	Монголия	102,86	3,5	0,123	19	154,2	0,62
27	Ливан	99,39	5,9	0,122	18	147,8	0,60
28	Никарагуа	88,70	7,0	0,021	2	96,9	0,39
29	Республика Конго	88,01	6,5	0,017	1	60,1	0,24
30	Лаос	92,05	7,9	0,045	2	44,4	0,18
31	Катар	94,77	3,1	0,029	1	34,2	0,14

Таблица 26. Топ-9 стран с населением от 1 до 3 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в музыке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число музыкальных релизов [7]	Использование интеллектуального потенциала в музыке, UIPS (music), релизов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Эстония	99,39	1,3	0,027	726	27054,7	100,00
2	Северная Македония	97,59	1,8	0,028	483	17469,1	64,57
3	Литва	98,67	2,8	0,051	465	9040,9	33,42
4	Словения	101,96	2,1	0,065	469	7253,9	26,81
5	Латвия	98,84	1,8	0,034	240	7060,2	26,10
6	Кипр	98,51	1,4	0,025	32	1277,4	4,72
7	Армения	102,58	2,9	0,098	22	224,6	0,83
8	Албания	97,19	2,8	0,040	7	174,1	0,64
9	Бахрейн	94,04	1,7	0,014	1	71,2	0,26

Таблица 27. Топ-4 стран с населением до 1 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в музыке в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число музыкальных релизов [7]	Использование интеллектуального потенциала в музыке, UIPS (music), релизов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Исландия	99,99	0,4	0,009	441	48538,1	100,00
2	Мальта	99,19	0,5	0,010	90	9005,5	18,55
3	Люксембург	100,00	0,7	0,016	70	4395,6	9,06
4	Черногория	98,65	0,6	0,011	13	1183,4	2,44

§13. Топ-102 стран по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году

В таблице 28 сравниваются 102 страны мира друг с другом, а в таблицах 29, 30, 31, 32, 33, 34 и 35 сравниваются аналогичные по численности населения страны.

Таблица 28. Топ-102 стран мира по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число выпущенных фильмов [5]	Использование интеллектуального потенциала в кино-искусстве, UIPS (movies), фильмов на млн чел.
1	Исландия	99,99	0,4	0,009	7	770,45
2	Люксембург	100,00	0,7	0,016	11	690,74
3	Ирландия	98,32	5,3	0,092	37	402,53
4	Катар	94,77	3,1	0,029	9	308,19
5	Дания	97,94	6,0	0,098	30	307,02
6	Норвегия	98,52	5,6	0,100	30	298,90
7	Португалия	99,34	10,4	0,213	57	267,66
8	Финляндия	100,30	5,6	0,134	33	247,06
9	Франция	101,42	66,7	1,892	425	224,61
10	Чешская Республика	99,73	10,6	0,231	50	216,42
11	Швеция	98,49	10,7	0,191	40	209,61
12	Словакия	99,76	5,4	0,118	23	194,49
13	Великобритания	99,68	69,6	1,505	282	187,38
14	Румыния	96,31	18,9	0,233	43	184,19
15	Бельгия	100,11	11,8	0,273	48	175,72
16	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,166	28	168,53
17	Хорватия	99,17	3,8	0,076	12	158,50
18	Панама	90,49	4,6	0,019	3	154,57
19	Испания	102,30	47,9	1,552	239	154,01
20	Эстония	99,39	1,3	0,027	4	149,06
21	США	99,74	347,7	7,590	1119	147,42
22	Нидерланды	99,72	18,4	0,400	59	147,35
23	Италия	100,84	59,0	1,531	219	143,05
24	Швейцария	100,75	9,0	0,230	29	125,93
25	Германия	99,64	83,9	1,803	223	123,71
26	Канада	101,65	40,2	1,181	144	121,93
27	Турция	99,07	87,7	1,719	207	120,40
28	Латвия	98,84	1,8	0,034	4	117,67
29	Доминиканская Республика	90,06	11,5	0,045	5	112,17
30	Австралия	102,57	27,0	0,911	98	107,63
31	Мальта	99,19	0,5	0,010	1	100,06
32	Австрия	99,65	9,1	0,196	19	97,02
33	Черногория	98,65	0,6	0,011	1	91,03
34	Бразилия	92,92	213,0	1,431	129	90,15
35	Венгрия	99,46	9,6	0,200	18	89,82
36	Южная Корея	106,43	51,6	2,996	261	87,13
37	Кипр	98,51	1,4	0,025	2	79,84
38	Сербия	100,86	6,7	0,174	13	74,55
39	Аргентина	94,39	45,9	0,404	28	69,33

40	Пуэрто-Рико	90,94	3,2	0,015	1	67,83
41	Болгария	97,79	6,7	0,106	7	65,78
42	Босния и Герцеговина	97,62	3,1	0,048	3	62,69
43	Чили	95,38	19,9	0,209	13	62,22
44	Израиль	99,07	9,5	0,186	11	59,06
45	Сенегал	88,27	19,0	0,051	3	58,45
46	Литва	98,67	2,8	0,051	3	58,33
47	Мексика	95,51	132,2	1,420	72	50,70
48	Коста-Рика	94,15	5,2	0,044	2	45,66
49	Греция	100,07	9,9	0,228	10	43,91
50	Польша	99,35	38,0	0,779	34	43,63
51	Южная Африка	94,11	64,9	0,543	19	35,01
52	Сальвадор	91,07	6,3	0,030	1	33,59
53	Россия	103,16	143,8	5,289	174	32,90
54	Парагвай	90,76	7,0	0,031	1	32,11
55	Сингапур	105,14	5,9	0,287	9	31,31
56	Словения	101,96	2,1	0,065	2	30,93
57	Уругвай	95,01	3,4	0,033	1	29,91
58	Непал	97,07	29,6	0,416	12	28,81
59	Саудовская Аравия	93,95	34,7	0,282	8	28,38
60	Того	89,94	9,8	0,037	1	26,96
61	Колумбия	93,17	53,6	0,377	9	23,86
62	Молдова	97,32	3,0	0,044	1	22,71
63	Грузия	100,59	3,8	0,095	2	21,09
64	Индонезия	93,18	286,2	2,018	42	20,81
65	Япония	106,40	122,9	7,106	146	20,55
66	Кувейт	95,02	5,0	0,049	1	20,30
67	Казахстан	97,17	20,9	0,299	6	20,06
68	Камерун	89,94	30,0	0,114	2	17,61
69	Ангола	85,33	39,3	0,057	1	17,54
70	Ливан	99,39	5,9	0,122	2	16,42
71	Монголия	102,86	3,5	0,123	2	16,23
72	Тайвань	107,10	23,0	1,4587	22	15,08
73	Украина	95,38	39,3	0,413	6	14,54
74	Кыргызстан	94,85	7,3	0,070	1	14,33
75	Камбоджа	93,97	17,9	0,146	2	13,70
76	Иордания	96,71	11,5	0,152	2	13,14
77	ОАЭ	96,80	11,4	0,153	2	13,06
78	Индия	99,08	1466,9	28,803	336	11,67
79	Марокко	96,78	38,5	0,516	6	11,64
80	Филиппины	96,66	117,0	1,535	17	11,08
81	Гватемала	91,29	18,7	0,092	1	10,85
82	Таиланд	101,52	71,6	2,062	22	10,67
83	Армения	102,58	2,9	0,098	1	10,21
84	Малайзия	100,48	36,1	0,886	7	7,90
85	Куба	96,02	10,9	0,128	1	7,81
86	Нигерия	91,35	238,7	1,191	9	7,56
87	Кения	91,22	57,8	0,281	2	7,11
88	Гана	90,25	35,2	0,142	1	7,06

89	Йемен	93,30	42,0	0,303	2	6,61
90	Пакистан	93,25	256,1	1,829	12	6,56
91	Перу	99,37	34,6	0,712	4	5,62
92	Тунис	97,51	12,4	0,188	1	5,32
93	Вьетнам	100,12	101,7	2,358	12	5,09
94	Египет	97,21	118,7	1,710	8	4,68
95	Китай	107,19	1415,3	90,822	415	4,57
96	Танзания	89,40	71,0	0,241	1	4,14
97	Беларусь	101,47	9,0	0,257	1	3,89
98	Мадагаскар	94,80	32,9	0,312	1	3,21
99	Шри-Ланка	102,02	23,3	0,724	2	2,76
100	Бангладеш	96,46	176,2	2,233	5	2,24
101	Иран	106,30	92,6	5,283	9	1,70
102	Алжир	97,01	47,6	0,663	1	1,51

Таблица 29. Топ-2 стран с населением от 400 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число выпущенных фильмов [5]	Использование интеллектуального потенциала в киноискусстве, UIPS (movies), фильмов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Индия	99,08	1466,9	28,803	336	11,67	100,0
2	Китай	107,19	1415,3	90,822	415	4,57	39,2

Таблица 30. Топ-12 стран с населением от 100 до 400 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число выпущенных фильмов [5]	Использование интеллектуального потенциала в киноискусстве, UIPS (movies), фильмов на млн чел.	Относительный процент, %
1	США	99,74	347,7	7,590	1119	147,42	100,0
2	Бразилия	92,92	213,0	1,431	129	90,15	61,2
3	Мексика	95,51	132,2	1,420	72	50,70	34,4
4	Россия	103,16	143,8	5,289	174	32,90	22,3

5	Индонезия	93,18	286,2	2,018	42	20,81	14,1
6	Япония	106,40	122,9	7,106	146	20,55	13,9
7	Филиппины	96,66	117,0	1,535	17	11,08	7,5
8	Нигерия	91,35	238,7	1,191	9	7,56	5,1
9	Пакистан	93,25	256,1	1,829	12	6,56	4,4
10	Вьетнам	100,12	101,7	2,358	12	5,09	3,5
11	Египет	97,21	118,7	1,710	8	4,68	3,2
12	Бангладеш	96,46	176,2	2,233	5	2,24	1,5

Таблица 31. Топ-27 стран с населением от 30 до 100 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число выпущенных фильмов [5]	Использование интеллектуального потенциала в киноискусстве, UIPS (movies), фильмов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Франция	101,42	66,7	1,892	425	224,61	100,0
2	Великобритания	99,68	69,6	1,505	282	187,38	83,4
3	Испания	102,30	47,9	1,552	239	154,01	68,6
4	Италия	100,84	59,0	1,531	219	143,05	63,7
5	Германия	99,64	83,9	1,803	223	123,71	55,1
6	Канада	101,65	40,2	1,181	144	121,93	54,3
7	Турция	99,07	87,7	1,719	207	120,40	53,6
8	Южная Корея	106,43	51,6	2,996	261	87,13	38,8
9	Аргентина	94,39	45,9	0,404	28	69,33	30,9
10	Польша	99,35	38,0	0,779	34	43,63	19,4
11	Южная Африка	94,11	64,9	0,543	19	35,01	15,6
12	Саудовская Аравия	93,95	34,7	0,282	8	28,38	12,6
13	Колумбия	93,17	53,6	0,377	9	23,86	10,6
14	Камерун	89,94	30,0	0,114	2	17,61	7,8
15	Ангола	85,33	39,3	0,057	1	17,54	7,8
16	Украина	95,38	39,3	0,413	6	14,54	6,5
17	Марокко	96,78	38,5	0,516	6	11,64	5,2
18	Таиланд	101,52	71,6	2,062	22	10,67	4,7
19	Малайзия	100,48	36,1	0,886	7	7,90	3,5
20	Кения	91,22	57,8	0,281	2	7,11	3,2
21	Гана	90,25	35,2	0,142	1	7,06	3,1
22	Йемен	93,30	42,0	0,303	2	6,61	2,9
23	Перу	99,37	34,6	0,712	4	5,62	2,5
24	Танзания	89,40	71,0	0,241	1	4,14	1,8
25	Мадагаскар	94,80	32,9	0,312	1	3,21	1,4
26	Иран	106,30	92,6	5,283	9	1,70	0,8
27	Алжир	97,01	47,6	0,663	1	1,51	0,7

Таблица 32. Топ-20 стран с населением от 10 до 30 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число выпущенных фильмов [5]	Использование интеллектуального потенциала в киноискусстве, UIPS (movies), фильмов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Португалия	99,34	10,4	0,213	57	267,66	100,0
2	Чешская Республика	99,73	10,6	0,231	50	216,42	80,9
3	Швеция	98,49	10,7	0,191	40	209,61	78,3
4	Румыния	96,31	18,9	0,233	43	184,19	68,8
5	Бельгия	100,11	11,8	0,273	48	175,72	65,7
6	Нидерланды	99,72	18,4	0,400	59	147,35	55,1
7	Доминиканская Республика	90,06	11,5	0,045	5	112,17	41,9
8	Австралия	102,57	27,0	0,911	98	107,63	40,2
9	Чили	95,38	19,9	0,209	13	62,22	23,2
10	Сенегал	88,27	19,0	0,051	3	58,45	21,8
11	Непал	97,07	29,6	0,416	12	28,81	10,8
12	Казахстан	97,17	20,9	0,299	6	20,06	7,5
13	Тайвань	107,10	23,0	1,4587	22	15,08	5,6
14	Камбоджа	93,97	17,9	0,146	2	13,70	5,1
15	Иордания	96,71	11,5	0,152	2	13,14	4,9
16	ОАЭ	96,80	11,4	0,153	2	13,06	4,9
17	Гватемала	91,29	18,7	0,092	1	10,85	4,1
18	Куба	96,02	10,9	0,128	1	7,81	2,9
19	Тунис	97,51	12,4	0,188	1	5,32	2,0
20	Шри-Ланка	102,02	23,3	0,724	2	2,76	1,0

Таблица 33. Топ-31 стран с населением 3 до 10 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число выпущенных фильмов [5]	Использование интеллектуального потенциала в киноискусстве, UIPS (movies), фильмов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Ирландия	98,32	5,3	0,092	37	402,53	100,0
2	Катар	94,77	3,1	0,029	9	308,19	76,6

3	Дания	97,94	6,0	0,098	30	307,02	76,3
4	Норвегия	98,52	5,6	0,100	30	298,90	74,3
5	Финляндия	100,30	5,6	0,134	33	247,06	61,4
6	Словакия	99,76	5,4	0,118	23	194,49	48,3
7	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,166	28	168,53	41,9
8	Хорватия	99,17	3,8	0,076	12	158,50	39,4
9	Панама	90,49	4,6	0,019	3	154,57	38,4
10	Швейцария	100,75	9,0	0,230	29	125,93	31,3
11	Австрия	99,65	9,1	0,196	19	97,02	24,1
12	Венгрия	99,46	9,6	0,200	18	89,82	22,3
13	Сербия	100,86	6,7	0,174	13	74,55	18,5
14	Пуэрто-Рико	90,94	3,2	0,015	1	67,83	16,9
15	Болгария	97,79	6,7	0,106	7	65,78	16,3
16	Босния и Герцеговина	97,62	3,1	0,048	3	62,69	15,6
17	Израиль	99,07	9,5	0,186	11	59,06	14,7
18	Коста-Рика	94,15	5,2	0,044	2	45,66	11,3
19	Греция	100,07	9,9	0,228	10	43,91	10,9
20	Сальвадор	91,07	6,3	0,030	1	33,59	8,3
21	Парагвай	90,76	7,0	0,031	1	32,11	8,0
22	Сингапур	105,14	5,9	0,287	9	31,31	7,8
23	Уругвай	95,01	3,4	0,033	1	29,91	7,4
24	Того	89,94	9,8	0,037	1	26,96	6,7
25	Молдова	97,32	3,0	0,044	1	22,71	5,6
26	Грузия	100,59	3,8	0,095	2	21,09	5,2
27	Кувейт	95,02	5,0	0,049	1	20,30	5,0
28	Ливан	99,39	5,9	0,122	2	16,42	4,1
29	Монголия	102,86	3,5	0,123	2	16,23	4,0
30	Кыргызстан	94,85	7,3	0,070	1	14,33	3,6
31	Беларусь	101,47	9,0	0,257	1	3,89	1,0

Таблица 34. Топ-6 стран с населением от 1 до 3 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число выпущенных фильмов [5]	Использование интеллектуального потенциала в киноискусстве, UIPS (movies), фильмов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Эстония	99,39	1,3	0,027	4	149,06	100,0
2	Латвия	98,84	1,8	0,034	4	117,67	78,9
3	Кипр	98,51	1,4	0,025	2	79,84	53,6
4	Литва	98,67	2,8	0,051	3	58,33	39,1
5	Словения	101,96	2,1	0,065	2	30,93	20,8
6	Армения	102,58	2,9	0,098	1	10,21	6,8

Таблица 35. Топ-4 стран с населением до 1 млн чел. по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число выпущенных фильмов [5]	Использование интеллектуального потенциала в киноискусстве, UIPS (movies), фильмов на млн чел.	Относительный процент, %
1	Исландия	99,99	0,4	0,009	7	770,45	100,0
2	Люксембург	100,00	0,7	0,016	11	690,74	89,7
3	Мальта	99,19	0,5	0,010	1	100,06	13,0
4	Черногория	98,65	0,6	0,011	1	91,03	11,8

§14. Использование интеллектуального потенциала в книгоиздательстве в 2022-2024 годах: топ-68 стран по книгам, помещенных в депозитарию, и топ-35 стран по количеству изданных наименований книг

WIPO дает данные по книгоизданию в мире по двум вариантам – по числу книг, помещенных в депозитарию, и по числу изданных книг, поэтому в таблицах 36 и 37 даны результаты по двум вариантам расчета использования интеллектуального потенциала в книгоиздательстве.

Таблица 36. Топ-68 стран по использованию интеллектуального потенциала в книгоиздании, вариант №1 (по числу книг, помещенных в депозитарию) в 2022-2024 годах

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Число книг, помещенных в депозитарию [13, п. 17-18]	Использование интеллектуального потенциала в книгоиздательстве, UIPS (books, variant №1), книг на млн чел.	Относительный процент, %
1	Дания	97,94	6,0	0,0977	90080	921890	100,0
2	Исландия	99,99	0,4	0,0091	4718	519281	56,3
3	Албания	97,19	2,8	0,0402	15080	375075	40,7
4	Германия	99,64	83,9	1,8026	401197	222567	24,1
5	Финляндия	100,30	5,6	0,1336	29650	221982	24,1
6	Эстония	99,39	1,3	0,0268	5715	212972	23,1
7	Литва	98,67	2,8	0,0514	9443	183599	19,9
8	Люксембург	100,00	0,7	0,0159	2607	163704	17,8
9	Норвегия	98,52	5,6	0,1004	14735	146808	15,9
10	Словения	101,96	2,1	0,0647	8713	134761	14,6
11	Черногория	98,65	0,6	0,0110	1448	131812	14,3
12	Венгрия	99,46	9,6	0,2004	25030	124900	13,5
13	Австрия	99,65	9,1	0,1958	22929	117089	12,7
14	Латвия	98,84	1,8	0,0340	3777	111109	12,1

15	Великобритания	99,68	69,6	1,5049	167000	110969	12,0
16	Коста-Рика	94,15	5,2	0,0438	4713	107589	11,7
17	Швеция	98,49	10,7	0,1908	18594	97435	10,6
18	Хорватия	99,17	3,8	0,0757	7354	97135	10,5
19	Маврикий	96,89	1,3	0,0177	1712	96511	10,5
20	Румыния	96,31	18,9	0,2335	19933	85384	9,3
21	Греция	100,07	9,9	0,2277	18765	82400	8,9
22	Чешская Республика	99,73	10,6	0,2310	18750	81157	8,8
23	Уругвай	95,01	3,4	0,0334	2593	77562	8,4
24	Сингапур	105,14	5,9	0,2875	21345	74248	8,1
25	Молдова	97,32	3,0	0,0440	3044	69128	7,5
26	Португалия	99,34	10,4	0,2130	14637	68732	7,5
27	Сербия	100,86	6,7	0,1744	11850	67952	7,4
28	Бельгия	100,11	11,8	0,2732	17422	63780	6,9
29	Испания	102,30	47,9	1,5518	98289	63337	6,9
30	Израиль	99,07	9,5	0,1862	11190	60085	6,5
31	Нидерланды	99,72	18,4	0,4004	23400	58442	6,3
32	Словакия	99,76	5,4	0,1183	6272	53036	5,8
33	Турция	99,07	87,7	1,7193	91145	53014	5,8
34	Польша	99,35	38,0	0,7794	40598	52091	5,7
35	Северная Македония	97,59	1,8	0,0276	1359	49152	5,3
36	Грузия	100,59	3,8	0,0948	4660	49133	5,3
37	Мальта	99,19	0,5	0,0100	471	47129	5,1
38	Чили	95,38	19,9	0,2089	9189	43979	4,8
39	Франция	101,42	66,7	1,8922	81909	43288	4,7
40	Панама	90,49	4,6	0,0194	804	41424	4,5
41	Иордания	96,71	11,5	0,1522	5924	38931	4,2
42	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,1661	6400	38520	4,2
43	Парагвай	90,76	7,0	0,0311	1109	35615	3,9
44	США	99,74	347,7	7,5904	264722	34876	3,8
45	Армения	102,58	2,9	0,0979	3280	33488	3,6
46	Южная Корея	106,43	51,6	2,9955	89110	29748	3,2
47	Азербайджан	98,71	10,4	0,1923	5433	28254	3,1
48	Малайзия	100,48	36,1	0,8857	22856	25806	2,8
49	Ирландия	98,32	5,3	0,0919	1864	20279	2,2
50	Япония	106,40	122,9	7,1062	113296	15943	1,7
51	Канада	101,65	40,2	1,1810	17539	14851	1,6
52	Бразилия	92,92	213,0	1,4309	21067	14723	1,6
53	Перу	99,37	34,6	0,7119	9645	13548	1,5
54	Аргентина	94,39	45,9	0,4038	5297	13117	1,4
55	Вьетнам	100,12	101,7	2,3580	29969	12710	1,4
56	Гана	90,25	35,2	0,1417	1389	9805	1,1
57	Эквадор	95,00	18,3	0,1796	1707	9503	1,0
58	Таиланд	101,52	71,6	2,0624	19351	9383	1,0
59	Алжир	97,01	47,6	0,6629	5375	8108	0,9
60	Уганда	89,89	51,7	0,1938	1523	7860	0,9
61	Кения	91,22	57,8	0,2812	2188	7782	0,8
62	Мексика	95,51	132,2	1,4202	6692	4712	0,5
63	Шри-Ланка	102,02	23,3	0,7239	3082	4258	0,5

64	Мьянма	97,37	54,9	0,8127	2461	3028	0,3
65	Узбекистан	96,79	37,2	0,4990	1387	2779	0,3
66	Кипр	98,51	1,4	0,0251	35	1397	0,2
67	Пакистан	93,25	256,1	1,8293	1911	1045	0,1
68	Филиппины	96,66	117,0	1,5349	1352	881	0,1

Таблица 37. Топ-35 стран по использованию интеллектуального потенциала в книгоиздании, вариант №2 (по количеству изданных наименований книг) в 2022-2024 годах

№	Страна	Средний IQ жителей страны [3]	Численность населения страны, млн чел. [4]	Интеллектуальный потенциал страны IPS, млн чел. с IQ больше 130 (из табл. 3)	Количество изданных наименований книг, [13, p.10]	Использование интеллектуального потенциала в книгоиздательстве, UIPS (books, variant №2), книг на млн чел.	Относительный процент, %
1	Норвегия	98,52	5,6	0,1004	66212	659684	100,0
2	Эстония	99,39	1,3	0,0268	5543	206563	31,3
3	Дания	97,94	6,0	0,0977	11859	121366	18,4
4	Турция	99,07	87,7	1,7193	206674	120211	18,2
5	Исландия	99,99	0,4	0,0091	1046	115127	17,5
6	Бразилия	92,92	213,0	1,4309	146575	102433	15,5
7	Великобритания	99,68	69,6	1,5049	153000	101666	15,4
8	Финляндия	100,3	5,6	0,1336	12390	92761	14,1
9	Венгрия	99,46	9,6	0,2004	16045	80064	12,1
10	Италия	100,84	59,0	1,5309	121127	79121	12,0
11	Австрия	99,65	9,1	0,1958	12157	62081	9,4
12	Франция	101,42	66,7	1,8922	111503	58929	8,9
13	Чешская Республика	99,73	10,6	0,2310	13413	58057	8,8
14	Греция	100,07	9,9	0,2277	13218	58042	8,8
15	Мальта	99,19	0,5	0,0100	571	57135	8,7
16	Испания	102,3	47,9	1,5518	83091	53543	8,1
17	Колумбия	93,17	53,6	0,3772	15411	40854	6,2
18	Украина	95,38	39,3	0,4126	16786	40680	6,2
19	Германия	99,64	83,9	1,8026	71524	39678	6,0
20	Швеция	98,49	10,7	0,1908	7475	39170	5,9
21	Бельгия	100,11	11,8	0,2732	10559	38655	5,9
22	Эквадор	95	18,3	0,1796	6600	36744	5,6
23	Беларусь	101,47	9,0	0,2573	8586	33374	5,1
24	Ирландия	98,32	5,3	0,0919	2162	23521	3,6
25	Южная Корея	106,43	51,6	2,9955	64657	21585	3,3
26	Ливан	99,39	5,9	0,1218	2500	20528	3,1
27	Россия	103,16	143,8	5,2890	81615	15431	2,3
28	Новая Зеландия	102,08	5,3	0,1661	2475	14896	2,3
29	Кыргызстан	94,85	7,3	0,0698	1003	14378	2,2
30	Мексика	95,51	132,2	1,4202	18589	13089	2,0
31	Куба	96,02	10,9	0,1280	1554	12138	1,8

32	Португалия	99,34	10,4	0,2130	2115	9932	1,5
33	Япония	106,4	122,9	7,1062	68429	9630	1,5
34	Таиланд	101,52	71,6	2,0624	16031	7773	1,2
35	Филиппины	96,66	117,0	1,5349	5792	3773	0,6

§15. Использование интеллектуального потенциала человечества в технике с 2015 по 2024 год

Для всего человечества процент тех людей, которые имеют IQ больше 130 равен 2,275%.

Таблица 38. Использование человечеством своего интеллектуального потенциала в области технического творчества с 2015 по 2024 год

№	Год	Численность человечества [11]	Число патентов, действующих в этом году, тыс. штук [14]	Использование человечеством своего интеллектуального потенциала в технике, UIPH (patents), патентов на млн чел.
1	2015	7470,5	11400,9	1526,1
2	2016	7558,6	12180,3	1611,4
3	2017	7645,6	13077,3	1710,4
4	2018	7729,9	13945,0	1804,0
5	2019	7811,3	14941,4	1912,8
6	2020	7887,0	15851,6	2009,8
7	2021	7954,4	16541,8	2079,6
8	2022	8021,4	17255,0	2151,1
9	2023	8091,7	18607,1	2299,5
10	2024	8162,0	19727,8	2417,0

§16. Использование интеллектуального потенциала человечества в киноискусстве с 2000 по 2023 год

Для всего человечества процент тех людей, которые имеют IQ больше 130 равен 2,275%.

Таблица 39. Использование человечеством своего интеллектуального потенциала в киноискусстве

№	Год	Численность человечества [11]	Число художественных фильмов, выпущенных в этом году, штук [9]	Использование человечеством своего интеллектуального потенциала в киноискусстве, UIPH (movies),	
				фильмов на млн чел.	фильмов на тыс. чел.
1	2000	6171,7	3803	0,6162	616,2
2	2001	6254,9	3801	0,6077	607,7
3	2002	6337,7	4012	0,6330	633,0
4	2003	6420,4	3896	0,6068	606,8
5	2004	6503,4	4228	0,6501	650,1
6	2005	6587,0	4848	0,7360	736,0
7	2006	6671,5	5279	0,7913	791,3
8	2007	6757,3	5484	0,8116	811,6
9	2008	6844,5	5559	0,8122	812,2
10	2009	6932,8	5755	0,8301	830,1
11	2010	7021,7	5831	0,8304	830,4
12	2011	7110,9	6128	0,8618	861,8
13	2012	7201,2	6785	0,9422	942,2
14	2013	7291,8	6872	0,9424	942,4

15	2014	7381,6	7393	1,0015	1001,5
16	2015	7470,5	7620	1,0200	1020,0
17	2016	7558,6	7902	1,0454	1045,4
18	2017	7645,6	8127	1,0630	1063,0
19	2018	7729,9	8516	1,1017	1101,7
20	2019	7811,3	9328	1,1942	1194,2
21	2020	7887,0	5656	0,7171	717,1
22	2021	7954,4	7827	0,9840	984,0
23	2022	8021,4	8833	1,1012	1101,2
24	2023	8091,7	9511	1,1754	1175,4

Выводы:

1. Введено понятие интеллектуального потенциала как количества человек с IQ выше 130 в исследуемой группе людей.

2. Рассчитан интеллектуальный потенциал человечества в некоторые моменты времени в течение последних 130 тыс. лет.

3. За последние 130 тысяч лет интеллектуальный потенциал человечества вырос примерно в 25000-70000 раз, а за последние 12000 лет интеллектуальный потенциал человечества вырос в 2100 раз.

3. Один год современного научного, технологического и культурного развития человечества соответствует 2000 годам развития людей, живших 12000 лет назад, а один год современного научного, технологического и культурного развития человечества соответствует 30 годам развития людей 1000 лет назад.

5. Чем выше численность человечества, тем выше размер нашего интеллектуального потенциала, а значит, и выше возможности в сфере науки, техники и искусства.

6. Рассчитан топ-126 стран мира по проценту людей с IQ больше 130 и топ-126 стран мира по интеллектуальному потенциалу на 2024 год.

7. Введено понятие использование интеллектуального потенциала в разных областях деятельности.

8. Рассчитан топ-120 стран по использованию интеллектуального потенциала в науке в 2024 году.

9. Рассчитан топ-98 стран по использованию интеллектуального потенциала в технике в 2024 году.

10. Рассчитан топ-111 стран по использованию интеллектуального потенциала в музыке в 2024 году.

11. Рассчитан топ-102 стран по использованию интеллектуального потенциала в киноискусстве в 2024 году.

12. Рассмотрено использование интеллектуального потенциала в книгоиздательстве в 2022-2024 годах: рассчитан топ-68 стран по книгам, помещенных в депозитарии и топ-35 стран по количеству изданных наименований книг.

13. Рассчитано использование интеллектуального потенциала человечества в технике с 2015 по 2024 год.

14. Рассчитано использование интеллектуального потенциала человечества в киноискусстве с 2000 по 2023 год.

Использованная литература:

1. Понтинг К. Всемирная история. Новый взгляд. [пер. с англ.]. М.: АСТ; Астрель, 2010.

2. 2025 Research Leaders: Leading countries/territories. The 2025 Research Leaders are based on Nature Index data from 1 January 2024 to 31 December 2024 // Nature Index. Springer Nature. URL: <https://www.nature.com/nature-index/country-outputs/generate/all/global> , column «Share 2024» (дата обращения: 06 октября 2025, on English).

3. Average IQ by Country (2025 update) // The Wayback Machine - Official International IQ test website (active since 2018). URL: https://web.archive.org/web/20250927161425/https://international-iq-test.com/en/test/IQ_by_country (дата обращения: 28 сентября 2025, on English).

4. Countries in the world by population (2025) // Source: Worldometer (www.Worldometers.info) Elaboration of data by United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2024 Revision <https://population.un.org/wpp/> (Medium-fertility variant). URL: <https://www.worldometers.info/world-population/population-by-country/> , column «Population 2025» (дата обращения: 28 сентября 2025, on English).

5. Country Breakdown for 2024 // The Numbers. Nash Information Services, LLC. URL: <https://www.the-numbers.com/movies/country-breakdown/2024> (дата обращения: 11 ноября 2025, on English).

6. DeSilva J, Fannin L, Cheney I, Claxton A, Ilieş I, Kittelberger J, Stibel J and Traniello J (2023) Human brains have shrunk: the questions are when and why. *Front. Ecol. Evol.* 11:1191274. doi: 10.3389/fevo.2023.1191274

7. Music from the year 2024 // Discogs. URL: <https://www.discogs.com/ru/search?q=&type=all&page=1&year=2024> (дата обращения: 10 ноября 2025, on English).

8. Per Sjödin, Agnes E Sjöstrand, Mattias Jakobsson, and Michael G B Blum. Resequencing Data Provide No Evidence for a Human Bottleneck in Africa during the Penultimate Glacial Period // *Molecular Biology and Evolution* · February 2012. P.13. DOI: 10.1093/molbev/mss061

9. Hancock D. (Omdia), Rousseau C., Slee J. and Wunsch-Vincent S. (WIPO). Global Film Production Hits Historic High, Surpassing Pre-Pandemic Levels. April 30, 2025 // WIPO. URL: <https://www.wipo.int/en/web/global-innovation-index/w/blogs/2025/global-film-production> (дата обращения: 02 декабря 2025, on English).

10. World Population Today. Wednesday, November 12, 2025 // Nations GEO, Education, Server 3. URL: <https://nationsgeo.com/population/> (дата обращения: 12 ноября 2025, on English).

11. World Population by Year // Worldometer. Elaboration of data by United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2024 Revision. (Medium-fertility variant). URL: <https://www.worldometers.info/world-population/world-population-by-year/> (дата обращения: 12 ноября 2025, on English).

12. World Intellectual Property Organization (WIPO) (2024). World Intellectual Property Indicators 2024. Geneva: WIPO. DOI: 10.34667/tind.50133 . Table A60. Patent applications by office and origin, 2023, column «Resident». P. 56-59 (дата обращения: 07 ноября 2025, on English).

13. World Intellectual Property Organization (2023). The Global Publishing Industry in 2022. Geneva: WIPO. DOI: 10.34667/tind.48714 (дата обращения: 28 октября 2025, on English).

14. World Intellectual Property Organization // WIPO IP Statistics Data Center. Indicator: IP rights in force. Patent. URL: <https://www3.wipo.int/ipstats/key-search/search-result?type=KEY&key=205> (дата обращения: 01 ноября 2025, on English).

UDC 351.077:004:35.07

Yesbossyn Aiym Dauletkhanqyzy

Master's student of Digital Public Administration,

Astana IT University

(Astana, Kazakhstan)

Scientific supervisor: Dyussenov Mergen Mirzayatovich**DIGITAL GOVERNMENT PLATFORMS IN PUBLIC ADMINISTRATION:
DECISION-MAKING MODELS IN SOUTH KOREA AND KAZAKHSTAN**

Annotation: This study examines national digital government platforms as instruments of public administration, drawing on a comparative analysis of South Korea's Government24 and Kazakhstan's eGov.kz. It explores how decision-making with incremental and user-centered adaptation shaped platform development and governance outcomes. Using qualitative case studies, we show that combining strategic planning with iterative, user-centered reforms enhances service integration, adoption, and digital government effectiveness, offering lessons for developing contexts.

Keywords: Digital government; e-government portals; decision-making models; GovTech; South Korea; Kazakhstan.

Introduction. Governments increasingly rely on digital government platforms to deliver public services, with national one-stop portals such as South Korea's Government24 and Kazakhstan's eGov.kz serving as core administrative gateways. Differences in platform performance and uptake reflect distinct political, administrative, and technological contexts. Decision-making models offer an analytical lens for understanding these differences. While rational planning emphasizes centralized design, incremental approaches focus on adaptation and learning. South Korea combined long-term strategic coordination with continuous incremental improvement, whereas Kazakhstan initially relied on top-down planning and later incorporated more adaptive and user-centered practices.

This study examines how these decision-making logics shaped digital government platforms in both countries, linking governance choices to service integration and user uptake, and deriving lessons for public administration in Kazakhstan and Central Asia.

Theoretical Frameworks

1.1 Classical decision-making models. Public administration is often explained through the rational comprehensive and incremental models. The rational model assumes fully informed, goal-oriented policymakers, while bounded rationality [1] and Lindblom's successive limited comparisons emphasize satisficing and small, iterative adjustments. In large IT systems, rational planning aligns with centralized sequential delivery, and incrementalism with pilots and iterative rollouts. A synthesis of both is necessary [2].

1.2 The Rational-Incremental Hybrid Model. This study adopts the Rational-Incremental Hybrid Model (Strategic Agility) as its core theoretical lens. The model conceptualizes decision-making as a blend of long-term rational planning and adaptive, feedback-driven implementation, assuming stable institutional architectures combined with responsiveness to technological and social change [2], [7].

The model is particularly relevant for national digital portals such as Government24 and eGov.kz. Effectiveness assessed through outcomes such as service availability, resilience, user satisfaction, and inclusion indicators [3], [4].

1.3 Digital-Era Governance and institutional integration. Digital-Era Governance (DEG) shifts attention from decision processes to institutional design, emphasizing reintegration of agencies, citizen-centered holism, and deep digitization [5], [6]. In digital portals, DEG appears through one-stop access, interoperability standards, and data-sharing frameworks. High integration increases operational risk, making monitoring, redundancy, and transparent performance reporting essential [4], [7].

1.4 Agile and Human-centered delivery. Strategic agility in delivery draws on agile methods and human-centered design. Agile approaches rely on short cycles and iterative reprioritization, while HCD embeds citizen perspectives through co-creation and usability testing [8]. Together, they operationalize incrementalism within structured governance [9]. For digital portals, this translates into iterative releases, data-informed prioritization, and user-journey-based design. South Korea and Kazakhstan increasingly institutionalize these practices through service standards and performance monitoring [10].

1.5 Platform governance and data-driven learning. Government portals are increasingly understood as platform ecosystems providing shared infrastructure such as digital identity, payments, data exchange, and APIs [11]. Data-driven governance supports continuous learning through analytics and user feedback, subject to safeguards for privacy and fairness [12], [13].

1.6 Strengths and weaknesses of the Rational-Incremental Hybrid model. The hybrid model supports complex digital reforms by combining coherent architecture with adaptive learning. Limitations arise from weak central coordination, over-centralization, or insufficient metrics, which can undermine effectiveness. Empirical analysis codes decision episodes to link hybrid mechanisms to service outcomes and resilience. [1], [2], [14].

The empirical analysis codes decision episodes in Government24 and eGov.kz against these mechanisms to assess their association with service availability, completion, satisfaction, and post-incident recovery.

Methodology. This study adopts a comparative qualitative case study design with process tracing to examine how decision-making models shaped the development of South Korea's Government24 and Kazakhstan's eGov.kz. Process tracing is used to identify causal mechanisms across key decision episodes, including system architecture, delivery approaches, crisis responses, and platform governance reforms [15].

The empirical analysis draws on triangulated qualitative sources, including official policy documents such as Korea's National Informatization Master Plans and Kazakhstan's Digital Kazakhstan program, complemented by peer-reviewed research and international benchmarks from the OECD and the World Bank [7], [3].

Decision-making models are operationalized through observable indicators. Rational approaches are reflected in centralized planning, while incremental and agile approaches emphasize adaptive implementation and feedback; platform governance is captured through shared digital infrastructure and coordination mechanisms.

Analysis of the case study

3.1 Applying the framework to the cases. The analysis codes decision episodes using the Rational-Incremental Hybrid Model. It focuses on architectural rationality, incremental adaptation, institutional integration, iterative delivery, platform governance, and data-driven

learning. These elements are identified through indicators such as enterprise architectures, phased rollouts, shared registries, APIs, and performance dashboards [3], [6], [7]. Findings are presented as mechanism-based links between empirical evidence and the theoretical framework.

3.2 South Korea: Decision-making in developing Government24. South Korea's digital government developed gradually from early administrative computerization to integrated national portals [16], [17]. While this expanded service coverage, it also created coordination and fragmentation problems [18].

Government24, launched in 2017, consolidated services into a single platform with shared infrastructure and cross-agency data exchange. This reflected rational, whole-of-government planning. Subsequent development followed an incremental path, including usability improvements, mobile expansion, and service integration, culminating in GOV24+ in 2025 [19].

The 2025 NIRS data center fire exposed risks linked to deep system integration and led to resilience and recovery reforms [20]. Korea's high ranking in the World Bank GovTech Maturity Index reflects strong platform architecture and delivery capacity [3]. However, centralized systems still raise governance and integrity concerns [4].

Overall, Government24 demonstrates the Rational-Incremental Hybrid Model by combining centralized design with continuous adaptation and post-crisis learning.

3.3 Kazakhstan: Decision-making in developing eGov.kz. Kazakhstan's e-government initially relied on centralized, rational planning. The first national program in 2005 aimed to modernize public administration [7]. eGov.kz evolved through successive stages toward a transformational, platform-based model. Early top-down reforms enabled rapid digitalization but underestimated citizen readiness and trust challenges [21]. Later reforms adopted incremental measures, including pilots, phased rollouts, and mobile-first delivery.

By the late 2010s, Kazakhstan embraced digital-era governance and GovTech principles, integrating public services with private platforms. By 2024, the country ranked 24th in the UN E-Government Development Index, serving over 11 million users.

Kazakhstan's experience reflects the Rational-Incremental Hybrid Model: rational planning built core infrastructure, while user-centered practices improved service uptake and adaptability.

4.1 Discussion and key findings. Three key findings emerge. First, architectural rationality without iterative delivery ensures initial coverage but limits user uptake and satisfaction, while incremental delivery without integrative architecture leads to fragmentation. Second, systems with institutionalized data-driven learning recover faster from shocks and improve performance more steadily. Third, context matters: high administrative capacity supports shared standards, while lower readiness requires capacity-building and assisted digital channels [3], [7].

4.2 Comparison of South Korea and Kazakhstan. South Korea and Kazakhstan followed different but converging paths. South Korea combined long-term strategic planning with continuous incremental adaptation [4]. Kazakhstan initially relied on a top-down rational model that enabled rapid progress but limited early uptake and trust. Over time, phased learning, user training, and mobile access improved sustainability and performance [2].

4.3 Theoretical and practical implications. The analysis confirms that no single decision-making model is sufficient for complex digital systems. Rational approaches provide structure, while incremental approaches support learning and flexibility [1], [14]. Effective digital

government therefore relies on hybrid strategies that combine planning with adaptive, user-centered, and data-driven practices [7].

Practical implications and lessons for Kazakhstan. Kazakhstan and other Central Asian countries can strengthen digital governance by combining long-term strategic planning with flexibility and regular data-informed review. Beyond technology, success depends on human capital, including digital skills, trust, and change management. Phased pilots, agile delivery, and user-centered design support service uptake, while platform-based ecosystems, shared infrastructure, and coordination mechanisms enhance scalability and resilience. Transparency and cybersecurity remain critical for sustaining public trust.

Conclusion. This study examined how decision-making models shaped the development of national digital government platforms in South Korea and Kazakhstan. South Korea combined long-term rational planning with continuous incremental improvement, while Kazakhstan moved from a top-down strategy toward more flexible and user-centered practices, reflecting differences in administrative capacity and societal readiness.

In both cases, digital government functions not only as a technical reform but also as a governance tool that supports transparency and accountability. Sustaining citizen trust requires attention to corruption risks, traceability, and open data. Overall, the findings confirm that effective digital transformation depends on combining strategic coordination with continuous learning. For Kazakhstan and Central Asia, the key lesson is to institutionalize adaptive, feedback-driven governance and treat digital government as a long-term process rather than a one-time reform.

References:

1. Simon, H. A. (1947/1997). *Administrative behavior* (4th ed.). Free Press.
2. Howlett, M., Ramesh, M., & Perl, A. (2020). *Studying public policy* (4th ed.). Oxford University Press.
3. World Bank. (2022). *GovTech maturity index: 2022 update – Trends in public sector digital transformation*. World Bank Group.
4. OECD. (2025a). *Digital government review of Korea: Harnessing digital and data to transform government*. OECD Digital Government Studies. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9defc197-en>
5. Dunleavy, P., Margetts, H., Bastow, S., & Tinkler, J. (2006). New public management is dead, long live digital-era governance. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 16(3), 467–494.
6. Dunleavy, P., Margetts, H., Bastow, S., & Tinkler, J. (2008). *Digital-era governance: IT corporations, the state, and e-government* (Rev. ed.). Oxford University Press.
7. OECD. (2020). *Digital government index: 2019 results*. OECD Public Governance Policy Papers, No. 03. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/4de9f5bb-en>
8. Office of Management and Budget & U.S. Digital Service. (2014). *TechFAR handbook for procuring digital services using agile processes*. Executive Office of the President.
9. OECD. (2021 & 2024). *Agile regulatory governance to harness innovation* (Recommendation, 2021) and *Moving ahead on the agile regulatory governance agenda* (2024 policy paper). OECD Publishing.
10. OECD. (2025b). OECD public governance scan of Kazakhstan: Toward a more agile, responsive and effective public administration. OECD Public Governance Reviews. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/f8298798-en>

11. O'Reilly, T. (2011). Government as a platform. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 6(1), 13–40.
12. OECD. (2019a). *A data-driven public sector*. OECD Publishing.
13. OECD. (2019b). *The path to becoming a data-driven public sector*. OECD Publishing.
14. Lindblom, C. E. (1959). The science of “muddling through.” *Public Administration Review*, 19(2), 79–88.
15. Beach, D., & Pedersen, R. B. (2016). *Process-tracing methods: Foundations and guidelines*. University of Michigan Press. (Open-access excerpt consulted)
16. OECD. (2005). *E-government for better government*. OECD Publishing.
17. Cheong, I. (2023). Digital government in the Republic of Korea. In ERIA (Ed.), *Digital government in Asia* (Ch. 6). ERIA.
18. United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA). (2024). Member States questionnaire (MSQ) 2024: Republic of Korea. UN E-Government Knowledgebase. <https://publicadministration.un.org>
19. Korea.net / Ministry of the Interior and Safety. (2025, July 10 or 22). All government services in one place – GOV24+ (GOV.KR) officially reopens; access to Bokjiro, Work24, and other services [Press release]. Korea.net.
20. Reuters. (2025, September 26–29). Fire at South Korea's National Information Resources Service data centre; restoration updates. Reuters.
21. United Nations Development Programme (UNDP). (2016). *National human development report 2016: Kazakhstan*. United Nations Development Programme.

UDC 351

Zheldibayev Madi Kalibekovich

Master's student

Digital Public Administration Department

Astana IT University

(Astana, Kazakhstan)

ASSESSING THE IMPACT OF IOT ON EFFICIENCY, TRANSPARENCY AND CITIZEN ENGAGEMENT IN URBAN GOVERNANCE: A MEASUREMENT FRAMEWORK FOR ASTANA AND ALMATY

Annotation: The essay proposes a measurement framework to evaluate the impact of IoT technologies on urban governance in the cities of Astana and Almaty. Based on the smart city and e-government literature, the study proposes three main outcome dimensions of IoT-enabled governance: operational efficiency, transparency, and citizen engagement. Based on each dimension, it suggests a set of tangible indicators that can be evaluated based on municipal open data, official reports, platform statistics, and survey results. A comparative case-study and mixed-methods design are discussed in order to demonstrate the applicability of the framework to the Kazakhstani context, using preliminary evidence from expert interviews, a citizen survey, and documentary analysis. This paper contends that the proposed framework can guide city governments' move from technology-driven narratives to evidence-based evaluation of the actual ways that IoT changes the delivery of public services and the government-citizens relationship.

Key words: Internet of Things (IoT), smart city, urban governance.

Introduction. With urbanization, the Internet of Things (IoT) has already started to be used to service public transportation, energy, safety and all such uses via sensor networks, connected devices and real-time platforms [1], [2]. These technologies are the crux of smart-city and digital-government initiatives, which are anticipated to deliver faster, more data-driven and citizen-centred public services [3], [8], [11]. In Kazakhstan, the “Digital Kazakhstan” project encourages the development of smart cities, and the state governments of Astana and Almaty already deploy IoT-based solutions in smart transport services, smart lighting, and online request systems [15]–[18].

Nonetheless, there are scant systematic findings investigating the impact on the effectiveness, transparency and citizen participation of urban government systems in Kazakhstan of IoT. Previous works primarily deal with technical schemes or large smart-city stories and relatively few evaluations of governance impacts in practice [6], [7], [10], [14]. This paper proposes a measurement tool for evaluating IoT-enabled urban governance in three dimensions: operational efficiency, transparency/accountability, and citizen engagement, tailored to Astana and Almaty, and evaluated with mixed empirical data sources from expert interviews, a focus group, an online survey, as well as open-data and documentary sources.

The article pursues the following research questions:

1. How can the impact of IoT-based urban services on efficiency, transparency and citizen engagement be operationalised in a measurement framework suitable for Astana and Almaty?
2. What does preliminary evidence from open data, expert views and citizen

perceptions suggest about the relative strengths and weaknesses of IoT-enabled urban governance in the two cities?

3. How can the proposed framework support decision-making on future IoT investments and governance reforms in Kazakhstan's cities?

By answering these questions, the article seeks to turn the conceptual and evaluative components of the thesis into a standalone scientific contribution that is both theoretically informed and practically usable.

2. Literature review and conceptual foundations

2.1 IoT and smart cities

The technical literature on the Internet of Things (IoT) emphasizes the architectural components of the IoT as sensing, communication, data processing and application layers [1], [3], emphasizing the scalability of connected devices to monitor highly complex environments like cities. Gubbi et al. define IoT as an “interconnection of sensing and actuating devices providing the ability to share information across platforms through a unified framework” [1]. In the urban environment, Zanella et al. reveal the role of such architectures in smart parking, environmental monitoring, waste management and public safety applications [2].

These works underscore the potential of IoT to provide continuous, granular data about urban processes that were previously opaque or measured only intermittently. But technology-centric stories have been challenged by scholars who emphasize that the impact of IoT in cities is rooted in institutional, social and political reality. Hollands suggests that most smart-city discourses are preoccupied with entrepreneurial and technocentric visions and inattentive to the question of inequality and governance [12]. Kitchin makes a case for a “real-time city,” but also cautions that large sensor networks and data analytics could further surveillance and power asymmetries if not carefully monitored [6]. It is this critical viewpoint that indicates the importance of considering more than the technical performance in assessing the IoT in cities.

2.2 Smart urban governance

A more sophisticated view has emerged regarding smart governance [8], [14], which takes us away from technocratic tools and focuses on how governments plan, manage and utilize digital tools when engaging citizens and other stakeholders. Meijer and Bolívar's review indicates that networked collaboration between public agencies, private firms, and civil society, data sharing, and co-creation practices underpin smart urban governance [8]. Scholl and Scholl propose a roadmap for smart governance that features elements of open data, participation, cooperation across sectors, and evidence-based policymaking [14].

In e-governance, Gil-Garcia emphasizes that “being smart” for the public sector implies more than just new innovative technologies, but, rather, changing organisational processes and accountability mechanisms [11]. The e-government studies published by the United Nations also highlight the necessity of evaluating digital transformation in such ways, that is focusing on service quality, participation and institutional capacity, rather than only the availability of online services [15].

For Kazakhstan, research indicates both big progress and enduring gaps. Bokayev notes that digital portals and mobile apps increased the access to public services, however interoperability, cybersecurity and public trust continue to have challenges [18]. Although UNECE's smart-sustainable-city profile of Almaty suggests a number of promising transport and environmental initiatives, there are also concerns for improved governance structures and performance metrics [16].

2.3 Citizen engagement and critical perspectives

In recent literature attention has turned from “technology in the city” to the participation of citizens in shaping smart-city agendas. Nam and Pardo frame smart cities as including three interacting dimensions at the same time: technology, people and institutions, arguing that citizen skills and institutional arrangements are as important as devices and infrastructure [9]. Cardullo and Kitchin develop a “scaffold” of smart-city citizenship ranging from consumerist models, where residents are mainly data providers, to more substantive models that involve co-creation and rights-based participation [13].

These works echo other criticisms that smart-city projects reproduce existing inequalities and leave marginalised groups with little voice [12], [13]. Examining with a focus on only efficiency improvements raises the issue of whether the IoT deployments really enhance democratic governance or merely improve service delivery to already connected populations.

2.4 Towards a measurement framework

From these threads of literature we observe three outcome dimensions that stand out as critical for evaluating the public value of IoT in cities:

- **Operational efficiency** – improved use of resources, faster and more reliable service delivery, and reduced costs enabled by automation and real-time monitoring [1], [2], [10], [19].
- **Transparency and accountability** – openness of IoT-generated data, clarity of rules for data use, and visibility of government decisions based on sensor data [6], [11], [14], [15].
- **Citizen engagement** – opportunities for residents to interact with IoT-enabled services, provide feedback, participate in decision-making and influence design and oversight [8], [9], [13].

The majority of the available evaluations can emphasize either one or two of these aspects. Efficiency-focused technical indicators; transparency-oriented open-data indices; engagement-level measures separately belong to participation indices [15], [17]. There is relatively little work that integrates all three into an operational model that is tailor-made for IoT-driven urban governance, especially in post-Soviet or Central Asian contexts. This article responds to that gap by designing such a framework and adapting it to the cases of Astana and Almaty.

3. Methodology

The article is based on a comparative case-study design and investigates Astana and Almaty as Kazakhstan’s two biggest and most digitally developed cities. Both join national smart-city initiatives and Digital Kazakhstan and are rolling out IoT-based solutions in key areas such as intelligent transport, smart lighting, and digital incident reporting, although their respective institutional histories, administrative systems, and socio-economic profiles are different [10], [15]. The comparison serves to see how comparable forms of technology agendas operate within distinct local conditions. The study is from a mixed-methods methodology.

For quality purposes, it is based on semi-structured expert interviews with (1) the head of a university smart-city/IoT lab, (2) one from city administration in charge of digitalisation and (3) a manager of an IoT-enabled utility or public-service provider. These interviews target perceived benefits, bottlenecks, governance arrangements and data-management practices. A new focus group with civil engineering students further looks at how young urban professionals interpret IoT projects, risks and fairness in service delivery and uses the expert assessment as a supplement to user-centric understanding [8], [13], [14].

Quantitatively, the study relies on an online citizen survey to assess preliminary indicators

that are associated with engagement and trust (e.g. utilisation of smart-services and perceived responsiveness, and confidence with municipal data use) and descriptive statistics from open-data portals, municipal reports and national e-government assessments [2], [10], [15]. These sources are applied to the indicator being proposed for efficiency, transparency and engagement. Given the exploratory character of the framework, the analysis is based on descriptive statistics and cross-city comparison of single cities rather than econometric modelling. Indicators are normalized in a 0–1 format where appropriate and aggregated by dimension to build profiles, not to generate a single composite score [11], [14].

It is thematic coding of qualitative materials based on institutional, legal and cultural factors contributing to observations of difference in indicator values [6], [8]. The design has been made aware of limitations like incomplete data series, non-representative population of surveys and limited access to internal administrative statistics, and findings should be treated as indicative patterns rather than definitive rankings.

4. Measurement framework

4.1 Conceptual model

The conceptual framework is grounded in a theoretical framework that conceptualizes the IoT as an integrated socio-technical system of urban governance. IoT infrastructure (sensors, networks, platforms) produces real-time data about urban processes. These data are processed in organizational mechanisms of administration in the course of city decision-making—including decision-making patterns, inter-agency coordination, and performance management—and influenced by legal, ethical and cultural norms regarding privacy, security and participation [6], [8], [11]. These components' interaction creates outcomes in three dimensions:

- Increased operational efficiency of services;
- Increased transparency and accountability of decisions on sensor data;
- Increased citizen involvement in urban service and policy decisions.

Crucially, the model also suggests that a high technical level of maturity of the IoT system does not necessarily lead to positive results if the institutional conditions are not strong, legal frameworks are unclear or citizen trust is poor [6], [8], [13].

4.2 Indicators

These three tables translate the conceptual dimensions of IoT-enabled urban governance into concrete, measurable indicators that can be applied to Astana and Almaty.

Table 1. Indicators for operational efficiency of IoT-enabled urban services

Code	Indicator	Brief description	Unit & desired direction	Main data source
E1	Processing time for IoT-supported service requests	Average time from submission to resolution for selected services handled digital/IoT platforms	Hours/days – lower is better	Municipal performance reports; service logs
E2	Automation rate	Share of service requests resolved automatically thanks to IoT-based detection or workflows	% of all requests – higher is better	Internal IT statistics; project documentation

E3	System reliability	Uptime of key IoT systems	% uptime per year – higher is better	Technical operation reports; vendor SLAs
E4	Cost per handled request	Operational expenditure per resolved case in selected IoT-enabled domains	KZT per case – lower is better	Budget documents; cost-benefit analyses

Table 2. Indicators for transparency and accountability of IoT-enabled governance

Code	Indicator	Brief description	Unit & desired direction	Main data source
T1	Availability of IoT-generated datasets	Number of relevant IoT-derived datasets published as open data	Count or % – higher is better	City open-data portals
T2	Update frequency of datasets	Typical time lag between data production and publication for key IoT datasets	Hours/days – lower is better	Portal metadata
T3	IoT data-governance framework	Presence and quality of formal rules on ownership, access, retention and anonymisation of IoT data	Ordinal score 0–2 – higher is better	Laws, municipal regulations, strategy documents
T4	Public dashboards using IoT	Number of web/mobile dashboards that visualise real-time IoT data for citizens	Count – higher is better	City websites, app stores

Table 3. Indicators for citizen engagement in IoT-enabled urban governance

Code	Indicator	Brief description	Unit & desired direction	Main data source
C1	Active users of IoT-based city apps	Residents who used IoT-linked apps at least once in last 3 months per 1,000 residents	Users / 1,000 pop. – higher is better	App analytics, municipal IT stats
C2	Citizen reports digital/IoT channels	Number of incident reports or requests submitted through IoT-linked platforms per 1,000 residents	Reports / 1,000 pop. – higher is better (if accompanied by timely responses)	Platform logs, open data
C3	Participation in IoT-related consultations	Number of public consultations, hackathons or co-design workshops on IoT/smart-city projects and total participants per year	Events and participants – higher is better	Participation portals, NGO/municipal reports
C4	Trust in municipal use of IoT	Share of respondents who agree that city uses IoT data responsibly and for public benefit	% “agree/strongly agree” – higher is better	Citizen surveys

5. Results: illustrative application to Astana and Almaty

Because of limited data, the findings should be interpreted as indicative trends and the general applications of the framework, not as determinations.

5.1 Operational efficiency

Documentary data and interviews with various experts suggest that both Astana and Almaty have focused on IoT to control transportation, street lighting, and environmental monitoring [16], [18], [19]. In Astana, the “Smart Astana” platform integrates traffic sensors, CCTV and public-transport data to regulate traffic lights and provide real-time information; experts report noticeable congestion reductions on major routes, although detailed travel-time statistics are not publicly available. As for indicator E1 (processing time), municipal reports indicate that complaints through mobile apps and web portals on lighting and waste are responded to more rapidly than the same number of calls, particularly in Astana, because of automated routing and tracking. Though focus-group participants note strong variation by district and provider that point to uneven back-office integration.

Automation (E2) still exists; but is partial: some sensors initiate service actions (full waste bins, lighting failures), and coverage is limited by ageing infrastructure and fragmented procurement. Reliability (E3) is an issue even in current systems, with some people, including examiners and survey volunteers, reporting that transport apps and information screens occasionally break down. While exact cost per request (E4) cannot be determined, experts estimate that IoT is gradually reducing the unit costs for energy and transport, while the initial capital expenditure and vendor dependency are still considerable [2], [10], [19].

5.2 Transparency and accountability

Both cities possess open-data portals with transport, environmental and service datasets, however, only a small proportion is directly IoT-based and frequently updated [15], [17]. Astana appears to be a source of real-time or near-real-time data (e.g., bus arrivals, air quality) while Almaty often publishes daily or monthly aggregates which suggests higher T1 values for Astana [16], [18]. As update rate (T2) is uneven, updates for some datasets are slow (in weeks or months) and thus are not good for external monitoring.

Regarding data governance (T3), both cities adhere to national legislations related to personal data and information security but there are few explicit municipal policies on the ownership, anonymisation or retention of IoT data [4], [5], [17]. Interviewees also point out that rules on access are typically locked in contracts between departments and vendors, with minimal public transparency. Public dashboards (T4) have already been introduced in both cities, but focus-group participants indicate that they are hard to find and rarely promoted, so transparency of IoT solutions are only partial.

5.3 Citizen engagement

Both cities encourage the use of mobile apps to monitor public transport movements, report issues, and verify environmental indicators [16]–[19]. Survey results indicate that knowledge and general usage are skewed towards younger and more digitally literate residents and towards the older or less technologically savvy users, who participate to a much lesser extent, indicative of wider digital-divide trends [9], [12], [18]. Those who do use do appreciate real-time information, remote request processing, but frequently question if the reports help direct action and fear surveillance, reflecting the most critical smart-city debates [6], [13].

Without app analytics, indicators C1 and C2 (active users and number of reports) can't be robustly quantified, though experts estimate active users form a small, growing minority. Public participation in public consultations or hackathons related to IoT (C3) seems narrow, mostly limited to IT professionals and students. Survey responses on trust (C4) are patchy: many view IoT as an indicator of modernisation, but others worry about data being abused, and lack of communication, providing confirmation that legitimacy is paramount in data-centric governance

[6], [11], [13].

6. Discussion

As a preliminary realization of the framework, we can say that it appears that more visible operational gains can be derived from the IoT deployments in Astana and Almaty based on the following findings: The IoT deployment in Astana and Almaty has already achieved more visible gains in operational efficiency than in transparency or deep citizen engagement. Smart transport, lighting, and incident-management systems seem to shorten processing times and increase automation in selected domains, which is consistent with global findings of IoT-facilitated urban infrastructure optimisation [1]–[3], [10]. However, the patchy deployment in local units and existing information systems, such as legacy data systems, further constrains the extension of these gains beyond flagship projects, supporting the significance of institutional capacity and coordination identified in the smart government literature [8], [11].

For transparency, the picture is more ambivalent. For this reason, there are IoT-related datasets and dashboards, but their official publication is selective, the update cycles are irregular, and the formal data governance framework is underdeveloped [3]–[7], [15]. This replicates a wider trend where technology implementations move faster than the legal and organisational guardrails [4], [5], [10], which could erode accountability and public trust. In Kazakhstan's case where e-government reforms are still in the process of being consolidated, building up IoT-centric data governance becomes a necessary next step. The weakest category seems to be citizen engagement.

Residents mostly utilize IoT-enabled services as consumers of information, not as contributors to design, monitoring or evaluation, consistent with critiques of technocratic, top-down smart-city models [7], [9], [12]–[14]. Privacy concerns, access inequalities and opacity around data use suggest legitimacy cannot be an assumption; without stronger participatory and accountability mechanisms, IoT risks perpetuating power asymmetries rather than disrupting governance. The framework helps render the asymmetries visible, and demonstrates where targeted reforms — including more inclusive channels of participation and clearer data use policies — are required in Astana and Almaty.

7. Conclusion

This paper suggested and piloted a measurement framework for measuring the impact of IoT for urban governance on three outcome areas: operational efficiency, transparency and citizen involvement. Based on smart-city, e-government and data-governance studies, it maps these dimensions into a range of indicators, which can be filled with open data, official reports and modest survey evidence for Astana and Almaty [1], [2], [8], [10], [15]. The preliminary application indicates that the two cities utilise IoT for service optimization, though progress remains uneven, with better efficiency seen much more often than transparency or participatory governance improvement.

For practitioners, the framework provides a useful tool for moving beyond technology-centred discourses and investigating systematically whether IoT projects lead to improved service delivery, openness, and citizen engagement. It can also be used by city authorities to identify strengths, deficiencies and trade-offs, and to direct actions such as data-governance reforms, cross-department collaboration and newer mechanisms for participation at the ground level [8], [11], [14]. The study suffers from incomplete data, non-representative surveys, simplified indicators, but it shows that structured evaluation of IoT governance impact is possible and also required. Future studies could further refine the metrics, generalize the analysis to more cities

and adopt more robust longitudinal and comparative designs so as to better understand when IoT acts on efficiency as well as to enable transparent and citizen-centred urban governance.

References:

1. J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, "Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions," *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645–1660, 2013.
2. A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of things for smart cities," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, 2014.
3. J. Lin, W. Yu, N. Zhang, X. Yang, H. Zhang, and W. Zhao, "A survey on Internet of Things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 5, pp. 1125–1142, 2017.
4. R. H. Weber, "Internet of Things – New security and privacy challenges," *Computer Law & Security Review*, vol. 26, no. 1, pp. 23–30, 2010.
5. S. Sicari, A. Rizzardi, L. A. Grieco, and A. Coen-Porisini, "Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead," *Computer Networks*, vol. 76, pp. 146–164, 2015.
- a. R. Kitchin, "The real-time city? Big data and smart urbanism," *GeoJournal*, vol. 79, no. 1, pp. 1–14, 2014.
6. A. M. Townsend, *Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia*. New York: W. W. Norton & Company, 2013.
7. A. Meijer and M. P. R. Bolívar, "Governing the smart city: A review of the literature on smart urban governance," *International Review of Administrative Sciences*, vol. 82, no. 2, pp. 392–408, 2016.
8. T. Nam and T. A. Pardo, "Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions," in *Proc. 12th Annual Int. Digital Government Research Conference*, 2011, pp. 282–291.
9. M. Naphade, G. Banavar, C. Harrison, J. Paraszczak, and R. Morris, "Smarter cities and their innovation challenges," *Computer*, vol. 44, no. 6, pp. 32–39, 2011.
10. J. R. Gil-Garcia, "Being smart: Emerging technologies and innovation in the public sector," *Government Information Quarterly*, vol. 31, Suppl. 1, pp. S11–S18, 2014.
- 11.
12. R. G. Hollands, "Will the real smart city please stand up? Intelligent, progressive or entrepreneurial?," *City*, vol. 12, no. 3, pp. 303–320, 2008.
13. P. Cardullo and R. Kitchin, "Being a 'citizen' in the smart city: Up and down the scaffold of smart citizen participation in Dublin, Ireland," *GeoJournal*, vol. 84, no. 1, pp. 1–13, 2019.
14. H. J. Scholl and M. C. Scholl, "Smart governance: A roadmap for research and practice," in *iConference 2014 Proceedings*, 2014, pp. 1–17.
15. United Nations Department of Economic and Social Affairs, *United Nations E-Government Survey 2022: The Future of Digital Government*. New York: United Nations, 2022.
16. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE), *Smart Sustainable City Profile: Almaty, Kazakhstan*. Geneva: UNECE, 2024.
17. Government of the Republic of Kazakhstan, *State Programme "Digital Kazakhstan"*, Astana, 2017.
18. B. Bokayev, "E-government in Kazakhstan: Development, challenges, and

prospects,” *Public Administration Issues*, no. 5, pp. 101–120, 2021.

19. S. Toxanov, A. Neftissov, D. Abzhanova, and I. Kazambayev, “The concept of the smart city of Astana: Energy-efficient technologies and solutions for sustainable development,” *Scientific Journal of Astana IT University*, vol. 11, pp. 74–85, 2022.

УДК 349.6

Отаубаева Айгуль Бахрамовна

Самостоятельный соискатель
Ташкентского государственного юридического университета
(г. Ташкент, Узбекистан)

АДМИНИСТРАТИВНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ ПРАВИЛ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

Аннотация: В статье рассматривается административная ответственность за нарушение правил охраны водных ресурсов в Республике Узбекистан. Анализируются правовая основа и содержание норм Кодекса Республики Узбекистан об административной ответственности, прежде всего статьи 72, а также их место в системе административно-правовой охраны водных объектов. Особое внимание уделяется характеристике составов водных правонарушений, дифференциации ответственности в зависимости от характера водного объекта и повторности правонарушения, а также оценке санкционного механизма. Выявляются основные проблемы правоприменительной практики, связанные с использованием оценочных понятий, сложностями доказывания и ограниченным набором административных мер воздействия. Обосновываются направления совершенствования законодательства, направленные на повышение правовой определённости, соразмерности санкций и эффективности административно-правовой охраны водных ресурсов в условиях возрастающих экологических рисков.

Ключевые слова: административная ответственность; охрана водных ресурсов; водные правонарушения; водоохраный режим; подземные воды; административные санкции; правоприменительная практика; экологическая безопасность; устойчивое водопользование

Вода является стратегически важным ресурсом для социально-экономического развития и экологического баланса любой страны. В Республике Узбекистан государственная политика в области водных ресурсов направлена на обеспечение устойчивого водоснабжения населения, рационального водопользования и надёжной защиты водных объектов от загрязнения и истощения. В частности, новый Водный кодекс Республики Узбекистан признал воду национальным богатством и усилил правовые меры по её охране и контролю использования.

Административная ответственность — ключевой элемент системы правовой защиты природной среды. Она призвана пресекать нарушения природоохранных правил и обеспечивать соблюдение требований законодательства в сфере водных ресурсов.

Актуальность выбранной темы определяется несколькими факторами. Во-первых, в Узбекистане вопросы водопользования и охраны воды приобретают всё большую социально-правовую значимость в условиях роста населения и повышенного спроса на ограниченные водные ресурсы. Во-вторых, в 2025 году в стране принят новый Водный кодекс, который консолидирует основные нормы и усиливает правовые механизмы охраны вод и их рационального использования.

Кроме того, административно-правовые меры остаются важнейшим инструментом государственного воздействия на субъектов, нарушающих правила охраны водных ресурсов, поскольку позволяют оперативно реагировать на нарушения без перехода к уголовной ответственности. Временные и финансовые санкции выступают фактором предупреждения экологического вреда, стимулируют соблюдение юридическими и физическими лицами экологических требований. Актуальность исследования также усугубляется необходимостью анализа эффективности действующих норм на фоне международных практик управления водными ресурсами.

Нормативной основой административно-правовой охраны водных объектов в Узбекистане выступают Водный кодекс Республики Узбекистан [1] и Кодекс Республики Узбекистан об административной ответственности (далее — КоАО РУз), в частности статьи 72–76, устанавливающие ответственность за водные правонарушения [2].

Административная ответственность – это вид юридической ответственности, при котором на лицо налагаются государственно-властные санкции за совершение административного правонарушения, то есть виновных, противоправных действий или бездействий, определённых законодательством [3]. В контексте экологической защиты это ответственность за нарушения требований природоохранного законодательства.

Законодательство предусматривает, что административная ответственность наступает при нарушении установленных правил охраны окружающей среды и природопользования, включая нормы по охране водных ресурсов. В качестве субъектов ответственности выступают как физические лица, достигшие установленного возраста, так и должностные лица и организации.

Административная ответственность за нарушение правил охраны водных ресурсов — это вид юридической ответственности, выражающийся в применении административных взысканий (преимущественно штрафов) за виновное нарушение обязательных экологических и водоохранных требований, направленных на предотвращение загрязнения, засорения, истощения водных объектов и обеспечение их рационального использования в Республике Узбекистан.

Сущность данной ответственности заключается в применении административных взысканий, прежде всего штрафов, за нарушение обязательных требований, направленных на предотвращение загрязнения, засорения и истощения поверхностных и подземных вод. В отличие от уголовной ответственности, административная ответственность применяется в случаях, когда вред окружающей среде не достигает уровня общественной опасности, характерного для преступлений, но при этом требует государственного реагирования.

Статья 72 Кодекса об административной ответственности Республики Узбекистан закрепляет один из ключевых составов административных правонарушений в сфере охраны окружающей среды, направленный на защиту водных ресурсов от загрязнения, засорения и иного негативного антропогенного воздействия. Данная норма имеет комплексный характер и охватывает как поверхностные, так и подземные водные объекты. Объектом административной ответственности за нарушение правил охраны водных ресурсов являются общественные отношения, складывающиеся в сфере охраны и рационального использования водных объектов, обеспечения экологической безопасности и защиты здоровья населения.

Основанием наступления административной ответственности является совершение административного правонарушения, предусмотренного нормами законодательства, в

частности положениями Кодекса об административной ответственности. К таким правонарушениям относятся загрязнение или засорение вод, нарушение водоохранного режима, несоблюдение требований допустимости сброса сточных вод, а также иные действия или бездействие, нарушающие установленный порядок охраны водных ресурсов [4].

Объективная сторона административного правонарушения, связанного с нарушением правил охраны водных ресурсов, — это внешнее проявление противоправного поведения, выраженное в конкретных действиях либо бездействии, которые нарушают установленные требования водоохранного законодательства и подпадают под признаки состава, предусмотренного статьёй 72 КоАО Республики Узбекистан.

Субъектами административной ответственности за нарушение правил охраны водных ресурсов могут выступать граждане и должностные лица. Юридические лица привлекаются к ответственности опосредованно — через действия или бездействие своих должностных лиц.

Непосредственным объектом правонарушений, предусмотренных статьёй 72 КоАО, являются общественные отношения в сфере охраны водных ресурсов, обеспечения экологической безопасности водных объектов, а также соблюдения установленного водоохранного режима. Дополнительным объектом выступают отношения, связанные с охраной здоровья населения и сохранением благоприятной окружающей среды.

Особое значение в структуре статьи имеет защита подземных вод, которые в силу своих природных характеристик обладают ограниченной способностью к самоочищению и требуют повышенного уровня правовой охраны [5].

Объективная сторона состава, предусмотренного статьёй 72 КоАО, выражается в действиях либо бездействии, нарушающих обязательные правила охраны водных ресурсов. Законодатель использует альтернативную диспозицию, охватывающую несколько форм противоправного поведения.

К числу основных форм объективной стороны относятся:

1. Загрязнение или засорение вод, а также нарушение водоохранного режима на водосборах, включая несоблюдение условий допустимости сброса сточных вод в водные объекты (часть первая). Для квалификации правонарушения не требуется установления факта наступления вредных последствий, что позволяет отнести данный состав к формальным.

2. Ввод в эксплуатацию предприятий, коммунальных и иных объектов без сооружений и устройств, предотвращающих загрязнение и засорение вод, а также совершение иных действий, нарушающих естественное состояние водных объектов (часть вторая). Данная норма направлена на предупреждение экологического вреда на стадии начала хозяйственной деятельности.

3. Нарушение правил и технологии бурения скважин, уничтожение или повреждение эксплуатационных и наблюдательных скважин, непринятие мер по оборудованию самоизливающихся скважин, а также размещение объектов в зонах формирования качественных подземных вод (часть третья). Эти деяния представляют повышенную экологическую опасность и посягают непосредственно на устойчивость подземных водоносных горизонтов.

Таким образом, объективная сторона статьи 72 охватывает как активные действия, так и бездействие, создающее угрозу водным ресурсам.

Субъективная сторона правонарушений, предусмотренных статьёй 72 КоАО, характеризуется виной в форме умысла или неосторожности. На практике значительная часть нарушений совершается по неосторожности, связанной с несоблюдением технологических требований, недостаточным контролем и игнорированием экологических нормативов.

Санкции части первой статьи 72, устанавливающие штрафы за загрязнение или засорение вод, нарушение водоохранного режима и условий допустимости сброса сточных вод, ориентированы на пресечение наиболее распространённых форм негативного воздействия на водные объекты. При этом размеры штрафов находятся в пределах умеренного диапазона, что позволяет применять их массово и оперативно.

Часть вторая статьи 72 предусматривает повышенную ответственность для должностных лиц за ввод в эксплуатацию объектов без очистных сооружений и устройств, предотвращающих загрязнение вод. Такое решение законодателя подчёркивает персональную ответственность управленческих субъектов за экологическую безопасность хозяйственной деятельности и отражает принцип персонификации административной ответственности.

Особое место в системе санкций занимает часть третья статьи 72, направленная на охрану подземных вод. Более высокий уровень ответственности за нарушение правил бурения, эксплуатации и консервации скважин, а также за размещение объектов в зонах формирования качественных подземных вод обусловлен [6]:

- высокой уязвимостью подземных вод;
- латентным характером причиняемого вреда;
- сложностью восстановления загрязнённых водоносных горизонтов.

Тем самым санкции статьи 72 выполняют функцию дифференцированной экологической защиты, учитывающей специфику объекта посягательства.

Часть четвертая статьи 72 КоАО закрепляет повышенные штрафы за повторное совершение правонарушения в течение года после применения административного взыскания. Повторность в данном случае выступает не просто формальным квалифицирующим признаком, а ключевым элементом санкционной политики, направленной на предупреждение устойчивых и систематических нарушений водоохранного законодательства.

Усиление санкций при повторности отражает:

- принцип неотвратимости административной ответственности;
- признание повышенной общественной опасности повторных нарушений;
- ориентацию на профилактику хронического загрязнения водных объектов.

В системе административно-правовой охраны вод санкции статьи 72 выполняют базовую охранительную функцию, дополняя нормы статей 74–76 КоАО, которые регулируют ответственность за нарушения водопользования, учёта вод и эксплуатации водохозяйственных объектов.

Санкции статьи 72:

- направлены преимущественно на предотвращение экологического вреда, а не на его компенсацию;

- действуют в тесной взаимосвязи с разрешительно-лицензионными и контрольными механизмами водного законодательства;
- формируют превентивный барьер между допустимым хозяйственным воздействием и экологически опасным поведением.

С точки зрения административно-правовой доктрины, санкции статьи 72 обладают следующими преимуществами:

- простота применения;
- чёткая адресность;
- возможность гибкого реагирования на различные формы нарушений.

Вместе с тем их эффективность в значительной степени зависит от:

- реальной выявляемости правонарушений;
- неотвратимости наложения штрафов;
- адекватности размеров штрафов экономической выгоде от нарушения.

В условиях интенсификации водопользования и роста антропогенной нагрузки на водные объекты актуализируется вопрос о дальнейшем совершенствовании санкционной политики, включая возможное расширение набора административных мер при грубых и систематических нарушениях.

Несмотря на относительно развитую нормативно-правовую базу, в правоприменительной практике выявляются значимые проблемы:

1. Сложности доказывания объективной стороны

- Трудности выявления фактов загрязнения подземных вод из-за латентности процессов и ограниченности данных наблюдений;
- Недостаточная техническая оснащённость инспекционных органов для оперативного замера концентраций загрязняющих веществ, определения источников вредных выбросов и идентификации нарушений водоохранного режима;

2. Недостаточная неотвратимость наказания:

- На практике не всегда достигается реальное наложение санкций, даже при установленных нарушениях, что снижает превентивный эффект ответственности;
- Ограниченность данных учета об объёмах водопользования и сбросов ослабляет возможность объективной оценки и доказательственной базы.

3. Перекрывание предметов регулирования – нормы статей 72 и 74 имеют смежные элементы (например, незаконный забор воды и нарушение водоохранного режима), что требует чёткой методологии квалификации для исключения смешения составов.

4. Ограниченность мер воздействия – использование преимущественно штрафов как единственной санкции в статье 72 может быть недостаточно для дисциплинирования крупных хозяйствующих субъектов, для которых размер штрафа не соотносится с экономической выгодой от нарушения.

Для повышения эффективности административно-правовой охраны водных ресурсов предлагаются следующие направления:

1. Усиление доказательной базы:

- Внедрение современных методов мониторинга вод (датчики, автоматизированные системы контроля качества и объёмов):

– Развитие системы государственного водного кадастра и единой информационной базы водопользования.

2. Уточнение квалификации составов:

– Методическое разъяснение границ и взаимоотношений между составами статей 72 и 74 КоАО для устойчивой правоприменительной практики.

– Введение чётких критериев для разграничения нарушений охраны вод и нарушений водопользования.

3. Дифференциация санкций:

– Рассмотрение возможности введения альтернативных мер воздействия (приостановление деятельности, конфискация технических средств, нанесение экологического ущерба и др.) для особо тяжёлых или систематических правонарушений.

– Увеличение санкций для юридических лиц и ответственных должностных лиц с учётом экономического воздействия.

4. Повышение правовой культуры

– Обучение специалистов водоохранной и экологической инспекции, сотрудников хозяйственных субъектов.

– Вовлечение общественных экологических организаций в мониторинг соблюдения водоохранного законодательства.

Заключение. Проведённый анализ статьи 72 Кодекса Республики Узбекистан об административной ответственности позволяет сделать вывод о том, что данная норма занимает ключевое место в системе административно-правовой охраны водных ресурсов, обеспечивая защиту поверхностных и подземных вод от загрязнения, засорения и иного негативного воздействия. В то же время содержание статьи 72 нуждается в дальнейшем совершенствовании с учётом современных экологических и правоприменительных вызовов.

В действующей редакции статьи 72 используется ряд оценочных понятий («загрязнение», «засорение», «нарушение водоохранного режима», «действия, нарушающие естественное состояние водных объектов»), что затрудняет единообразную квалификацию правонарушений. В этой связи целесообразно:

- законодательно конкретизировать указанные термины либо;
- предусмотреть отсылку к Водному кодексу и подзаконным нормативным актам, содержащим их легальные определения.

Это позволит снизить риск расширительного толкования нормы и повысить правовую определённость.

Статья 72 в основном оперирует фиксированными штрафами, не учитывающими:

- масштаб загрязнения;
- длительность воздействия;
- категорию водного объекта (источник питьевого водоснабжения, подземные воды, трансграничные воды).

В целях повышения эффективности санкций целесообразно:

- ввести градацию ответственности в зависимости от степени экологической опасности деяния;

- предусмотреть повышенные санкции за нарушения, затрагивающие подземные воды и зоны питьевого водоснабжения.

Таким образом, статья 72 КоАО Республики Узбекистан требует точечной модернизации, направленной не на ужесточение ответственности как таковое, а на повышение правовой определённости, соразмерности санкций и эффективности правоприменения. Реализация предложенных изменений и дополнений позволит усилить административно-правовую охрану водных ресурсов и обеспечить устойчивое водопользование в условиях возрастающих экологических рисков.

Список литературы:

1. Водный кодекс Республики Узбекистан (утвержден Законом Республики Узбекистан от 30 июля 2025 года № ЗРУ-1076) // Национальная база данных законодательства Республики Узбекистан – Lex.uz. – URL: <https://lex.uz> (дата обращения: 19.01.2026).

2. Кодекс Республики Узбекистан об административной ответственности (утвержден Законом Республики Узбекистан от 22 сентября 1994 года № 2015-XII) (с изменениями и дополнениями по состоянию на 25.02.2025 г.) https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30421092&doc_id2=30421092#activate_doc=2&pos=28;-85&pos2=808;-94

3. Юридический комментарий к Кодексу Республики Узбекистан об административной ответственности / Под ред. Ю.Х. Тошпулатова. – Ташкент: Юридическая литература, 2024. – 42с

4. Каюмова Д.Ш. Правовые основы водопользования в Узбекистане// <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovye-osnovy-vodopolzovaniya-v-uzbekistane>

5. Ережепқызы Р., Битабарова З., Бекишева С., Есетова С., Садуакасова Л. Административно-правовая ответственность как средство обеспечения экологического правопорядка. Journal of Actual Problems of Jurisprudence, 2024 111(3), 48–56. <https://doi.org/10.26577/JAPJ2024-111-i3-06>

6. Холмуминов Ж.Т. Экологическое право (на основе экологического законодательства Республики Узбекистан): Альбом схем: Учебное пособие / Мин-во высшего и среднего спец. образования РУз; сост. Ж.Т. Холмуминов. – Ташкент: Tafakkul, 2010. – 272 с.

УДК 349.6

Калдарбеков Асылжан Оспанович

Самостоятельный соискатель
Ташкентского государственного юридического университета
(Ташкент, Узбекистан)

ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ЗА НАРУШЕНИЕ ЛЕСНОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА УЗБЕКИСТАНА

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы юридической ответственности за нарушение лесного законодательства Республики Узбекистан. Анализируется система мер административной и иной юридической ответственности, предусмотренная действующим законодательством, а также особенности правового регулирования охраны и использования лесного фонда. Особое внимание уделяется составам правонарушений в сфере лесопользования, видам санкций и проблемам правоприменительной практики. Выявляются основные тенденции развития института ответственности за лесные правонарушения, а также формулируются предложения по совершенствованию законодательства с учетом задач устойчивого управления лесными ресурсами и обеспечения экологической безопасности.

Ключевые слова: лесное законодательство, лесные правонарушения, юридическая ответственность, административная ответственность, охрана лесов, Республика Узбекистан, экологическое право.

Юридическая ответственность органически связана с государством, системой правовых норм, установленными обязанностями, а также с противоправными деяниями граждан, их объединений и юридических лиц. Вводя в правовую систему институт юридической ответственности, государство направляет его действие на субъектов права независимо от их согласия или желания, что придаёт ей государственно-принудительный характер. Именно этим она отличается от иных форм социальной ответственности.

В сфере действия лесного законодательства юридическая ответственность за его нарушение представляет собой установленную государством и закреплённую в санкции правовой нормы меру государственного принуждения, применяемую к лицу, совершившему лесонарушение — противоправное и виновное действие либо бездействие, которое причиняет вред лесам как природному объекту, наносит ущерб лесному хозяйству или нарушает установленный порядок их охраны, защиты, использования и воспроизводства [1, с.32].

Юридическая ответственность за нарушение лесного законодательства реализует комплекс ключевых функций: стимулирующую, проявляющуюся в создании экономических и правовых механизмов, побуждающих к соблюдению требований законодательства в сфере охраны, защиты и воспроизводства лесов; компенсационную, ориентированную на возмещение причинённых лесному хозяйству потерь и ущерба; превентивную, направленную на предотвращение возможных правонарушений в области использования и охраны лесных ресурсов; карательную (штрафную), выражающуюся в

применении мер наказания к лицам, признанным виновными в совершении лесонарушений.

Мы даем авторское научное определение ответственности за нарушение лесного законодательства. Ответственность за нарушение лесного законодательства — это установленная государством система юридических мер воздействия на физических и юридических лиц, допустивших противоправные действия или бездействие в сфере охраны, использования и воспроизводства лесных ресурсов, направленная на восстановление нарушенного правопорядка, предотвращение экологического ущерба и обеспечение устойчивого управления лесным фондом.

Лесонарушение следует определять как противоправное и виновное действие либо бездействие, влекущее причинение вреда лесам как природному объекту, наносящее ущерб лесному хозяйству или нарушающее установленный порядок их охраны, защиты, использования и воспроизводства.

Лесное правонарушение представляет собой общественно вредное деяние (действие либо бездействие), противоречащее нормам лесного права и посягающее на установленный порядок рационального использования, охраны и воспроизводства лесов.

В юридической литературе выделяют четыре обязательных элемента состава лесного правонарушения: объект — охраняемые лесным законодательством общественные отношения; субъект — физическое или юридическое лицо, способное нести ответственность; объективная сторона — конкретное противоправное деяние (например, нарушение правил использования земель лесного фонда или порядка эксплуатации лесосечного фонда); субъективная сторона — вина как психическое отношение правонарушителя к содеянному.

Ответственность наступает только при наличии всех этих элементов. Лесное правонарушение является юридическим основанием для применения мер лесоправовой ответственности, то есть санкций, предусмотренных нормами права, и распространяется, главным образом, на собственников леса, лесопользователей и распорядителей лесного фонда [2, с. 25].

Все лесонарушения условно подразделяются на четыре основные группы:

1. посягающие на установленный порядок лесопользования;
2. нарушающие порядок воспроизводства и повышения продуктивности лесов;
3. затрагивающие порядок ведения лесного хозяйства;
4. нарушающие правила охраны лесов.

Основанием привлечения к ответственности является наличие состава лесного правонарушения и соответствующей правовой нормы, предусматривающей наказание. Ответственность за нарушение правил лесопользования представляет собой систему мер, закреплённых в правовых нормах, направленных на охрану лесов, их рациональное использование и защиту прав лесопользователей.

Согласно закону Республики Узбекистан «О лесе», за такие нарушения могут применяться дисциплинарная, административная, гражданско-правовая и уголовная ответственность.

Согласно Кодексу Республики Узбекистан «Об административной ответственности», глава VIII «Административная ответственность за правонарушения в области охраны природной среды и природопользования» (статьи 74–84) устанавливает, что лица, допустившие нарушения правил использования земель лесного фонда, порядка

эксплуатации лесосечного фонда, а также совершившие незаконную вырубку, повреждение или уничтожение деревьев, кустарников, лесных культур и молодняка, нарушение правил восстановления лесов, требований пожарной безопасности в лесах и другие аналогичные деяния, подлежат административным штрафам [3].

Например, за незаконную вырубку, повреждение или уничтожение деревьев, кустарников, лесных культур и молодняка на граждан налагается штраф в размере от одной трети до одного минимального размера заработной платы, а на должностных лиц — от одного до трёх минимальных размеров. Если те же действия совершаются повторно в течение года после применения административного взыскания, штраф для граждан увеличивается до одного–трёх, а для должностных лиц — до трёх–семи минимальных размеров заработной платы.

За нарушение правил восстановления лесов (статья 80), включая мероприятия по улучшению состояния и породного состава лесов, повышению их продуктивности и рациональному использованию ресурсов спелой древесины, должностным лицам грозит штраф от одного до трёх минимальных размеров заработной платы.

Наложение данных штрафов осуществляется органами Государственного комитета по охране природы в соответствии со статьями 77, 78, 79, 80, 82, 83 и 84 Кодекса.

В соответствии со статьёй 23 Кодекса об административной ответственности, за совершение административных правонарушений могут применяться следующие меры взыскания:

- штраф;
- возмездное изъятие предмета, который использовался для совершения правонарушения или являлся его непосредственным объектом;
- конфискация указанного предмета;
- лишение специального права, предоставленного данному лицу (например, права охоты);
- административный арест.

Дела об административных правонарушениях рассматриваются судьями по административным делам районных (городских) судов, хозяйственными судами, административными комиссиями при органах самоуправления граждан (посёлков, кишлаков, аулов), районными (городскими) комиссиями по делам несовершеннолетних, органами внутренних дел, государственными инспекциями и другими уполномоченными должностными лицами.

В соответствии со статьёй 43 Закона «О лесе» лица, виновные в нарушении лесного законодательства, несут ответственность в установленном законом порядке. Эта ответственность может быть уголовной, административной или иной, что закреплено в соответствующих статьях Уголовного и Административного кодексов. Так, конкретные меры наказания за нарушение права государственной собственности на леса, несоблюдение установленного порядка лесопользования и другие нарушения предусмотрены в разделе IV Уголовного кодекса «Преступления в сфере экологии» (глава XIV «Преступления в сфере охраны окружающей среды и природопользования») [4].

Закон прямо устанавливает, что самовольная передача права лесопользования, а также иные сделки, прямо или косвенно нарушающие государственные права на леса, являются недействительными. Это означает, что в результате таких сделок право пользования лесом не переходит к другому физическому или юридическому лицу. Кроме признания сделки недействительной и применения последствий, предусмотренных

Гражданским кодексом, виновные лица могут быть привлечены к уголовной или иной ответственности [5, с. 36].

Уголовный кодекс Республики Узбекистан содержит статьи, предусматривающие ответственность за повреждение, уничтожение посевов, леса или иных насаждений. Установление таких норм направлено на предотвращение порчи и уничтожения растительности, как лесной, так и находящейся за пределами лесных фондов, включая посевы и декоративные насаждения.

Закон Республики Узбекистан «О лесе» от 15 апреля 1999 года [6], постановление Кабинета Министров «Правила рубок ухода за лесом в Республике Узбекистан» от 22 ноября 1999 года [7] и другие нормативно-правовые акты регулируют деятельность государственных органов по управлению лесным хозяйством, контролю за сохранением, использованием, воспроизводством, охраной и защитой лесов в стране.

За повреждение или уничтожение посевов, леса либо иных насаждений в результате неосторожного обращения с огнём, повлекшее причинение крупного ущерба или иные тяжкие последствия, предусмотрено наказание в виде штрафа до пятидесяти минимальных размеров заработной платы, исправительных работ сроком до одного года либо ареста на срок до трёх месяцев [8, с. 23].

Преступление, предусмотренное частью 1 статьи 198 Уголовного кодекса, считается оконченным, если вследствие неосторожного обращения с огнём причинён крупный ущерб посевам, лесу или другим насаждениям, либо наступили иные тяжкие последствия.

Для определения размера ущерба привлекаются специалисты лесного хозяйства, которые учитывают площадь повреждённого участка, породы деревьев и другие характеристики насаждений.

Согласно части 1 статьи 198 повреждение или уничтожение посевов, леса, деревьев либо других растений в результате неосторожного обращения с огнём, повлекшее причинение крупного ущерба или иные тяжкие последствия, — наказывается штрафом от пятидесяти до ста базовых расчетных величин или обязательными общественными работами до двухсот сорока часов либо исправительными работами до одного года.

Согласно части второй статьи 198 Уголовного кодекса Республики Узбекистан, незаконная порубка леса, деревьев или других растений, причинившая крупный ущерб, предусмотрено наказание в виде штрафа от ста до ста пятидесяти базовых расчетных величин или обязательными общественными работами от двухсот сорока до трехсот часов или исправительными работами от одного года до двух лет или ограничением свободы от одного года до трех лет либо лишением свободы до трех лет.

Под незаконной порубкой понимается срубка деревьев или кустарников на корню без оформленного в установленном порядке лесорубочного билета (ордера) либо с таким документом, но с нарушением его условий — на другом участке, в ином объёме или с вырубкой пород, не указанных в билете.

Ответственность наступает при любом способе отделения ствола дерева от корней: срубка, опилование, корчевание с корнями, выкапывание живых деревьев и кустарников без намерения пересадить их, а также любые иные действия, приводящие к их уничтожению. Преступление считается оконченным с момента причинения крупного ущерба.

Потрава — это повреждение или уничтожение посевов путём вытаптывания, перепахивания, затопления водой или другими жидкостями и иными способами. К потраве

также относится незаконный выпас или прогон скота через посеы, повлекший значительный ущерб [9, с. 523].

Часть вторая статьи 198 Уголовного кодекса Республики Узбекистан устанавливает повышенную ответственность за незаконную порубку леса или иных насаждений, если такие действия повлекли крупный ущерб. Квалифицирующим признаком выступает именно размер причинённого вреда. При его определении учитываются эстетическая и иные ценности леса, площадь, пострадавшая от пожара, объём уничтоженной древесины (спелой, созревающей, подрастающей), категория леса в повреждённых или уничтоженных массивах, породы деревьев, их хозяйственное, научное, специальное и иное значение.

Размер ущерба определяется с учётом различных негативных последствий: стоимости древесины по действующим ценам, затрат на выращивание новых лесных культур или молодняка естественного происхождения, расходов на очистку территории и ликвидацию последствий пожара, включая затраты на его тушение.

Должностные лица, нарушившие требования пожарной безопасности при проведении работ в лесу или на прилегающих территориях, использовавшие служебное положение для незаконной порубки либо причинившие крупный ущерб иным образом, несут ответственность по совокупности преступлений: за незаконную порубку леса и за должностное преступление (злоупотребление полномочиями — ст. 205 УК, превышение полномочий — ст. 206 УК, халатность — ст. 207 УК и др.).

Независимо от уголовного преследования, лица, виновные в повреждении, уничтожении, незаконной вырубке или потраве посевов, леса и иных насаждений, обязаны возместить материальный ущерб. Незаконно заготовленная продукция подлежит изъятию. Размер возмещения определяется с учётом ценности пород и культур. Согласно ч. 3 ст. 198 УК, умышленное повреждение, поправа, уничтожение посевов, леса, деревьев или других растений, причинившее крупный ущерб, — наказывается штрафом от ста пятидесяти до двухсот базовых расчётных величин или обязательными общественными работами от трёхсот до трёхсот шестидесяти часов или исправительными работами от двух до трёх лет либо ограничением свободы от одного года до трёх лет или лишением свободы до трёх лет.

В случае возмещения причиненного материального ущерба в трёхкратном размере не применяется наказание в виде ограничения свободы и лишения свободы.

Статья 202 УК предусматривает ответственность за нарушение правил охоты, рыболовства, добычи других животных или сбора дикорастущих лекарственных, пищевых и декоративных растений, а также за нарушение порядка их использования на особо охраняемых природных территориях, если причинён значительный ущерб. Санкции включают штраф до 50 минимальных размеров заработной платы, исправительные работы до 2 лет или арест до 6 месяцев.

Отягчающими обстоятельствами считаются: уничтожение видов, занесённых в Красную книгу, причинение крупного ущерба, предварительный сговор группы лиц. В таких случаях наказание ужесточается до штрафа 50–75 минимальных зарплат, исправительных работ 2–3 года или лишения свободы до 3 лет. Если же преступление совершено опасным рецидивистом, должностным лицом с использованием служебного положения, с применением техники, взрывчатых веществ, ядохимикатов, иными общепасными способами или организованной группой, а также при причинении особо крупного ущерба, предусмотрено наказание в виде штрафа 75–100 минимальных зарплат

либо лишения свободы на срок от 3 до 5 лет. При возмещении ущерба в трёхкратном размере лишение свободы не применяется.

Согласно ст. 199 УК, нарушение требований борьбы с болезнями или вредителями растений, повлекшее тяжкие последствия, — наказывается штрафом от пятидесяти до ста базовых расчетных величин или лишением определенного права до пяти лет или обязательными общественными работами до трехсот шестидесяти часов либо исправительными работами до трех лет или ограничением свободы от одного года до трех лет или лишением свободы до трех лет.

В кодексе также установлена ответственность за нарушение норм экологической безопасности (ст. 193), умышленное сокрытие или искажение данных о загрязнении окружающей среды (ст. 194), непринятие мер по ликвидации последствий загрязнения (ст. 195), загрязнение окружающей природной среды (ст. 196), а также за нарушение порядка пользования животным или растительным миром (ст. 202).

Гражданско-правовая ответственность за нарушения в сфере охраны, использования и воспроизводства лесов в Узбекистане регулируется нормами Гражданского кодекса Республики Узбекистан, а также специальными положениями Лесного кодекса, Закона «О лесе» и иных нормативных актов, направленных на сохранение природных ресурсов.

Отдельным видом ответственности является гражданско-правовая. Она применяется, если нарушены имущественные права лесопользователей, а также при самовольном захвате лесов, уничтожении насаждений, нарушении правил эксплуатации лесных земель. Закон «О лесе» (ст. 23) прямо запрещает вмешательство в деятельность лесопользователей со стороны любых органов и организаций. Нарушенные права подлежат восстановлению, а причинённый ущерб (включая упущенную выгоду) — полному возмещению.

Согласно статье 87 Земельного кодекса, потери лесохозяйственного производства, вызванные изъятием или ухудшением качества земель, ограничением прав землепользователей или их переводом в менее ценные угодья, возмещаются в дополнение к возмещению прямого ущерба. Это распространяется на земли, находящиеся во владении или пользовании граждан, если они изымаются для целей, не связанных с ведением сельского и лесного хозяйства. Порядок расчёта таких потерь регламентирован специальным положением, устанавливающим компенсацию в случаях изъятия земель, установления охранных зон или ухудшения их качества в результате хозяйственной деятельности.

Большинство норм, закреплённых в Законе Республики Узбекистан «О лесе» и иных нормативно-правовых актах, направлены на обеспечение рационального использования лесных ресурсов, их охрану, защиту и воспроизводство, а также на повышение продуктивности лесов с целью удовлетворения потребностей народного хозяйства в древесине и других продуктах леса, одновременно усиливая водоохранные, защитные и иные полезные природные функции лесных массивов.

Основанием для возложения гражданско-правовой ответственности является сам факт причинения вреда лесам или иным насаждениям в результате [10, с.103]:

- незаконной порубки деревьев и кустарников;
- повреждения или уничтожения лесных культур;
- поджога, пожара по неосторожности или в результате умышленных действий;
- загрязнения лесных территорий вредными веществами или отходами;

- нарушения правил лесопользования, повлекшего утрату или ухудшение состояния лесных насаждений.

Возмещение может производиться:

- в денежной форме — путём уплаты суммы ущерба, рассчитанной по утверждённым методикам;
- в натуре — посредством проведения восстановительных работ, посадки деревьев, рекультивации земель, очистки территории от отходов.

Если ущерб лесному фонду причинён действиями или бездействием должностных лиц (например, работников лесного хозяйства, охотничьих хозяйств, органов местного управления), то после возмещения вреда государству такие лица могут быть привлечены к регрессной ответственности — возмещению уплаченных сумм в пользу государства.

Материальная и гражданско-правовая ответственность применяется независимо от привлечения лица к уголовной или административной ответственности. Даже если нарушитель понёс наказание в виде штрафа, ареста или лишения свободы, обязанность компенсировать причинённый ущерб сохраняется в полном объёме.

В отличие от административных и уголовных мер, гражданско-правовая ответственность носит преимущественно компенсационный характер и направлена на восстановление нарушенного природного баланса. Она применяется в любом случае причинения вреда — независимо от вины и наличия иных видов наказаний.

Заключение. В Республике Узбекистан регулирование ответственности за нарушение лесного законодательства построено на комплексной системе мер — уголовной, административной и гражданско-правовой, что позволяет учитывать характер, тяжесть и последствия правонарушений. Такая структура направлена на обеспечение защиты лесного фонда как важнейшего элемента экологической безопасности и устойчивого развития страны.

Анализ действующих правовых норм показывает, что Уголовный кодекс Республики Узбекистан предусматривает наказание за наиболее тяжкие экологические преступления, включая незаконную порубку, уничтожение или повреждение лесов, нарушение правил охоты и использования растительного мира, а также поджоги и уничтожение лесных насаждений (ст. 198, 199, 202 и др.). Однако размеры штрафов и виды наказаний часто не соответствуют реальному экологическому ущербу.

Кодекс об административной ответственности регулирует менее тяжкие правонарушения, такие как незаконный выпас скота, самовольное сенокошение, повреждение сенокосов и пастбищ, устройство складов и строений без разрешения, а также нарушение правил использования земель лесного фонда. Однако установленные санкции для граждан, должностных и юридических лиц требуют актуализации с учётом инфляции, рыночной стоимости древесины и роста антропогенной нагрузки.

Гражданско-правовая ответственность направлена на возмещение нанесённого ущерба в полном объёме независимо от привлечения к уголовной или административной ответственности. Однако действующие методики расчёта ущерба недостаточно учитывают утрату экологических, рекреационных и эстетических функций лесов³.

Предложения по совершенствованию законодательства:

³ Абдурахманов М.С. Проблемы гражданско-правовой охраны земель лесного фонда в Республике Узбекистан // Вестник Ташкентского государственного юридического университета. 2022. № 5. С. 112–120.

1. Уголовный кодекс:

– Увеличить размеры штрафов по ст. 198 и 202 до 150–300 минимальных расчётных величин (МРВ).

– Ввести отдельную норму о повышенной ответственности за массовую незаконную вырубку с применением механизированных средств и организованных групп, установив наказание в виде лишения свободы на 5–10 лет с наложением штрафа до 500 МРВ.

– Обязать виновных лиц проводить восстановительные мероприятия, включая высадку деревьев и рекультивацию земель.

2. Кодекс об административной ответственности:

– Увеличить размеры штрафов за нарушение правил пользования землями лесного фонда (ст. 77 КоАО): для граждан — до 1–3 МРВ, должностных лиц — 3–7 МРВ, юридических лиц — до 50 МРВ.

– Ввести обязанность нарушителей проводить восстановительные работы за свой счёт.

– Установить повышенную ответственность за повторные правонарушения, включая дисквалификацию должностных лиц.

3. Методика расчёта ущерба:

– Включить оценку утраченных экологических функций леса (водорегулирующей, почвозащитной, рекреационной).

– Разработать единые стандарты для всех органов экологического контроля.

Список литературы:

1. Романов В. Административная и уголовная ответственность за нарушение лесного законодательства // Российская юстиция. – 1998. – № 5. – С. 32–35.

2. Холмуминов Ж.Т. Экология ва ҳаёт: қонунчилиқни такомиллаштириш масалалари. Монография. - Тошкент: “Фалсафа ва ҳуқуқ институти” нашриёти, 2010. - 210 б.

3. Кодекс Республики Узбекистан об административной ответственности от 22 сентября 1994 г. № 2015-ХП // Национальная база данных законодательства РУз. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lex.uz/acts/97661> (дата обращения: 17.01.2026).

4. Уголовный кодекс Республики Узбекистан от 22 сентября 1994 г. № 2012-ХП // Национальная база данных законодательства РУз. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lex.uz/acts/111457> (дата обращения: 07.01.2026).

5. Юсупов М. «Особенности уголовной ответственности за незаконную порубку леса в Узбекистане» // Вестник Ташкентского государственного юридического университета, 2020, №2. – С. 25-28.

6. Закон Республики Узбекистан «О лесе» от 15 апреля 1999 года // Национальная база данных законодательства РУз. - [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lex.uz/acts/111457> (дата обращения: 07.01.2026).

7. Постановление Кабинета Министров «Правила рубок ухода за лесом в Республике Узбекистан» от 22 ноября 1999 года // Национальная база данных законодательства РУз. -

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lex.uz/acts/111457> (дата обращения: 07.01.2026).

8. Курбанов А. Уголовно-правовая охрана окружающей среды в Узбекистане. — Ташкент: Академия МВД РУз, 2018. – 36 с.

9. Рустамбаев М.Х., Комментарий к Уголовному кодексу Республики Узбекистан. Особенная часть, Ташкент: ТГЮИ «Укутувчи», 2004. - С. 523–524

10. Жумабаев Д.К. Проблемы правоприменения в сфере охраны и рационального использования земель лесного фонда в Республике Казахстан // Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. Серия: Право. 2022. № 3(140). - С. 103–115.

УДК 349.6

Байтурова Аида Набиевна

Самостоятельный соискатель
Ташкентского государственного юридического университета
(г. Ташкент, Узбекистан)

ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В СФЕРЕ ТУРИЗМА РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Аннотация: В статье рассматриваются правовые аспекты цифровизации экологического мониторинга в сфере туризма Республики Узбекистан. Анализируется действующее экологическое и туристическое законодательство, выявляются основные правовые пробелы и институциональные ограничения, препятствующие внедрению цифровых технологий в систему экологического мониторинга туристских территорий. Особое внимание уделяется использованию современных цифровых инструментов, таких как геоинформационные системы, дистанционное зондирование

Ключевые слова: цифровизация, экологический мониторинг, экотуризм, устойчивое развитие, правовое регулирование, Республика Узбекистан.

Одним из важнейших условий обеспечения экологической безопасности при реализации туристической деятельности является внедрение систем экологического мониторинга. Цифровизация этого процесса открывает новые горизонты, повышает прозрачность и эффективность государственного контроля, снижает экологические риски, связанные с ростом турпотока в особо охраняемых природных территориях. Однако, несмотря на активное развитие цифровых технологий, правовые механизмы, регулирующие цифровой экологический мониторинг в туризме, в Узбекистане находятся на начальном этапе становления.

Экологический мониторинг в сфере туризма представляет собой систематическое наблюдение за состоянием окружающей среды в районах, подверженных туристической нагрузке, с целью оценки воздействия туристической деятельности и выработки решений по сохранению природных экосистем. Как отмечает узбекский ученый М.Т. Хайдаров, "экотуризм не должен превращаться в фактор деградации природных ресурсов, а напротив — стимулировать сохранение биоразнообразия через научно обоснованное регулирование туристской активности" [1].

На международном уровне ключевые принципы экологического мониторинга зафиксированы в ряде документов, в частности — в Рио-де-Жанейрской декларации по окружающей среде и развитию (1992), а также в повестке дня ООН в области устойчивого развития на период до 2030 года.

В Узбекистане нормативную основу мониторинга составляют Закон "Об охране природы" (1992 г.), Закон "Об охране и использовании животного мира" (1997 г.), Закон "Об экологической экспертизе" (2000 г.) и др. Однако специализированное регулирование именно цифрового мониторинга в сфере туризма практически отсутствует.

Современные цифровые технологии — спутниковые и дронные съёмки, автоматизированные системы учета посещаемости, IoT-датчики, геоинформационные системы (ГИС) — позволяют проводить эффективный экологический мониторинг в реальном времени. Применение этих технологий особенно важно в зонах массового туризма — в национальных парках, биосферных резерватах и на объектах Всемирного природного наследия ЮНЕСКО [2].

По мнению Р.Э. Отажоновой, "цифровизация не только обеспечивает прозрачность и оперативность управления природоохранной сферой, но и формирует новую культуру ответственного туризма среди населения и бизнес-сектора" [3].

Цифровизация в сфере устойчивого туризма включает в себя применение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) для анализа, прогнозирования и управления экологическими, социальными и экономическими аспектами туристической деятельности. По мнению Т.Т. Демченко, цифровые технологии позволяют «оперативно получать экологически значимую информацию, отслеживать поведение туристов и обеспечивать прозрачность управленческих решений» [4].

Цифровизация охватывает все сферы жизнедеятельности современного общества, включая охрану окружающей среды. Особенность цифровых технологий заключается в их универсальности и возможности интеграции в различные области социально-экономического развития. Несмотря на то, что сами по себе цифровые решения не обеспечивают прямого устранения экологических проблем, они существенно упрощают обработку значительных массивов статистической информации, способствуют комплексному и оперативному анализу данных, а также позволяют повысить эффективность управленческих процессов в экологической сфере [5].

В рамках цифровой трансформации охраны окружающей среды важное место занимает экологический мониторинг. На сегодняшний день очевидна высокая значимость информационных систем экологического наблюдения как элемента цифровизации. Эти системы тесно связаны с технологиями обработки больших данных (Big Data), что предполагает развитие новых алгоритмов сбора, хранения, анализа и интерпретации информации. Благодаря таким подходам обеспечивается системное управление состоянием природной среды и прогнозирование экологических рисков.

Во всем мире цифровые технологии (ГИС, спутниковый мониторинг, «умные» платформы туризма и Big Data) активно применяются для оценки антропогенного воздействия, прогнозирования рисков, управления потоками туристов. Как отмечает Н.Н. Мукашева, «внедрение цифровых решений позволяет создать интегрированную систему мониторинга, обеспечивающую устойчивость туристической деятельности и охрану природных ресурсов» [6].

Цифровая трансформация в туризме охватывает:

- спутниковый и дрон-мониторинг особо охраняемых природных территорий;
- онлайн-учет посещаемости и туристских потоков;
- автоматизированные системы контроля выбросов и нагрузки на экосистемы;
- разработку мобильных приложений с экологическими рекомендациями для туристов.

Узбекистан предпринимает шаги к цифровой трансформации экологического управления, в том числе и в туристской отрасли. В последние годы внедрены:

- Геоинформационные системы (ГИС) для учета и мониторинга особо охраняемых природных территорий (ООПТ);

– 1 сентября 2024 года электронную платформу «Путешествие на природу» и ее мобильное приложение;

– система электронных разрешений на посещение экозон.

Однако, как отмечает Тошев Б.М., «цифровизация экологического туризма в Узбекистане носит эпизодический характер, не будучи частью единой государственной стратегии устойчивого развития» [7].

Правовое обеспечение цифровизации в сфере экотуризма включает:

- нормативную базу, регулиующую сбор, обработку и использование экологических данных;
- законодательство о защите персональных данных туристов;
- лицензирование цифровых сервисов и цифровых карт ООПТ;
- ответственность за нарушение режима цифрового мониторинга или фальсификацию экологических данных.

Следует отметить, что в Узбекистане пока отсутствует специализированный закон о цифровом экологическом мониторинге или «цифровом туризме».

В Узбекистане отдельные элементы цифрового мониторинга уже внедряются. Так, Министерство экологии, охраны окружающей среды и климатических изменений Республики Узбекистан инициировало проект по установке автоматизированных станций контроля загрязнения воздуха в Ташкенте и других регионах. Однако в отношении туристических территорий такая практика пока носит точечный и экспериментальный характер.

Одной из главных проблем является отсутствие в национальном законодательстве определения и правового статуса цифрового экологического мониторинга, что затрудняет координацию между различными субъектами — государством, бизнесом, научным сообществом и НПО. Кроме того, существует проблема фрагментарности правовых норм, регулирующих вопросы сбора, хранения и использования экологических данных в туристическом секторе.

Как отмечает профессор Т.Ю. Джурсаев, "без чёткой правовой регламентации цифровых процессов мониторинга возрастает риск несанкционированного использования данных и снижается доверие населения к экологическим реформам" [8].

Также стоит отметить недостаточную подготовленность кадров в области цифровых и экологических технологий, особенно в региональных управлениях туризма и экологии.

Опыт ряда стран может быть полезен для Узбекистана. Например:

• В Южной Корее используется единая цифровая платформа экологического мониторинга национальных парков с открытым доступом к данным.

• В Германии действует закон о цифровом управлении природными территориями, предусматривающий обязательное использование ГИС-технологий при проведении ОВОС.

• Казахстан с 2023 года реализует программу «Цифровой экотуризм», в рамках которой разрабатываются онлайн-карты экологически уязвимых зон и проводится автоматическая оценка туристической нагрузки.

Данные примеры показывают, что успешное внедрение цифрового мониторинга требует комплексного подхода — технологического, институционального и нормативного.

Современное развитие туристической отрасли в Узбекистане, в особенности экологически ориентированного туризма, требует внедрения новых управленческих инструментов, основанных на цифровых технологиях. Одним из наиболее актуальных направлений становится цифровизация экологического мониторинга, которая позволяет отслеживать и анализировать воздействие туристической деятельности на окружающую среду в режиме реального времени. Несмотря на то, что этот процесс в Узбекистане находится на стадии становления, потенциал его внедрения оценивается как весьма высокий. Однако для того, чтобы этот потенциал реализовался в полной мере, необходимо совершенствовать законодательство и институциональные механизмы, которые сегодня еще не в полной мере учитывают особенности цифровой трансформации.

Заключение. Первым важным аспектом является то, что существующая нормативно-правовая база, регулирующая туризм и охрану окружающей среды, не содержит четких положений, касающихся цифрового мониторинга. Законы в сфере туризма и экологии разработаны преимущественно с учетом традиционных механизмов регулирования и контроля, что создает определенные правовые пробелы при попытках внедрить инновационные решения, такие как использование спутникового мониторинга, геоинформационных систем (ГИС), дронов и технологий Интернета вещей (IoT). Это, в свою очередь, ограничивает возможности государства, бизнеса и научного сообщества по внедрению современных инструментов управления туристической нагрузкой на природные объекты.

Вторым важным выводом является необходимость систематизации существующих норм и создания единого правового механизма, который бы определял принципы, цели и задачи цифрового экологического мониторинга. Сегодня различные ведомства и организации реализуют отдельные проекты по мониторингу состояния окружающей среды и туристической активности, однако отсутствует координация и единый цифровой стандарт. Недостаток интеграции приводит к тому, что собранные данные остаются разрозненными, что снижает эффективность принимаемых управленческих решений. Более того, слабое правовое регулирование не позволяет привлекать достаточные инвестиции в цифровую инфраструктуру туризма, что замедляет внедрение инноваций в этой сфере.

Третий вывод касается институционального взаимодействия. Несмотря на то, что в стране действуют органы, отвечающие за туризм и охрану природы (Министерство по делам туризма и культурного наследия, Министерство экологии, охраны окружающей среды и изменения климата), между ними отсутствует четко налаженный механизм обмена данными о туристической нагрузке на особо охраняемые природные территории (ООПТ). Сложившаяся ситуация требует создания единой интегрированной платформы цифрового экологического мониторинга, которая бы обеспечивала межведомственное взаимодействие, а также предоставляла открытый доступ к ключевым экологическим показателям (например, качество воздуха, уровень шума, антропогенная нагрузка).

Четвертый вывод заключается в том, что национальное законодательство в настоящее время не адаптировано к международным стандартам устойчивого туризма и цифрового природопользования. Узбекистан является участником ряда международных соглашений в области охраны окружающей среды (в том числе Рамсарской конвенции и Повестки дня в области устойчивого развития на период до 2030 года), однако для полноценного выполнения взятых обязательств необходимо внедрить новые правовые

нормы, регулирующие цифровой контроль и управление экологическими последствиями туристической деятельности.

Для устранения выявленных проблем и пробелов предлагается разработать комплекс мер по совершенствованию законодательства в области цифрового экологического мониторинга туризма:

1. Принятие специального нормативного акта. Необходимо разработать и принять отдельный нормативно-правовой акт, посвященный цифровому экологическому мониторингу, который закрепит принципы и механизмы взаимодействия государства, бизнеса и научного сообщества. Такой акт позволит систематизировать существующие нормы, а также установить правовые требования к использованию цифровых технологий, включая ГИС-системы, дроны, автоматизированные станции мониторинга и IoT-сенсоры.

2. Интегрированная цифровая платформа. Предлагается создать единую национальную цифровую платформу для экологического мониторинга туристических объектов и ООПТ. Эта система должна обеспечивать сбор, обработку и анализ данных о состоянии окружающей среды, туристической нагрузке, а также рисках для экосистем. Доступ к ключевым экологическим показателям должен быть открыт для органов власти, бизнеса, научных организаций и общественности, что позволит повысить прозрачность и эффективность управления.

3. Изменения в Закон «О туризме» Республики Узбекистан. Для внедрения цифрового контроля экологических последствий туристической деятельности необходимо внести дополнения в Закон «О туризме» (№ ZRU-549 от 18.07.2019 г.), закрепив следующие положения:

– В статью 4 «Основные принципы туристической деятельности» — добавить принцип использования цифровых технологий для мониторинга и контроля воздействия туризма на окружающую среду, включая спутниковый мониторинг и ГИС-системы.

– В статью 6 «Государственное регулирование в сфере туризма» — включить норму о внедрении цифровых платформ и автоматизированных систем для экологической оценки туристических объектов.

– В статью 11 «Полномочия уполномоченного органа» — дополнить обязанностью разрабатывать и внедрять цифровые инструменты, включая блокчейн-системы учета туристов и онлайн-мониторинг.

– Добавить новую статью 18¹ «Цифровой экологический мониторинг в туризме», предусматривающую правовые основы внедрения цифровых технологий, порядок работы платформ, взаимодействие с национальными экологическими базами данных и меры ответственности за нарушения.

4. Цифровизация особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В рамках предложенных реформ необходимо внедрить комплексные системы мониторинга на базе современных технологий: дронов, датчиков качества воздуха и воды, камер с автоматическим распознаванием нарушений. Также целесообразно интегрировать эти системы с глобальными базами данных для проведения анализа в режиме реального времени.

5. Кадровая и научная поддержка. Для успешного внедрения цифровых решений требуется развитие кадрового и научного потенциала в области экотуризма. Следует поддерживать программы в университетах, направленные на подготовку специалистов в сфере цифрового природопользования, а также развивать международное сотрудничество и обмен опытом. Это позволит повысить квалификацию кадров и ускорить трансфер технологий в туристическую отрасль.

Цифровизация экологического мониторинга в сфере туризма является важнейшим направлением, обеспечивающим устойчивое развитие туристической отрасли и охрану природных ресурсов. Создание эффективной правовой базы, ориентированной на внедрение современных цифровых технологий, позволит Узбекистану не только повысить качество управления туристической инфраструктурой, но и укрепить свой имидж как страны, развивающей экологически ответственный туризм.

Комплексный подход, включающий законодательные инициативы, техническую модернизацию и подготовку кадров, создаст предпосылки для устойчивого взаимодействия государства, бизнеса и общества.

Список литературы:

1. Хайдаров М.Т. Экономические механизмы поддержки сферы туризма в Узбекистане и пути повышения его эффективности // Журнал "Экономика и финансы", 2022. №4. С. 55–61.
2. Eagles P.F.J., McCool S.F., Haynes C.D. Sustainable Tourism in Protected Areas: Guidelines for Planning and Management. – Gland, Switzerland; Cambridge, UK: IUCN, 2002. – 183 p.
3. Отажонов Р.Э. Экотуризм и устойчивое развитие: проблемы и перспективы в Узбекистане // Вестник Ташкентского государственного университета экономики, 2023. №1. - С. 44–49.
4. Демченко Т.Т. Цифровая трансформация устойчивого туризма: возможности и ограничения // Экономика и управление. — 2022. — № 8. — С. 112–118.
5. Амашукели С.А. Развитие цифровизации в сфере использования и охраны водных объектов// Актуальные проблемы российского права. 2022. № 3. - С. 177–187.
6. Мукашева Н.Н. Цифровые технологии в устойчивом туризме // Туризм и устойчивое развитие. – 2022. – №2. – С. 35–41.
7. Тошев Б.М. Современные тренды экологического туризма в Узбекистане // Туризм и экология. — 2023. — № 2. — С. 89–96.
8. Джуроев Т.Ю. Правовые аспекты цифровизации природоохранной деятельности // Юридическая наука и практика: электронный журнал. – 2021. – №5(21). – С. 62–68.

ӘОЖ 364.013(574)

Бердалиева Айнұр Қарабекқызы
магистрант, Цифрлық мемлекеттік басқару мектебі
«Astana IT University» ЖШС
(Астана қ., Қазақстан)

ҚАЗАҚСТАН ТӘЖІРИБЕСІНДЕ МЕМЛЕКЕТТІК ӘЛЕУМЕТТІК БАҒДАРЛАМАЛАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕ ӨЗГЕРІСТЕР ТЕОРИЯСЫ

Аңдатпа: ақалада Қазақстандағы мемлекеттік әлеуметтік бағдарламаларды тиімді жоспарлау және бағалау үшін Өзгерістер теориясын (ToC) қолдану мүмкіндігі қарастырылады. Зерттеу елдегі әлеуметтік бағдарламалар мен жастар саясатының нәтижелілігін арттыру қажеттілігін негіздейді, тиімді басқарудың өлшенетін көрсеткіштер мен бірыңғай әдістемеге сүйенетінін көрсетеді [1][2]. ТоС ұзақ мерзімді мақсаттарды нақты тұжырымдауға, негізгі болжамдарды айқындауға, ашықтық пен есептілікті арттыруға мүмкіндік береді [3]. Бағдарламаларды М&Е және RBM жүйелерімен интеграциялау, институционалдық қолдау, кадрлық әлеуетті нығайту және цифрландыру қажеттілігі атап өтіледі [6][7]. ТоС қолдану бағдарламаларды жүйелі жоспарлауға және тиімділікті арттыруға ықпал етеді.

Кілт сөздер: өзгерістер теориясы; мониторинг және бағалау; нәтижелілік; мемлекеттік әлеуметтік бағдарламалар; жастар саясаты; Қазақстан.

Кіріспе. Балалар мен жастарға арналған әлеуметтік бағдарламалар Қазақстанның даму саясатының маңызды бөлігі болып табылады, себебі жастар елдің болашағын анықтайды [1]. Дегенмен, бағдарламалардың тиімділігі жиі күмән тудырады: мемлекеттік басқаруда бағалау әдістемесі мен бірыңғай индикаторлар жеткіліксіз [1].

Мемлекеттік саясат экономикалық өзгерістер, цифрлық трансформация және азаматтардың күтілімдерінің өсуі сияқты факторлармен күресуде. Осыған байланысты Өзгерістер теориясы (ToC) бағдарламаларды жоспарлау, бағалау, бейімделгіштік пен тұрақтылыққа қол жеткізу құралы ретінде маңызды. ТоС негізгі болжамдарды айқындап, өзгерістер тізбегін көрсетеді және ашық диалогқа мүмкіндік береді. Оның болуы халықаралық донорлар мен грант берушілер үшін талап етіледі, мысалы, NWO Impact Plan немесе Ирландия Ғылым қоры Impact Pathway [7].

Зерттеудің мақсаты – Өзгерістер теориясы тұжырымдамасын терең талдау және оның Қазақстандағы мемлекеттік әлеуметтік бағдарламалардың тиімділігін арттыру әлеуетін айқындау. Зерттеу міндеттері мыналарды қамтиды: ТоС тәсілінің эволюциясы мен артықшылықтарын ашу, оны қолданудың халықаралық тәжірибесін талдау, ұлттық контекст пен нормативтік-құқықтық базаны зерттеу, мемлекеттік бағдарламаларға арналған Өзгерістер теориясын әзірлеудің әдістемелік тәсілін ұсыну және ТоС-ты мемлекеттік басқару жүйесіне интеграциялау бойынша ұсынымдар әзірлеу.

Өзгерістер теориясының ұғымы мен эволюциясы. Өзгерістер теориясы (Theory of Change, ToC) – жоспарланған іс-шаралар мен ресурстардың аралық және ұзақ мерзімді нәтижелерге қалай әкелетінін, сондай-ақ бұл үдерістерге әсер ететін негізгі болжамдар мен сыртқы факторларды сипаттайтын логикалық модель. Білім беру бағдарламаларына жүргізілген формативтік бағалау қорытындылары негізінде әзірленген UNICEF

құжатында Өзгерістер теориясы «қызмет түрлері нәтижелер мен өнімдердің жиынтығына қалай алып келетінін және олардың түпкілікті әсерге қол жеткізуге қалай ықпал ететінін сипаттайды; ол жобалардан бастап стратегияларға дейінгі әртүрлі деңгейлерде қолданылуы мүмкін» деп көрсетіледі [2]. Графикалық тұрғыдан ТоС әдетте ресурстар мен іс-әрекеттерден (*inputs*) бастап, өнімдерге (*outputs*), нәтижелерге (*outcomes*) және әсерге (*impact*) дейінгі тізбек түрінде бейнеленеді.

ТоС тұжырымдамасы 1990-жылдардың ортасында кеңінен тарала бастады. Бұл бағыттағы алғашқы жарияланымдардың авторы Кэрол Вайсс оның пайда болуын кешенді даму бағдарламаларын бағалаудағы қиындықтармен байланыстырды: бағдарламалардың негізінде жатқан болжамдар көп жағдайда айқын көрсетілмей, себеп-салдарлық байланыстарды талдауды күрделендірген [3]. Өзгерістер теориясы осы болжамдарды ашық түрде тұжырымдауға, өзгерістердің логикалық тізбегін құруға және сол арқылы ықпалды бағалауды жеңілдетуге мүмкіндік береді. Уақыт өте келе әдіснама дамып, әртүрлі салаларда қолданылды: ТоС құрудың бес кезеңін (мақсаттар мен болжамдарды анықтау, нәтижелерді кері карталау, индикаторларды әзірлеу, әлеуметтік өзгерістер бағыттарын айқындау және модельді сипаттау) иллюстрациялайтын «Супервумен» жобасынан бастап [5], мемлекеттік бағдарламалар мен ғылыми жобаларға дейін.

Қосымша артықшылықтар мен операциялық аспектілер. Өзгерістер теориясының кеңінен танылған артықшылықтарынан бөлек, халықаралық құжаттар бірқатар операциялық артықшылықтарды да атап өтеді. Ұлыбританияның мемлекеттік аналитиктер қызметінің деректеріне сәйкес, ТоС – бағалауды бағдарламаны жобалау үдерісіне ең бастапқы кезеңнен бастап кіріктіретіндіктен, оны тиімді ететін әдіснама болып табылады [6]. ТоС қолдану контексті кешенді түсінуге ықпал етеді, қолда бар дәлелдемелік базаны талдауға және мүдделі тараптар арасында консенсус қалыптастыруға ынталандырады [6]. Ұлыбритания үкіметінің сарапшыларының қолдауымен әзірленген **AF TOC toolkit** ТоС құру үдерісін **11 қадам арқылы сипаттайды**: стейкхолдерлерді айқындау мен ұзақ мерзімді әсерді анықтаудан бастап, диаграмма құру, болжамдар мен тәуекелдерді сипаттау және мониторинг пен бағалау жоспарын әзірлеуге дейін. Бұл үдерісте модельдің сапасына және оны тұрақты түрде қайта қарауға баса назар аударылады; әрбір кезеңде өзара оқытудың және пропорционалды тәсілдің маңызын көрсететін практикалық мысалдар мен ресурстар ұсынылады [6].

Зерттеу қорлары мен университеттер ТоС-ты ғылыми жобалардың ықпалын арттыру құралы ретінде пайдаланады. ТоС әзірлеу зерттеушілерді нәтижелерден тыс ойлауға, ықпалды нақты тұжырымдауға және аудиторияны анықтауға итермелейді, бірлесіп құру қатысушылар арасында сенім мен ортақ терминология қалыптастырады, оқытуға бағытталған индикаторларды жасауға мүмкіндік береді [7]. Сапалы ТоС кейінгі кезеңде қателіктерді азайтып, үйлестіруді жақсартады. Дегенмен, ТоС әзірлеу коммуникациялық дағдылар мен модераторларды қажет етеді; уақыт, ресурстар шектеулігі және үдерістерді жеңілдету қиындықтар туындатуы мүмкін. Шектеулерді жеңу үшін қатысушыларды даярлау, тәуелсіз фасилитаторларды тарту, дәлелдерге сүйену және ТоС-ты «тірі құжат» ретінде жаңарту ұсынылады [7].

Артықшылықтары мен шектеулері. Халықаралық тәжірибе Өзгерістер теориясының (ТоС) бірқатар маңызды артықшылықтарын көрсетеді. Ол ұзақ мерзімді мақсаттарды және оларға жету жолдарын нақтылауға, тексерілетін болжамдарды қалыптастыруға, есептілік пен ұйымдық оқытуды күшейтуге мүмкіндік береді. Сонымен

қатар ТоС ықпалды бағалауға құрылым ұсынып, мүдделі тараптармен бірлескен жоспарлауды және ресурстарды ұтымды бөлуді жеңілдетеді, SMART-индикаторларды айқындауға жағдай жасайды [3][6][7].

Алайда ТоС әмбебап құрал емес. Оны әзірлеу уақыт пен ресурстарды талап етеді, ал барлық орындаушылар тартылмаған жағдайда ол формалды құжатқа айналуы мүмкін. Консенсусқа қол жеткізу күрделі, ал себеп–салдарлық байланыстарды шамадан тыс жеңілдету қате болжамдарға әкелуі ықтимал [3][7]. Сондықтан ТоС-ты тиімді қолдану үшін кадрларды оқыту, жеткілікті ресурстық және фасилитациялық қолдау көрсету, сондай-ақ пропорционалдылық қағидатын сақтай отырып, модельді деректер негізінде тұрақты түрде жаңартып отыру қажет [6][7].

Өзгерістер теориясы (ТоС) бағалаудың қолданыстағы тәсілдерін толықтырып, әрі қарай дамытады. Атап айтқанда, **ол мониторинг және бағалау жүйесімен (M&E) және нәтижеге бағдарланған басқарумен (RBM) тығыз байланысты**. M&E бағдарламаның іске асу барысы мен жоспарланған көрсеткіштерге қол жеткізу деңгейі туралы деректерді жинауға басымдық береді, ал RBM мақсаттар мен нәтижелерге негізделген басқаруға бағытталған. Ал ТоС өзгерістердің іске асу тетіктеріне назар аударады, себеп–салдарлық байланыстарды нақтылайды және M&E мен RBM-ді болжамдарды, тәуекелдерді және сыртқы факторларды айқын тұжырымдау талабымен толықтырады. Осы тәсілдердің жиынтығы әлеуметтік бағдарламаларды жоспарлау, іске асыру және бағалаудың кешенді жүйесін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, заманауи әдістемелік нұсқаулықтар ТоС-ты M&E және RBM тетіктеріне интеграциялауды ұсынады: мысалы, Ұлыбритания үкіметі әзірлеген ТоС әдістемесінде өзгерістер тізбегіне негізделген мониторинг және бағалау жоспарын жасау нақты көзделген, бұл аудит пен нәтижелерді талдауды жеңілдетеді [6].

Өзгерістер теориясы халықаралық ұйымдар, донорлар және үкіметтік емес құрылымдар тарапынан жоспарлау мен бағалау үдерістерінде кеңінен қолданылады. Оның танымалдығының артуы басқарушы органдар мен донорлардың бағдарламалардың ұзақ мерзімді ықпалына нақты негіздеме талап етуімен байланысты; көптеген қорлар гранттық өтінімдерде ТоС ұсынуды міндеттейді және серіктестеріне оны әзірлеу рәсімі бойынша кеңес береді [6][7]. Көптеген елдерде ТоС outcome delivery plans әзірлеуде пайдаланылады, өйткені ол стратегиялық мақсаттар мен жедел іс-қимылдар арасындағы сабақтастықты қамтамасыз етіп, мониторингке жүйелі негіз қалыптастырады [6].

Халықаралық донорлардың тәжірибесінде ТоС құрудың бірнеше ортақ қадамдары айқындалады. «Superwoman» жобасының мысалында мамандар бес кезеңді бөліп көрсетеді: **мақсаттар мен болжамдарды анықтау, нәтижелерді кері карталау, индикаторларды әзірлеу, әлеуметтік өзгерістердің бағыттарын айқындау және сипаттамалық әрі визуалдық картаны дайындау** [5]. Бұл құрылым әмбебап болып табылады және әртүрлі бағдарламаларға бейімделе алады; ол іс-шаралар мен нәтижелер арасындағы логикалық байланысты сипаттаумен қатар, іске асыруға әсер етуі мүмкін алғышарттар мен тәуекелдерді алдын ала айқындаудың маңыздылығын көрсетеді.

Ұлыбританияда әзірленген **AF TOC toolkit** бұл тәсілді жетілдіріп, процестің 11 кезеңін ұсынады: стейкхолдерлерді анықтау, дәлелдер мен контекстік ақпаратты жинау, түпкі мақсаттарды тұжырымдау, нәтижелерді айқындау, шығулар мен іс-шараларды бөлу, ресурстарды сипаттау, болжамдарды қалыптастыру, тәуекелдерді анықтау, себеп–салдарлық байланыстарды құру, диаграмма мен сипаттаманы дайындау, сондай-ақ мониторинг және бағалау жоспарын әзірлеу [6]. Бұл әдістеменің ерекшелігі – сапа мен

икемділікке баса назар аударуы: әрбір ТоС сапа тұрғысынан бағаланып, іске асыру барысында өзектілігін сақтау үшін тұрақты түрде қайта қаралуы тиіс. Сонымен бірге, модельді бағдарламаның ауқымы мен күрделілігіне бейімдеу қажеттілігі атап өтіледі, яғни ТоС артық егжей-тегжейлі бюрократиялық құжатқа айналмауы керек [6].

UNICEF мысалы: инклюзивті білім беру. Қазақстанда ТоС қолданудың алғашқы ауқымды мысалдарының бірі – UNICEF-тің Қазақстан Республикасы Білім министрлігімен бірлесіп жүргізген білім беруді дамыту жөніндегі мемлекеттік бағдарламалардың формативтік бағалауы. Бағалау нәтижесінде білім беру жүйесінде инклюзивтілікті ілгерілетуге арналған Өзгерістер теориясы әзірленді [2]. Бұл ТоС іс-шаралар мен стратегиялардың 2030 жылға қарай Инклюзивті және әділетті сапалы білім беруді қамтамасыз етуге қалай алып келетінін сипаттайды, бұл Тұрақты даму мақсаттарының 4-мақсатына сәйкес келеді. Құжатқа сәйкес, осы мақсатқа жету үшін мыналар қажет:

1. **Әріптестікті және сектораралық үйлестіруді нығайту** – көлденең және тік деңгейлерде үйлестіру тетіктерін қалыптастыру, бірлескен стратегиялар әзірлеу, балаларды қолдау үшін мамандар мен ата-аналар командаларын құру, деректер жинауды жетілдіру [2].

2. **Қолжетімділікті әмбебаптандыру және теңдікті ілгерілету** – әртүрлі жастағы балалар үшін қызметтердің қолжетімділігін қамтамасыз ету, ерте және мектептік білім берудің қамтылуын кеңейту; гендерлік теңдікке, ата-аналар мен қоғамның қатысуына назар аудару [2].

3. **Балаларды жан-жақты қолдау үшін базалық білім мазмұнын кеңейту** – білім беру, психологиялық, әлеуметтік және медициналық қызметтерді интеграциялау; өзгермелі талаптарға бейімделетін икемді стратегияларды қолдану; шешім қабылдау үшін үлкен деректерді пайдалану [2].

Бұл Өзгерістер теориясы үйлестіру, әмбебап қолжетімділік және кешенді қолдаудың үйлесуі инклюзивті білім беру жүйесін қалыптастыруға алып келетінін көрсетеді. Ол араласуларды жоспарлау, индикаторларды әзірлеу және нәтижелерді бағалау үшін қолданылады.

Қазақстандық контекст: жағдайы, нормативтік база және бағалау мәселелері. Қазақстанда жастар саясаты мен әлеуметтік бағдарламалар серпінді даму үстінде. Зерттеулерге сәйкес, 2020–2024 жылдар аралығында жастар саясатына деген көзқарастар эволюцияға ұшырап, патерналистік басқару моделінен серіктестік және қатысымдық (партисипативтік) модельге қарай бет бұрды [4]. Халықаралық тәжірибе цифрлық платформалар мен сектораралық ынтымақтастықтың маңыздылығын атап өтеді, алайда Қазақстанда бірқатар шешілмеген мәселелер сақталуда: жастардың шешім қабылдау үдерістеріне жеткіліксіз тартылуы, білім беру бағдарламаларының еңбек нарығы талаптарына сәйкес келмеуі және әлеуметтік теңсіздік [4]. Сарапшылар жастар саясатының тиімділігін бағалаудың айқын индикаторлары мен тұрақты мониторингке негізделген кешенді жүйесін құруды ұсынады [4].

Әлеуметтік бағдарламаларды реттейтін нормативтік база да ерекше назар аударуды талап етеді. Қазақстан Республикасының «Мемлекеттік әлеуметтік тапсырыс, үкіметтік емес ұйымдарға арналған гранттар мен сыйлықақылар туралы» Заңы мемлекеттік әлеуметтік тапсырысты құқықтық реттеудің негізгі қағидаттарын белгілейді: заңдылық, әлеуметтік бағдарламаларды іске асыру тиімділігін арттыру, азаматтардың қатысуы,

үкіметтік емес ұйымдар үшін тең мүмкіндіктер, жариялылық пен ашықтық [8]. Уәкілетті орган мемлекеттік органдардың қызметін үйлестіреді, ақпараттық, консультациялық және әдістемелік қолдау көрсетеді, Үйлестіру кеңесін құрады және мониторинг пен бағалау қағидаларын бекітеді [8]. Жергілікті атқарушы органдар ҰЕҰ қызметі туралы ақпарат жинайды, ал үйлестіру кеңестері мемлекет пен азаматтық қоғам арасындағы өзара іс-қимылды қамтамасыз етеді. Бұл нормалар мемлекеттік әлеуметтік тапсырыстың ашық әрі тиімді жүйесін қалыптастыруға бағытталғанымен, тәжірибеде мониторинг тетіктері жеткілікті деңгейде дамымаған, ал бағалау рәсімдері көбіне формалды сипатқа ие.

Мемлекеттік әлеуметтік бағдарламаларға қатысты зерттеулер, әсіресе жастар саясаты саласында, нәтижелілікті бағалаудың стандартталған критерийлері мен индикаторларының жоқтығын көрсетеді [1]. Бұл бағдарламаларды салыстыруды және басқарушылық шешімдер қабылдауды қиындатады. Сонымен қатар, мониторинг пен бағалауды реттейтін нормативтік құжаттардың саны шектеулі және олардың талаптары практикада жиі сақталмайды. Бірыңғай әдістеменің болмауы бағдарламалардың әртүрлі сарапшылар тарапынан әрқилы өлшемдер бойынша бағалануына әкеліп, бағалау нәтижелеріне деген сенімді төмендетеді және алынған деректерді саясатты түзету үшін пайдалануды күрделендіреді.

Зерттеу әдіснамасы және Өзгерістер теориясын құруға көзқарас

Бұл зерттеу десктоп-талдау әдісіне негізделген. Қазақстан Республикасының нормативтік-құқықтық актілері, халықаралық ұйымдардың есептері, әлеуметтік бағдарламаларды мониторингтеу және бағалау мәселелеріне арналған ғылыми мақалалар мен әдістемелік материалдар зерттелді. Қосымша деректер ТоС жөніндегі халықаралық нұсқаулықтардан, сондай-ақ зерттеу орталықтарының аналитикалық есептері мен блогтарынан алынды.

Мемлекеттік бағдарламаларға бейімделген ТоС әзірлеу үдерісі халықаралық нұсқаулықтарға сүйене отырып [5][6], келесі кезеңдерді қамтиды:

1. **Стейкхолдерлерді анықтау және түпкі мақсаттарды келісу.** Алғашқы кезеңде негізгі мүдделі тараптар (мемлекеттік органдар, ҰЕҰ, бенефициарлар, сарапшылар) айқындалып, бағдарламаның ұзақ мерзімді ықпалы келісіліп анықталады. Бұл мәселені және күтілетін өзгерістерді бірлесіп түсінудің негізін қалайды.

2. **Дәлелдерді жинау және контексті талдау.** Қолда бар зерттеулер, статистикалық деректер және сараптамалық пікірлер жиналып, мәселелерді, қажеттіліктерді және сыртқы факторларды нақтылауға мүмкіндік береді. Контекстік талдау жалған болжамдардан сақтандырып, тәуекелдер мен мүмкіндіктерді айқындайды.

3. **Ұзақ мерзімді ықпалды (impact) тұжырымдау.** Бағдарлама қол жеткізуі тиіс сапалық өзгеріс анықталады (мысалы, жастардың әл-ауқатын арттыру, жұмыссыздықты қысқарту, инклюзивті білім беруді қамтамасыз ету).

4. **Аралық нәтижелерді (outcomes) айқындау.** Түпкі мақсатқа жету үшін қажетті мінез-құлықтағы, білімдегі немесе жағдайлардағы нақты өзгерістер белгіленеді. Әрбір нәтиже тиісті өзгерістерге қатысты гипотезамен сүйемелденеді.

5. **Шығуларды (outputs) және іс-шараларды (activities) анықтау.** Бағдарлама шеңберінде өндірілетін өнімдер мен көрсетілетін қызметтер, сондай-ақ оларды қамтамасыз ететін негізгі іс-қимылдар сипатталады.

6. **Ресурстарды (inputs) айқындау.** Іс-шараларды іске асыруға қажетті кадрлық, қаржылық, материалдық және ақпараттық ресурстар нақтыланады.

7. **Болжамдар мен тәуекелдерді тұжырымдау.** ТоС компоненттері арасындағы әрбір байланыс үшін болжамдар (мысалы, саяси қолдау, білікті кадрлардың болуы) және табысқа әсер етуі мүмкін сыртқы факторлар (экономикалық, мәдени, экологиялық) белгіленеді.

8. **Себеп–салдарлық байланыстарды құру және визуализациялау.** Өзгерістердің дәйектілігін көрсететін графикалық схема жасалып, жобаның логикасын сипаттайтын мәтіндік негіздеме әзірленеді.

9. **Мониторинг және бағалау жоспарын әзірлеу.** Әрбір деңгейге (inputs, outputs, outcomes, impact) арналған индикаторлар, дереккөздер, деректер жинау әдістері (сауалнамалар, әкімшілік деректер, үлкен деректер), жиілігі және жауапты тұлғалар анықталады. Жоспар шығындар мен тәуекелдердің арақатынасын ескеріп, модельді тұрақты қайта қарауды көздеуі тиіс.

10. **Сапаны қамтамасыз ету және қайта қарау.** ТоС сапалық кезеңдерде тәуелсіз бағалаудан (peer review, сараптамалық аудит) өтуі керек, ал әрбір іске асыру циклінен кейін бағдарлама мен ТоС жиналған деректер негізінде түзетіледі. Бұл модельді бейімделмелі басқаруды қолдайтын «тірі құжатқа» айналдырады [7].

Инклюзивті білім беру бағдарламасына ТоС қолдану мысалы. UNICEF ұсынған Өзгерістер теориясына сүйене отырып, бағдарламаның ұзақ мерзімді мақсаты – инклюзивті және әділетті сапалы білім беруді қамтамасыз ету. Аралық нәтижелер мыналарды қамтиды:

- **Әріптестіктер мен сектораралық үйлестіруді күшейту.** Жұмыс топтарын құру, бірлескен стратегия әзірлеу, үйлестіру тетіктерін қалыптастыру, балаларды қолдауға арналған командалар құру.

- **Қолжетімділікті кеңейту және теңдікті ілгерілету.** Инклюзивті қызметтер көрсететін мектептер мен мектепке дейінгі ұйымдар санын арттыру; отбасылар мен қауымдастықтардың қатысуын қамтамасыз ету; гендерлік теңсіздікті жою.

- **Балаларды кешенді қолдау.** Жеке қолдау жоспарларын енгізу, білім беру, психологиялық, әлеуметтік және медициналық қызметтерді интеграциялау; цифрлық құралдар мен үлкен деректерді талдауды қолдану.

Әрбір бағыт бойынша индикаторлар жиынтығы әзірленеді. Мысалы, әріптестіктер үшін – ведомствоаралық келісімдер мен жұмыс топтарының саны; қолжетімділік үшін – ерекше білім беру қажеттіліктері бар балалардың бағдарламалармен қамтылу үлесі; қолдау үшін – жеке жоспарлар саны және оқытудан өткен мамандардың үлесі. Мониторинг сандық көрсеткіштермен қатар сапалық өзгерістерді де (ата-аналардың қанағаттануы, балалардың қатысу деңгейі) қамтуы тиіс. Индикаторлардың мүдделі тараптармен келісіліп, бағдарламаның мақсаттарына сәйкес болуы және ТоС-тың деректер негізінде тұрақты түрде қайта қаралуы маңызды.

Қорытындылар мен ұсынымдар. Жүргізілген талдау Өзгерістер теориясының (ТоС) мемлекеттік әлеуметтік бағдарламалардың тиімділігін арттырудағы маңызды құрал екенін көрсетеді. Оның басты артықшылығы – жоспарлаудың айқындығы мен логикалылығы: ТоС іс-қимылдар мен нәтижелер арасындағы байланысты нақтылап, тәуекелдер мен болжамдарды анықтауға және ресурстарды негіздеуге мүмкіндік береді [3][6]. Сонымен қатар, ТоС мүдделі тараптарды біріктіріп, ортақ мақсат пен жауапкершілікті қалыптастырады, ұйымдық оқыту мен есептілікті күшейтеді [3][7]. Ол

M&E және RBM тәсілдерін толықтырып, индикаторлар жүйесін әзірлеуге және себеп–салдарлық байланыстарды талдауға негіз болады [6]. Сонымен бірге, ToC енгізу уақытты, ресурстарды және жоғары коммуникативтік дағдыларды талап етеді, ал себеп–салдарлық байланыстарды шамадан тыс жеңілдету қате қорытындыларға әкелуі мүмкін [7]. Осыған байланысты ToC-ты Қазақстанның мемлекеттік басқару жүйесіне тиімді енгізу үшін келесі шаралар ұсынылады: нормативтік-әдістемелік негіз қалыптастыру; кадрлық әлеуетті нығайту; барлық мүдделі тараптардың қатысуын қамтамасыз ету; ToC-ты мониторинг және бағалау жүйелерімен интеграциялау; модельдің икемділігі мен деректерге негізделуін сақтау [6][7][8].

Аталған шараларды іске асыру мемлекеттік бағдарламалардың нәтижелілігін арттырып, жалпы мемлекеттік саясаттың сапасын жақсартады. Өзгерістер теориясы тиісті нормативтік және ресурстық қолдаумен қамтамасыз етілсе, Қазақстанда мемлекеттік басқаруды жаңғыртудың тиімді тетігіне айнала алады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі:

1. Д. Е. Джакупова. Қазақстандағы жастар саясатын іске асырудың экономикалық бағалануы // Л.Н. Гумилёв атындағы ЕҰУ Хабаршысы. – 2021. – № 4. – 64–78-бб.
2. UNICEF. Қазақстан Республикасының білім беру жүйесінде инклюзивтілікті ілгерілетуге арналған Өзгерістер теориясы. – 2024.
3. O’Flynn M. Өзгерістер теориясы: нақты айтқанда, әңгіме не туралы? // ONTRAC. – 2012. – № 51.
4. Junussova A. және т.б. Мемлекеттік жастар саясатын тұжырымдау мен іске асырудың заманауи стратегиялары // World Development Perspectives. – 2025.
5. Өзгерістер теориясын әзірлеу жөніндегі әдістемелік нұсқаулық: «Супервумен» жобасының мысалы. – Theoryofchange.org, 2015 (орыс тіліндегі аудармасы).
6. Analysis Function Evaluation Support Team. Өзгерістер теориясын әзірлеуге арналған құралдар жинағы (Creating a Theory of Change Toolkit). – Government Analysis Function, 2023. – URL: <https://analysisfunction.civilservice.gov.uk/blog/creating-a-theory-of-change-toolkit/> (қаралған күні: 29.01.2026).
7. Hessels L., van Rijn F., de Jong S. және т.б. Өзгерістер теорияларының қоғамдық ықпалын қалай арттыруға болады (How to make Theories of Change deliver societal impact) // LSE Impact Blog. – 9 қазан 2023 ж. – URL: <https://blogs.lse.ac.uk/impactofsocialsciences/2023/10/09/how-to-make-theories-of-change-deliver-societal-impact/> (қаралған күні: 29.01.2026).
8. Қазақстан Республикасының «Қазақстан Республикасындағы үкіметтік емес ұйымдарға арналған мемлекеттік әлеуметтік тапсырыс, гранттар және сыйлықақылар туралы» Заңы (2017 жылғы 18.04 жағдайы бойынша өзгерістер мен толықтыруларымен). – URL: <http://belau.info/hub/wp/wp-content/uploads/2018/01/contracting.pdf> (қаралған күні: 29.01.2026).

УДК 94 (574)

Кабул Сания
магистрант 2 курса,
Карагандинский Национальный Исследовательский университет им. академика Е.А.
Букетова
(г. Караганда, Казахстан)

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЛАБОСИЛЬНЫХ КОМАНД В ДЖЕЗКАЗГАНЛАГЕ

Аннотация: В статье рассматривается практика создания и функционирования слабосильных команд в Джекказганском исправительно-трудовом лагере в условиях хронической нехватки рабочей силы и высокого уровня физического истощения заключённых. Показано, что введение слабосильных команд рассматривалось лагерной администрацией как инструмент сохранения и максимального использования трудового потенциала ослабленного контингента, формально признанного непригодным к полноценному труду. На основе архивных материалов анализируются причины формирования данной системы, её организационные особенности и реальные результаты применения в годы Великой Отечественной войны. Делается вывод о том, что слабосильные команды не стали эффективным средством преодоления кадрового кризиса, а напротив, отразили системные противоречия лагерного управления, связанные с недообеспечением, ухудшением состояния здоровья заключённых и ограниченными возможностями воспроизводства трудовых ресурсов в рамках ГУЛАГа.

Ключевые слова: Джекказганлаг, ГУЛАГ, слабосильные команды, принудительный труд, лагерная экономика, индустриализация, Казахстан.

В условиях хронической нехватки рабочей силы и высокого уровня физического истощения заключённых администрация Джекказганлага была вынуждена искать способы сохранения и максимально возможного использования трудового потенциала. Одним из таких решений стало создание слабосильных команд, предназначенных для вовлечения в производственный процесс ослабленного контингента, формально считавшегося непригодным к полноценному труду. Данная мера рассматривалась как инструмент преодоления кадрового кризиса и стабилизации производственных показателей, однако её практическая реализация выявила глубокие противоречия между управленческими замыслами и реальными возможностями лагерной системы.

Джекказганлаг являлся особым элементом системы исправительно-трудовых учреждений Казахстана, созданным для обеспечения реализации крупных индустриальных проектов союзного значения. Его деятельность определялась задачами ускоренного освоения стратегических месторождений и применением мобилизационных методов управления трудом [1, л. 19-20].

Передача джекказганских строек в подчинение НКВД ознаменовала переход от гражданской системы управления к централизованной лагерной модели. Лагерь стал механизмом концентрации рабочей силы и административного контроля над строительством, добычей и развитием инфраструктуры [1, л. 20].

В первые годы своего существования Джекказганлаг сочетал производственные и управленческие функции, выступая не только местом изоляции, но и площадкой

апробации практик ГУЛАГа по организации и контролю принудительного труда в условиях форсированной индустриализации.

Однако, ещё до официального создания Дзезказганского исправительно-трудового лагеря на строительстве Дзезказганского медного комбината уже проявились системные проблемы, связанные с использованием рабочего контингента [2, л. 20]. Труд рабочих применялся неэффективно, производительность оставалась низкой, а руководство комбината фактически не контролировало условия и организацию труда. Формальное стремление к «экономии» расходов приводило к ухудшению содержания рабочих, их физическому ослаблению и, как следствие, к падению работоспособности.

Недостаточное внимание к обеспечению базовых условий труда и быта – питания, отдыха, санитарного обеспечения, снабжения – превращало лагерный контингент, появившийся после организации лагерного управления, в плохо управляемую и малопродуктивную рабочую силу. Административные перекосы и безразличие управленцев не только не способствовали выполнению производственных планов, но и порождали дополнительные сбои в работе предприятий [3, лл. 11-12].

Именно необходимость устранить эту неэффективность, усилить контроль над трудовым использованием заключённых и централизовать управление рабочей силой стала одной из ключевых причин перехода от разрозненного привлечения лагерного контингента к созданию специализированного лагерного управления. Учреждение Дзезказганлага рассматривалось как средство упорядочивания системы, перекрытия управленческих «провалов» и повышения отдачи принудительного труда в интересах индустриального строительства.

Хроническая нехватка рабочей силы являлась одной из ключевых проблем Дзезказганского лагеря на протяжении всего периода его существования, особенно обострившейся в годы Великой Отечественной войны. Высокая смертность и физическое истощение заключённых ставили под угрозу выполнение производственных задач, что вынуждало лагерную администрацию искать новые формы организации труда.

Одним из таких решений стало создание в 1942 г. так называемых слабосильных команд [3, л. 88]. Их назначение заключалось не в исключении ослабленных заключённых из производственного процесса, а в сохранении и восстановлении их трудового потенциала. Через облегчённые виды работ и улучшенные условия содержания администрация стремилась получить максимальную отдачу даже от больных и физически ослабленных людей, рассматривая их как резерв рабочей силы, который не должен был выпадать из лагерной экономики [3, л. 89].

К 1943 г. после введения системы слабосильных команд, управление Дзезказганлага, так и не решившее вопрос вещевого снабжения, характерного для всего периода существования лагеря, столкнулось с ослаблением слабосильного контингента. Недостаток одежды и обуви напрямую отражался на состоянии здоровья заключённых, что приводило к росту заболеваемости, срывам производственных заданий и вынужденным простоям. В этих условиях причиной невыполнения планов всё чаще становилась не умышленная недисциплинированность, а физическая невозможность выхода людей на работу.

Для упрощения учёта и перераспределения рабочей силы лагерная администрация перешла от индивидуальной оценки к классификации заключённых по категориям, что позволяло автоматически направлять целые группы в слабосильные команды, когда до

этого в таковые относились лишь частные случаи. Наиболее активно в них включалась группа «В», формально считавшаяся трудоспособной, но фактически состоявшая из физически ограниченных и истощённых людей [4, л. 9]. В результате слабосильные команды окончательно оформились как производственная единица, предназначенная для максимального извлечения труда из ослабленного контингента.

Структура рабочей силы к этому времени свидетельствовала о крайне низком реальном трудовом потенциале лагеря. Полностью трудоспособная категория «А» составляла лишь 45,6% от общего списочного состава, тогда как группа «Б» — 6,2%, группа «В» — 27%, а инвалиды и нетрудоспособные («Г») — 11,2%. Таким образом, менее половины заключённых могли быть использованы на тяжёлых промышленных работах [4, л. 9]. При этом значительная часть группы «В» находилась в состоянии истощения: из 355 тыс. человеко-дней её трудового баланса более 200 тыс. приходилось на слабосильных и проходящих оздоровление, то есть фактически выпадавших из производства.

Непроизводительные потери рабочей силы наглядно отражали системный характер кризиса управления. Общие трудовые потери достигали 107,4 тыс. человеко-дней (11,1% всего трудового фонда), тогда как отказы от работы составляли лишь 6,2 тыс. человеко-дней. Существенные потери возникали и по вине администрации — из-за отсутствия фронта работ (2,6 тыс. человеко-дней) [5, лл. 5-6]. Однако решающим фактором оставалось вещевое необеспечение: только из-за отсутствия одежды и обуви лагерь потерял 46,7 тыс. человеко-дней, что многократно превышало показатели, связанные с дисциплинарными нарушениями.

Приведённые данные показывают, что даже при формальном расширении трудового контингента система слабосильных команд не снижала, а усиливала трудовые потери. Использование физически неспособных и плохо обеспеченных заключённых приводило к дальнейшему истощению рабочей силы и делало выполнение производственных задач практически невозможным.

В 1943 г. численность слабосильного контингента в Дзержинском лагере начала стремительно расти, прежде всего за счёт расширения критериев отнесения к слабосильным командам. В них всё чаще включали физически истощённых, травмированных и фактически непригодных к труду заключённых, исходя из идей компенсации нехватки рабочей силы и сокращения трудовых потерь за счёт вовлечения дополнительного контингента.

Согласно данным отчётной документации на 1 апреля 1943 г., в Дзержинском лагере числилось 9469 заключённых, что отражает масштаб лагеря как крупного производственно-трудового комплекса. При этом уже на уровне официального учёта начали фиксировать выраженную неоднородность лагерного контингента по физическому состоянию и трудоспособности [6, л. 2].

Формально к категории, пригодной к тяжёлому физическому труду, согласно отчётам, относилось 1252 человека, а ещё 2272 заключённых числились годными к физическому труду в более широком смысле. В совокупности это позволяло администрации рассчитывать примерно на 3,5 тыс. человек как на основной трудовой костяк. Однако если учитывать контингент, признанный частично трудоспособным — прежде всего заключённых, годных к физическому труду на 70% (1443 чел.) и на 50% (1013 чел.) — потенциальный трудовой резерв расширялся почти до 6 тыс. человек [6, л. 3].

Именно эта цифра фигурирует в документах как ориентир возможной мобилизации рабочей силы при соответствующей организации труда.

При этом значительная часть лагерного населения находилась за пределами полноценного производственного процесса. К числу наиболее уязвимых групп относились стационарно больные (1072 чел.), а также заключённые, проходившие через оздоровительно-профилактические пункты (2009 чел.) [6, л. 3]. Формально эти категории не рассматривались как непосредственный источник рабочей силы и должны были быть временно выведены из производства. Тем не менее границы между трудоспособными, слабосильными и больными в реальности становились всё более размытыми.

Практика лагерного управления показывала, что даже физически ослабленные и частично нетрудоспособные заключённые нередко привлекались к работам вне рамок официально оформленных слабосильных команд. Создание последних во многом не столько вводило принципиально новую форму труда, сколько упрощало административный учёт и перераспределение уже используемого ослабленного контингента.

Таким образом, при общем контингенте почти в 9,5 тыс. человек работоспособной в той или иной степени могла считаться значительная часть заключённых — до двух третей состава. Однако это «расширение» трудового ресурса достигалось не за счёт улучшения условий содержания или восстановления здоровья, а за счёт гибкого и зачастую формального переопределения категорий трудоспособности.

Данная практика приводила к очередной перегрузке ослабленных заключённых. Недостаточное питание и отсутствие условий для восстановления приводили к очередному ухудшению их физического состояния [7, л. 60]. В результате в отчётности фиксировалось падение общей производительности и рост непроизводительных потерь, что свидетельствовало о неэффективности самой модели слабосильных команд как инструмента сохранения трудового потенциала.

Физическое состояние заключённых продолжало ухудшаться вследствие хронического недообеспечения, распространённости дистрофии и туберкулёза, а также возврата ослабленных людей в прежние тяжёлые условия труда. Формально фиксируемые планы по улучшению питания, санитарных условий и трудоиспользования ослабленного контингента не сопровождались системными изменениями. В результате оздоровительные мероприятия не давали устойчивого эффекта, а лагерная администрация фактически воспроизводила кризис, который пыталась преодолеть на уровне документов.

Для повышения трудоспособности ослабленного контингента администрация сделала ставку на систему дополнительного питания, включая усиленные пайки и стимулирующие добавки. Предполагалось, что улучшение рациона позволит восстановить физическое состояние заключённых и вернуть их в производственный процесс.

Однако эти меры не могли компенсировать общий провал в системе вещевого снабжения, т.к. при отсутствии одежды, обуви и нормальных бытовых условий даже усиленное питание не давало устойчивого эффекта [2, л. 20]. В результате попытка выстроить систему «максимального трудоиспользования» свелась к точечным мерам, которые не устраняли структурных причин истощения и не обеспечивали реального роста производительности.

Несмотря на признание необходимости улучшения вещевого снабжения и состояния здоровья заключённых, реальные меры по их реализации так и не вышли за рамки

отчётной риторики. Даже к концу 1943 г., после передачи Джезказганлага в управление Карлага, ключевые проблемы лагерного быта и охраны здоровья контингента оставались нерешёнными [5, л. 5].

Создание слабосильных команд в Джезказганлаге рассматривалось как способ сохранить трудовой потенциал в условиях острой нехватки рабочей силы и физического истощения заключённых. Предполагалось, что за счёт облегчённых работ и усиленного питания удастся вернуть ослабленный контингент в производственный процесс [8, л. 17]. Однако при сохранявшихся проблемах с вещевым снабжением, жилищными условиями и охраной здоровья эти меры оказались малоэффективными.

На практике слабосильные команды не сократили трудовые потери и не обеспечили роста производительности. Напротив, использование физически ограниченных заключённых в условиях постоянной перегрузки способствовало дальнейшему ухудшению их состояния. В итоге слабосильные команды стали не решением кадрового кризиса, а отражением системных проблем лагерного управления и ограниченных возможностей ГУЛАГа по воспроизводству трудовых ресурсов.

Список литературы:

1. Архив УКПС и СУ ГП РК по Карагандинской области. Фонд Джезлаг. Сборник приказов и указаний НКВД по финансовым и ЦПФ. Д. 15
2. Архив УКПС и СУ ГП РК по Карагандинской области. Фонд Джезлаг. Переписка по обследованию состояния лагеря за 1940/41 гг. Д. 1
3. Архив УКПС и СУ ГП РК по Карагандинской области. Фонд Джезлаг. Секретных приказов и распоряжений по Управлению ДИТЛ. Д. 11
4. Архив УКПС и СУ ГП РК по Карагандинской области. Фонд Джезлаг. Д. 62
5. Архив УКПС и СУ ГП РК по Карагандинской области. Фонд Джезлаг. Акт о передаче Джезказганлага в состав Карлага НКВД от 23-30 апреля 1943 г. Д. 91
6. Архив УКПС и СУ ГП РК по Карагандинской области. Фонд Джезлаг. Акт передачи Джезказганлага НКВД и состав Карлага НКВД: акт передачи 6-го лагпункта Темлага НКВД лагерю военнопленных № 58. Д. 36
7. Архив УКПС и СУ ГП РК по Карагандинской области. Фонд Джезлаг. Д. 18
8. Архив УКПС и СУ ГП РК по Карагандинской области. Фонд Джезлаг. Секретных приказов и распоряжений по Управлению ДИТЛ. Д. 12

ПӘНДЕР АРАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР – МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ НАУКИ – INTERDISCIPLINARY SCIENCES

UDC 338.2

Altynay Omirkhan Maratkyzy

master's student in Project management
Astana IT University
(Astana, Kazakhstan)

Scientific supervisor: Koitanova Aliya Zhenisovna
candidate of economic sciences, Head of Registrar's Office
Astana IT University
(Astana, Kazakhstan)

ADAPTING PROJECT MANAGEMENT MODELS FOR DIGITAL MEDIA PLATFORMS IN KAZAKHSTAN: A COMPARATIVE STUDY OF ANIMATION STUDIO MANAGEMENT PRACTICES

Abstract. Incorporating modern project management techniques to handle increasing difficulty, digital change, and technical innovation, the animation business has developed into one of the most dynamic sectors of the global creative economy in recent years. This study examines the use and adaptation of project management techniques in animation studios across various cultural and economic contexts, with a particular focus on Aardman Animations in the UK and ARA Studios in Kazakhstan. By providing useful information for future expansion of industrial development in Kazakhstan's creative economy, the study advances knowledge of project management in the digital media and animation sectors.

Keywords. Project management, risk management, digital media, comparative study, agile management.

Introduction. The process of creative production and content delivery has changed dramatically in today's world driven by digital media. The term "digitalization" involves more than just switching from analogue to digital instruments. Rather, it reflects a wide change in consumer behavior, data-driven processes, connectivity, and completely new production environments. At the same time, media project management, which was previously relatively linear and structured, recently had to adjust to an environment defined by increased uncertainty, cross-disciplinary interaction, and quick updates. When applied to creative, agile-oriented media production contexts, frameworks created for standard engineering or IT projects—like the PMBOK or PRINCE2 standards—become more difficult to use [1, p. 5]. According to researchers, projects in creative industries require not only technical control but also adaptability, iterative feedback, and effective risk management in terms of creative, financial, and technological aspects [2, p. 4].

Animation has a unique place in a larger media environment. Animation studios operate at that intersection of art, technology, and narrative, requiring complex production processes, specific technological procedures, and the synchronization of hardware, software, and creative

talent. Animation is different than other media in that it requires organizational structure, scheduling, budget control, and risk management due to its blend of artistry and production rigor [3, p. 354]. For example, a recent study on storyboarding and pre-production of a top British studio demonstrates how deeply established process, iteration, and teamwork are crucial to maintain creative quality in a studio setting in the digital age [4, p. 10]. These results imply that even though international studio management techniques are known and have been researched, they must be carefully adapted for use in different country contexts, particularly those that are developing.

Regarding Kazakhstan, the nation is currently at an important turning point in its creative media development. The emphasis on digital change in national policy has grown. The state has worked to improve public services, increase broadband and mobile connectivity, and encourage private-sector expansion in media and digital content through initiatives like Digital Kazakhstan. As a result, Zatonskaya [5, p. 371] states that the change of Kazakhstani media to digital has impacted creative structures and production patterns, encouraging innovation and multimedia integration. Regional streaming services and mobile applications, which provide a variety of consumers with anything from on-demand news and entertainment to kid-friendly educational content, have also been made possible by this shift. Digital media has become a key driver of Kazakhstan's cultural and technological modernization because of the digitalization process, which has also increased access to information and encouraged the creation of interactive products and original content in Kazakh by creative organizations. The production environment, especially for creative media like animation, has structural, financial, and human resource problems despite the advancement of technical connection [3, p. 359]. As an example, a recent report of a Kazakh animation studio shows how, in response to early delays and resource limitations, a small studio in Almaty called "ARA Studio" increased staff, worked long hours, and improved processes [6, n.d.]. Despite an obvious increase in local demand for locally produced animated material, the studio saw limitations in access to industry infrastructure, specialized training, and reliable project work [6, n.d.].

Despite this growing activity, detailed comparative studies of Kazakhstani animation studio management with major multinational studios are remarkably unavailable in the academic literature [4, p. 28]. Most of the research analyses the creative process, intellectual property strategies, employee engagement, or production workflows of international studios located in North America, Western Europe, or Japan [7, p. 34]. The performance of these models in developing nations with distinct economic structures, institutional support, cultural norms, and market scales has not received much attention [7, p. 54]. There are still unanswered questions about how creative teams are set up in Kazakhstan. How are risks - financial, institutional, and technical - identified and reduced? What challenges prevent local studios from developing, and what success factors increase their sustainability? And crucially, how can project management models developed in mature creative economies be meaningfully adapted to a context like Kazakhstan's?

To answer these concerns, this article compares studio management techniques in the animation industry using two cases: one from Kazakhstan and another from a well-known global studio whose management has been documented in scholarly and business literature. This study aims to determine whether changes to project-management models are necessary in the Kazakh animation industry by examining risk-management strategies, organizational architecture, production processes, and success variables among these different environments. In particular, it

will outline the main risk categories (such as unstable funding, a lack of human resources, restrictions on the technological system, and difficulties with market distribution) and determine the success factors (such as talent development, governance, and infrastructure investment) that are essential to the adaptability and expansion of studios.

The study makes three key findings in this regard. First, it increases the geographical and institutional focus of the media-production study by highlighting the Kazakh animation industry, a relatively unexplored area in the literature [8, p. 102]. Second, it provides insight into how global practices change and where they need to be improved by contrasting this with a well-documented foreign studio example. Third, the study provides useful advice for studio managers, policymakers, and training institutes in Kazakhstan who want to improve the efficiency and competitiveness of regional animation production by suggesting a context-sensitive adaptation of project-management methods.

Methodology. To examine and analyze project management techniques in animation studios in two different contexts—Kazakhstan and a recognized foreign industry setting—this study uses a comparative qualitative research design. The goal is to highlight major differences and parallels between risk management strategies, management structures, and success factors that affect project outcomes in the animation industry. Because it allows for a contextual understanding of management processes and organizational culture, a qualitative comparative technique is especially appropriate for this study [9, p. 39].

Through this design, the study investigates how project management models - often developed in Western creative industries - are adapted or reinterpreted within Kazakhstan's emerging animation ecosystem. The analysis relies on both primary data (collected via semi-structured interview) and secondary data (drawn from academic publications and industry reports).

Primary data were collected from semi-structured online interview with representative of a Kazakhstani animation studio (ARA Studios) in Russian language. The interview explored topics such as (All questions are listed in Appendix 1 with English translation):

- Project planning and management structures;
- Workflow organization and team roles;
- Risk identification and mitigation strategies;
- Factors contributing to successful project delivery;
- Institutional or market challenges specific to Kazakhstan.

Interview were conducted via an online questionnaire platform due to location and scheduling constraints. The participant provided informed consent for their responses to be used for academic purposes. The data were transcribed and coded thematically.

Secondary data were gathered from academic databases such as Scopus and Google Scholar. Sources from 2020 - 2025 were prioritized to ensure relevance. International literature on animation project management, production workflows, and creative-industry governance was used to establish a theoretical baseline.

Key studies included research on:

- “Shaun the Sheep: Immersive Report” by Koeck R. [4].
- “Aardman Animations: Beyond Stop Motion” by Roe A. H. [10].

- “Workarounds in the production of contemporary animation series in the UK: an examination of creative approaches to overcoming production barriers” by Oakley B. V. et al. [7].

The study used purposive sampling, selecting cases that represent both an emerging and a mature animation industry. The Kazakhstani studio was chosen for its active involvement in local animation production and accessibility for direct communication. The foreign case, drawn from publicly documented materials, represents an established international studio with a globally recognized management structure. This approach allows for meaningful comparison without implying direct equivalence.

The data were analyzed using thematic analysis [11, p. 78]. This involved coding textual material from interview and literature, identifying recurrent themes related to:

- Management structure and workflow organization;
- Risk identification and mitigation;
- Key success factors and barriers;
- Cultural and contextual influences on project management.

Themes were compared across the two cases to identify convergences and divergences. Findings were then interpreted through the lens of project management theory and creative industry frameworks, allowing the formulation of recommendations for adapting project management models in Kazakhstan.

Interview participants were informed about the research purpose and consented voluntarily. No personal identifiers or confidential data are disclosed in the study. The research complies with academic ethical standards concerning privacy, data storage, and informed consent.

The research acknowledges several limitations. First, it examines a limited number of studios; hence, findings are not intended for broad statistical generalization. Second, differences in data access between local and international cases may introduce asymmetry in depth of information. Finally, the study’s qualitative nature means that conclusions are interpretive but offer valuable contextual understanding rather than predictive certainty.

Results and Discussion. The purpose of this section is to present and interpret the findings derived from both primary and secondary data sources. The primary data were collected through a semi-structured online interview with representatives of ARA Studios, a Kazakhstani animation company specializing in children’s content. The secondary data were obtained from the University of Liverpool’s 2023 report *Shaun the Sheep: Immersive*, which examines the project management processes and innovation strategies of Aardman Animations in the United Kingdom. The results aim to compare how two studios operating in vastly different economic, cultural, and industrial environments approach project organization, risk management, and success measurement.

Table 1 - Comparative analysis

Dimension	ARA Studios (Kazakhstan)	Aardman Animations (UK)	Key contrasts
Project management	• Each stage has clearly defined responsible persons.	From the University of Liverpool report: the	ARA uses simpler, lean structure appropriate

structure / workflow	• Clear goals are set at the start. • Progress monitored via a tracking table. Following quote from an interview shows how they manage the process: <i>“Our project management process is organized through several key steps: first, we identify the main responsible persons for each stage of the work; second, we set clear and specific goals; and third, we maintain a progress-tracking table to monitor the workflow.”</i> (From here on, the quotes from the interview are translated from Russian).	“Shaun the Sheep: Immersive” project used a multidisciplinary team (animation, architecture, engineering, AI) with defined work-packages (WP1-WP6) for story, dynamic content, interaction design, AI/sensoring, target audience, space integration [4, p. 13].	for smaller scale; Aardman uses complex, large-scale structures with multiple specialized work-packages for immersive media.
Project management tools / methods	Excel for tracking, Discord for communication, Miro for visuals & collaboration. <i>“To manage projects effectively, we use Excel, Discord, and Miro as our main project management tools.”</i>	While the Aardman case does not list exact tools in the summary, the report emphasizes real-time content creation, game engines (Unreal), sensor/AI systems, and multidisciplinary collaboration platforms [4, p. 14].	ARA uses accessible low-cost tools; Aardman uses advanced technical platforms and integration of many systems.
Primary risks identified	• Limited budget: <i>“The most common risk we face during animation production is a limited budget.”</i> • Also implied: human resources, technical issues.	The Aardman case emphasizes risks related to “transforming linear animation into non-linear, real-time immersive experience” - technical complexity, interdisciplinary	ARA’s main risk is financial constraint with a relatively simpler production environment; Aardman faces high-tech, high-complexity risks plus global/immersive market risks.

		coordination, market/technology uncertainty [4, p. 25].	
Risk-mitigation strategies	• Define audience, project goals and calculate work volume ahead: <i>“To minimize this risk, we focus on defining the target audience and project goals, as well as carefully calculating the scope of work.”</i> • Clear roles + good communication: <i>“The key factors influencing project success include having an engaging project that interests the team, clearly defined goals and roles, effective communication, and regular publication of project progress to receive feedback from both potential viewers and industry professionals.”</i>	In the report: structured research partnership, iterative prototyping, collaboration across academia industry, early audience testing, use of game-engine tools to handle real-time interactive risks [4, p. 24].	ARA uses more basic planning controls (goals, roles, tracking); Aardman uses advanced mitigation via research-industry partnership and technology prototyping.
Success factors	• Project must interest the team. • Clear goals and roles. • Good communication. • Publishing progress & receiving feedback from viewers and professionals.	The Aardman case highlights success factors such as strong industry-academia collaboration, technical innovation (real-time interactive experiences), global market orientation (China), strong brand/IP, cross-disciplinary team [4, p. 20].	ARA emphasizes internal team motivation + communication + simplicity; Aardman emphasizes institutional collaboration + innovation + global reach.
External changes / industry influences	The studio noted that AI technology (recent years) impacted their work: <i>“In recent</i>	The Aardman case focuses on immersive spatial experiences, real-	ARA is responding to AI and digital tools broadly; Aardman is responding to major

	<i>years, our studio has been notably influenced by the development and integration of artificial intelligence (AI) in the digital media industry.”</i>	time rendering, interactive content, and responding to new audience consumption models [10, p. 154].	paradigm shifts (immersion, interactivity, global market).
Need for industry development (local context)	They believe for animation industry growth in Kazakhstan the key is a “studio-example” that has made a successful private commercial case locally or globally.	Aardman’s case itself is the mature example: strong brand, global partnerships, high technical capability.	ARA identifies horizon of maturity (need for role model); Aardman already operates at high maturity and serves as best-practice benchmark.

By contrasting ARA Studios’ compact, resource-conscious model with Aardman’s large-scale interdisciplinary management structure, this chapter highlights the similarities and divergences in methods, tools, and production philosophies. The discussion also reflects how contextual factors—such as access to funding, technological advancement, and industry maturity—shape project management models in both local and global animation industries. The comparative insights from these two cases provide a basis for understanding how Kazakhstani animation studios can adapt and refine their management practices to achieve greater creative and commercial success.

Conclusion. This study examined how project management models operate within the animation industry through a comparative analysis of ARA Studios in Kazakhstan and Aardman Animations in the United Kingdom. The findings reveal that while both studios share a commitment to structured teamwork, clear goal setting, and creativity-driven processes, their management approaches differ significantly due to contextual and structural factors. ARA Studios, as a growing animation company in an emerging market, prioritizes simplicity, flexibility, and affordability, relying on accessible tools and strong interpersonal communication to manage limited resources. In contrast, Aardman Animations represents a mature project management ecosystem supported by interdisciplinary collaboration, academic partnerships, and advanced technological integration, including immersive and AI-driven methods.

The comparison demonstrates that many of the challenges faced by Kazakhstani studios - such as restricted budgets, limited access to training, and lack of large-scale project infrastructure - can be mitigated by adapting selected elements of international best practices. These include clearer risk identification frameworks, iterative prototyping, and strategic collaboration between creative professionals, universities, and technology institutions. At the same time, ARA Studios’ emphasis on internal motivation and team enthusiasm reflects a valuable cultural aspect of Kazakh creative work that could inspire more human-centered management models.

Ultimately, this research highlights the importance of context-sensitive project management in the creative industries. For Kazakhstan’s animation sector to develop sustainably, it must balance the adoption of global standards with the preservation of local creative identity. By doing so, studios like ARA can strengthen their competitiveness, expand international

collaborations, and contribute to the broader growth of the digital media ecosystem in Kazakhstan.

References:

1. Simonaitis A., Daukšys M., Mockienė J. A comparison of the project management methodologies PRINCE2 and PMBOK in managing repetitive construction projects //Buildings. – 2023. – T. 13. – №. 7. – С. 1796.
2. Holzmann V., Mazzini L. Applying Project Management to Creative Industries: The Relationship between Leadership Style and Project Success // Journal of Organizational Culture, Communication and Conflict. 2020. T. 24. № 1. С. 1.
3. Junjun J., Pillai M. D. A STUDY TO ANALYSE THE EFFICIENCY ISSUES IN ANIMATION CREATION THE PROCESS //Prestieesci Research Review. – 2025. – T. 2. – №. 1. – С. 353-362.
4. Koeck R. Shaun the Sheep: Immersive Report. – 2023.
5. Zatonskaya T. Digital age media transformations in Kazakhstan //International Conference on Professional Culture of the Specialist of the Future. – Cham: Springer International Publishing, 2020. – С. 367-383.
6. The Qazaqstan Monitor. ARA Studios: Creators of “Shyraq” share their journey in Kazakh animation - Qazaqstan Monitor [Электронный ресурс]. URL: <https://en.qazmonitor.com/people/2302/ara-studios-creators-of-shyraq-share-their-journey-in-kazakh-animation>.
7. Oakley B. V. et al. Workarounds in the production of contemporary animation series in the UK: an examination of creative approaches to overcoming production barriers: дис. – Arts University Bournemouth, 2025.
8. Zhuparova A. S., Kozhakhmetova A. K. Creative industries in developing countries: experience of Kazakhstan // Central Asian Economic Review. 2021. № 4. С. 100–110.
9. Regmi B. P. Qualitative Research Design: A Discussion on its Types // Research Journal. – 2024. – T. 9. – №. 1. – С. 37-45.
10. Roe A. H. Aardman Animations: Beyond Stop-motion. – Bloomsbury Publishing, 2020.
11. Braun V., Clarke V. Using thematic analysis in psychology // Qualitative Research in Psychology. 2006. T. 3. № 2. С. 77–101.

Appendix

Appendix 1. Interview questions:

1. What is the name of your studio? (Название вашей студии?)
2. What is your studio's main area of activity? (Основное направление деятельности вашей студии?)
3. How is the project management process organised in your studio? You can describe the process of working on a single project. (Как в вашей студии организован процесс управления проектами? Можете описать процесс работы одного проекта)
4. What project management methods do you use? (Какие методы проектного управления вы используете?)
5. What risks do you most often encounter when implementing animation projects? (С какими рисками вы чаще всего сталкиваетесь при реализации анимационных проектов?)

6. What measures do you take to mitigate these risks? (Какие меры вы принимаете для снижения этих рисков?)

7. In your opinion, what factors have the greatest impact on the successful completion of a project? (Какие, на ваш взгляд, факторы наиболее влияют на успешное завершение проекта?)

8. What changes in the digital media industry in recent years have affected your studio's work? (Какие изменения в цифровой медиаиндустрии последних лет повлияли на работу вашей студии?)

9. What do you think is necessary for the development of the animation industry in Kazakhstan? (Что, по вашему мнению, необходимо для развития анимационной индустрии в Казахстане?)

УДК 613.644

Мубаракова Ментай Жанатовна

Магистрант ОП «Гигиена и охрана труда на производстве»

КНИТУ им. К. И. Сатпаева

Институт архитектуры и строительства имени Т. К. Басенова

(г. Алматы, Казахстан)

Научный руководитель: **Нурулдаева Гульжан Жагалбаевна**

к-т. н., ассоциированный профессор кафедры «Инженерные системы и сети»

КНИТУ им. К. И. Сатпаева

Институт архитектуры и строительства имени Т. К. Басенова

(г. Алматы, Казахстан)

ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА И ОЦЕНКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ В НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Аннотация: В статье рассматриваются современные подходы к организации труда и оценке профессиональных рисков в нефтяной промышленности. Показано, что высокая технологическая сложность отрасли, динамичность производственных процессов и сочетанное воздействие вредных факторов формируют повышенный уровень профессиональных рисков. Проанализированы ограничения традиционной системы аттестации рабочих мест, основанной преимущественно на стационарных гигиенических измерениях. Особое внимание уделено тому, что оценка профессиональных рисков в Республике Казахстан является относительно новым направлением, требующим научной апробации, анализа методик и адаптации международных подходов (ISO 45001, ISO 31000, NIOSH, OSHA) к национальным условиям. Обоснована необходимость совершенствования процедуры аттестации рабочих мест и перехода к риск-ориентированной модели управления охраной труда в нефтяной отрасли.

Ключевые слова: нефтяная промышленность, организация труда, профессиональные риски, условия труда, аттестация рабочих мест, шум, ISO 45001.

Введение. Нефтяная промышленность занимает ключевое место в экономике Республики Казахстан и одновременно относится к числу отраслей с наиболее высоким уровнем профессиональных рисков. Производственные процессы характеризуются высокой энергоёмкостью, непрерывностью технологических операций, применением сложного оборудования и работой в условиях воздействия опасных физических и химических факторов. В этих условиях обеспечение безопасных условий труда и сохранение здоровья работников требует применения современных методологических подходов, выходящих за рамки традиционного гигиенического контроля.

В мировой практике в последние десятилетия прослеживается переход от формальной оценки условий труда к системам управления профессиональными рисками, основанным на анализе вероятности и тяжести последствий воздействия вредных факторов. Для Казахстана данный переход является относительно новым и требует

комплексного научного осмысления, апробации методик и адаптации международного опыта к условиям национальной промышленности.

Особенности организации труда в нефтяной промышленности

Организация труда в нефтяной отрасли формируется под воздействием целого комплекса факторов, включающих физические, химические и психофизиологические нагрузки. Рабочие процессы часто осуществляются в условиях повышенного шума, вибрации, тепловых воздействий и присутствия токсичных веществ. Дополнительную сложность создают сменный и вахтовый режимы работы, территориальная удалённость объектов и высокая ответственность персонала за безопасность технологических операций.

Характерной особенностью трудового процесса является его динамичность. Уровни вредных факторов могут существенно изменяться в течение рабочей смены в зависимости от выполняемых операций, режимов работы оборудования и технологических отклонений. Это приводит к тому, что фактическая нагрузка на работника не всегда адекватно отражается результатами разовых измерений параметров производственной среды.

Характеристика профессиональных рисков

Профессиональные риски в нефтяной промышленности носят многокомпонентный характер. Физические факторы представлены, прежде всего, производственным шумом, вибрацией и неблагоприятными микроклиматическими условиями. Химические факторы включают воздействие паров и газов, характерных для процессов добычи, подготовки и транспортировки углеводородов. Психофизиологические факторы связаны с высокой когнитивной нагрузкой, необходимостью постоянного контроля параметров и принятием решений в условиях потенциальной опасности.

Совокупное воздействие этих факторов приводит к ускоренному развитию утомления, снижению концентрации внимания и повышению вероятности ошибок, что увеличивает риск аварийных ситуаций и профессиональных заболеваний.

Ограничения традиционной системы аттестации рабочих мест

Действующая система аттестации рабочих мест в значительной степени ориентирована на санитарно-гигиеническую оценку условий труда и проверку соответствия нормативным предельно допустимым уровням. При этом основное внимание уделяется стационарным измерениям параметров производственной среды в отдельных точках рабочего пространства.

В условиях высокой мобильности персонала и пространственной неоднородности факторов такая методика не позволяет объективно оценить индивидуальную экспозицию работников.

Оценка экспозиции и методологические ограничения

Многие страны устанавливают строгие нормы по воздействию шума на персонал, работающий в условиях, где возможны чрезмерные уровни шума и накопительное время экспозиции, например на рабочих местах. Эти стандарты задают значения параметров шума, включая накопленную (интегрированную) величину шума, максимальный уровень

шума и пиковый уровень (например, 140 дБ), которым подвергался человек в течение рабочей смены. Стандарты также могут регулировать и другие параметры шума.

Традиционные методы мониторинга, основанные на единичных стационарных измерениях, оказываются недостаточно информативными в условиях динамичных производственных процессов. Уровни вредных факторов могут существенно варьировать в течение смены и зависеть от выполняемых операций, что требует применения комбинированных подходов:

- **Персональный мониторинг** с использованием носимых дозиметров и сенсоров обеспечивает оценку индивидуальной экспозиции в реальном времени и отражает фактическое воздействие на работника.
- **Зональные измерения** с помощью интегрирующих усредняющих приборов необходимы для характеристики уровня риска, связанного с конкретным оборудованием, процессами или рабочими зонами.
- **Спектральный анализ** (например, анализ по октавным полосам) важен для подбора средств индивидуальной защиты и оценки эффективности инженерных мероприятий.

Комбинация персональных и зональных измерений, дополненная временным анализом и учётом рабочих задач, позволяет получить более полную картину экспозиции и выявить критические моменты повышенного риска.

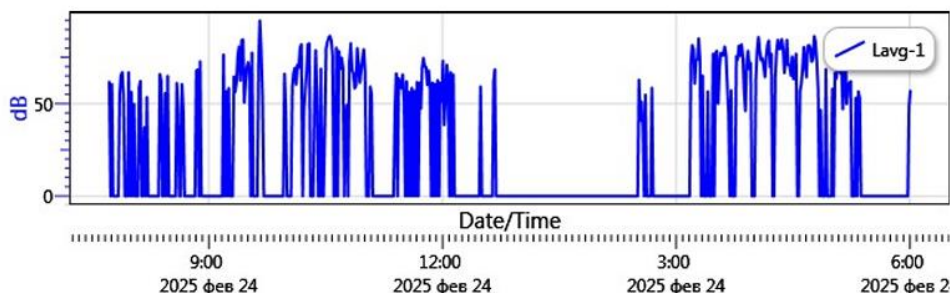
Персональные шумодозиметры позволили оценить фактическую индивидуальную экспозицию работников.

Start Time 24.02.2025 7:42:23
Stop Time 24.02.2025 18:00:26
User Name

Summary Data Panel

Description	Meter	Value	Description	Meter	Value
UL Time	1	00:46:10	Rtime	1	10:18:03
Lasmn	1	60,3 dB	Lasmx	1	110,9 dB
Lzpk	1	137,5 dB	Lavg	1	67 dB
TWA	1	68,8 dB	Dose	1	5,3 %

Logged Data Chart



Ключевые численные результаты (из отчёта)

- Run Time: 10:18:03.

- UL Time: 00:46:10.
- Las_{mn} (минимум): 60,3 dB.
- Las_{mx} (максимум): 110,9 dB.
- L_{zpk} (пиковый уровень): 137,5 dB.
- L_{avg}: 67 dB.
- TWA (time-weighted average): 68,8 dB.
- Dose: 5,3 %.
- Калибровка: 24.02.2025 06:51:43, уровень калибратора 114,0 dB.

Данные результата персонального измерения уровня шума:

Для оценки экспозиции использовались показатели L_{min}, L_{max}, L_{Aeq}, L_{Cpeak} и TWA. Средний уровень звука за период измерений составил L_{avg} = 67 dB, временно-взвешенный показатель TWA = 68,8 dB. Максимальные зарегистрированные уровни достигали Las_{mx} = 110,9 dB, пиковый уровень L_{zpk} = 137,5 dB. Доза за период измерений составила 5,3%, что указывает на низкую суммарную экспозицию при условии представленного рабочего графика; однако наличие кратковременных пиков требует дополнительного анализа источников шума и оценки риска повреждения слуха при повторяющихся событиях.

Сравнительный анализ методов оценки шума

На основе данных установлено: стационарные измерения недооценивают реальную нагрузку; персональная дозиметрия отражает полный профиль экспозиции; потери слуха и риски лучше прогнозируются через L_{EX,8h}.

Характеристика	Шумовой дозиметр (IEC 61252)	Шумомер (IEC 61672-1)
Размещение	Носится на плече/воротнике работника, рядом с ухом	Ручной прибор или установлен на штативе, измеряет в фиксированной точке
Назначение	Мониторинг личного воздействия за всю рабочую смену (8–12 ч)	Измерения уровня шума на территории/от источника, экспресс-проверки, профилирование задач
Регистрируемые данные	L _{Aeq,T} , L _{EX} , 8h/TWA, доза %, L _{Zpeak} /L _{Cpeak}	L _{Aeq} , L _{Ceq} , L _{Cpeak} , временные ряды (по месту измерения)
Применение для норм	OSHA, NIOSH, Директива ЕС 2003/10/EC, ISO 9612	Инженерные меры, мониторинг шума, контрольные проверки
Мобильность	Фиксирует воздействие при перемещении работника между источниками шума	Статическое измерение в одной точке пространства
Продолжительность	Длительный мониторинг (в течение смены)	Кратковременные измерения

Диапазон пиков	До ~140 дБ (Z/C-пик), аналогично SLM	До ~140 дБ (Z/C-пик)
----------------	---	----------------------

Оценка профессиональных рисков как новый этап развития охраны труда в Казахстане

Внедрение оценки профессиональных рисков в Республике Казахстан является относительно новым процессом. Несмотря на нормативное закрепление данного подхода, методическая база его реализации остаётся недостаточно сформированной. Отсутствуют единые требования к выбору методов оценки, критериев приемлемости риска и порядку использования результатов оценки в управленческих решениях.

На данном этапе особую актуальность приобретает изучение и адаптация международных методик оценки рисков, включая подходы ISO 45001, ISO 31000, NIOSH и OSHA. Их применение требует апробации в условиях казахстанских предприятий, учёта отраслевой специфики и накопления эмпирических данных.

Направления совершенствования системы оценки условий труда

Современная модель охраны труда в нефтяной промышленности должна основываться на интеграции аттестации рабочих мест и оценки профессиональных рисков. Аттестация при этом должна быть дополнена следующими элементами:

- анализом вероятности возникновения опасных ситуаций и тяжести возможных последствий;
- использованием персональных методов измерения экспозиции вредных факторов;
- учётом динамики изменения условий труда в течение смены;
- анализом человеческого фактора и когнитивных нагрузок;
- связью результатов оценки с системой управления охраной труда предприятия.

Выводы

1. Нефтяная промышленность характеризуется высоким уровнем профессиональных рисков, обусловленных сочетанным воздействием вредных факторов.
2. Традиционная система аттестации рабочих мест, использование лабораторных методов исследований производственного шума не в полной мере отражает фактическое воздействие уровня шума на работников.
3. Оценка профессиональных рисков в Казахстане находится на стадии становления и требует дальнейшего научного и методического развития.
4. Адаптация международных риск-ориентированных подходов позволит повысить объективность оценки условий труда.
5. Совершенствование организации труда и процедур оценки рисков является ключевым условием повышения уровня производственной безопасности в нефтяной отрасли.

Библиографический список:

1. Мазитова Н.Н. Гигиена труда и профпатология. 2017.
2. Исаева Л.Р. Гигиена труда. 2021.
3. Sorensen K. et al. *Safety Science*. 2021.
4. Kim J. et al. *Industrial Hygiene Journal*. 2025.
5. OECD. *Extractive Industry Safety Report*. 2024.
6. ISO 9612:2009. Acoustics — Determination of occupational noise exposure.
7. ISO 45001:2018. Occupational health and safety management systems.
8. NIOSH, OSHA Guidelines.

UDC 004.8:61

Dilnaz Kapezova

Master's student,
School of digital public administration
Astana IT University (Astana, Kazakhstan)

IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON MODERN MEDICAL PRACTICE

Annotation: This study explores the impact of artificial intelligence on medical diagnostics and clinical practice. Using a physician interview and a healthcare case study, it demonstrates that AI improves diagnostic accuracy and efficiency while reducing clinician workload. The findings highlight the importance of ethical implementation and human oversight in healthcare AI systems.

Keywords: artificial intelligence, medicine, machine learning

1.Introduction

1.1 History of the Medicine and integration of AI

Medicine history is a long story of the gradual acquisition and rediscovery of knowledge over hundreds of years. Although commonly associated with ancient Greece and the Hippocratic school, medical systems were also shaped by Babylonian, Assyrian, Italian, and ancient Egyptian influences [1]. In the Middle Ages, medical schools and hospitals were established, principally in the Islamic world and Europe [2]. Anatomical studies by Andreas Vesalius in the 16th century advanced knowledge about the human body [3]. Subsequent breakthroughs in physiology, microbiology, and pharmacology were supported by the Scientific Revolution. William Harvey demonstrated blood circulation, and Edward Jenner developed the first vaccine [4]. Germ theory, anesthesia, antibiotics, and imaging technologies (X-rays, MRI, etc.) from the 19th and 20th centuries radically revolutionized diagnosis and treatment, paving the way for the future integration of computing in medicine [5]. AI entered medicine in the late 20th century by way of expert systems for decision support. One early application was MYCIN (1970s) for diagnosing bacterial infections and prescribing treatment, showing the potential of AI despite limited adoption [6]. AI in healthcare accelerated in the 21st century due to higher computational power and better data availability. Today, diagnostics, treatment planning, and patient care are underpinned by machine learning, deep learning, and natural language processing [7][8]. AI has been applied in radiology, pathology, oncology, personalized medicine, and robotic surgery, for example, IBM Watson and CNN-based medical imaging applications.

1.2 AI technologies in Medicine

AI is comprised of two types; Artificial General Intelligence (AGI) and Artificial Narrow Intelligence (ANI). AGI stands for theoretically human-level intelligence, while ANI is focused on concrete tasks, and is currently used in healthcare, such as medical image analysis and disease detection. Machine learning (ML), which is a subset of AI, makes it possible to predict patterns that arise from data. ML includes:

- Parametric models with constant parameters (such as linear and logistic regression).

- Non-parametric models (such as decision trees, support vector machines), which are data adapting but typically cost a significant amount of data.

ML is also divided into, at least in part, the following:

- Supervised learning – learning on labeled data (e.g., neural networks that infer on diabetic retinopathy).

- Unsupervised learning — unsupervised approaches — detecting hidden patterns without labels (e.g., clustering to establish the mechanism of the disease) [9].

Supervised ML Models: A typical development of supervised ML models includes:

- Training – learning from labeled datasets; the processing ability of the medical images is usually simpler than structured spreadsheet data.

- Validation – comparing performance in real healthcare settings with expert-labeled results.

- Deployment — putting validated models in clinical or research contexts.

Existing AI systems can automatically detect liver, lung, cardiovascular and bone diseases. Vertebral fractures, for example, could be detected using algorithms used on images of chest and abdominal CT scans. These systems automatically recognize vertebrae, establish boundaries of bone tissue, detect fractures, and compute bone density [16].

1.2.1 Medical Imaging: Convolutional Neural Networks (CNN)

In fact, Convolutional Neural Networks (CNNs) are used extensively in analyzing medical images like X-ray / MRI / CT image. CNNs process images to extract characteristics of the images (tumors or pathological tissue), link them together into higher-order structures, and analyze it (Classification). The main stages include:

- Convolution (feature extraction)
- Subsampling (dimensionality reduction)
- Fully connected layers (classification)

For instance, CheXnet, outperforming radiologists in pneumonia detection using chest X-ray image [11], and DeepMind Health systems detecting diabetic retinopathy with ophthalmological images [12].

1.2.2 RNN (Recurrent Neural Network) and LSTM for Disease Prediction

Medical time-space (time series) information, such as ECG, blood glucose, and blood pressure data is studied in medical time-series using RNNs and LSTM networks. RNNs operate on temporal data via cyclic relationships between consecutive events, and LSTMs solve the vanishing gradient problem to create long-order pattern representation. Illustrations include the PhysioNet Challenge model for predicting ICU patient mortalities [13], and DeepMind Health models predicting acute kidney injury by 48 hours prior to events [14].

1.3 Clinical applications of AI

1.3.1 AI in Radiology

Computer vision and image processing algorithms fasten diagnosis speed and visualization, enhance pathology imaging, detect emergency conditions, and help reduce labor force shortages. Some tools for clinical usage are pre-approved and already in use. MaxQ-AI, for example, produced a CE-approved platform to diagnose and surface intracranial bleeding in CT scans. Viz.ai aims at minimizing treatment delays by accelerating post-acquisition analysis of CT scans. These types of algorithms are increasingly integrated into PACS systems. Zebra Medical Vision systems have already been introduced in PACS for more than 50 hospitals and process more than one million scans.

1.3.2 AI in Oncology.

AI is revolutionizing cancer diagnosis and therapy by enhancing accuracy, speed and predictive power. CHIEF, a ChatGPT-like model that Harvard Medical School trained on millions of histopathology images from 19 cancer types. CHIEF has 94% precision detection, molecular tumor profiling prediction, survival estimates, and treatment response identification. In addition, it offers more genome-level data at less cost than DNA sequencing, favoring personalized cancer therapy [17]. K-sky has produced the Webiomed platform for cancer diagnosis of chronic lymphocytic leukemia and chronic myeloid leukemia, among other diseases. The platform can reduce medical data processing time up to 10 times. Anonymized patient datasets are provided by the platform [18].

1.4 Regulations and Standards for AI in Healthcare

AI regulations for healthcare promote patient safety, protect data privacy, and ethics in the health care system. Institutions such as organizations like the European Commission and the FDA also grade AI systems according to risk, such as the one proposed by the FDA (European Commission and FDA) in a high-risk tier level, therefore these systems need to be carefully scrutinized strictly for medical applications. Regulations have been tailored to stress a focus on openness and fairness. Essential international regulatory regimes consist of:

EU Declaration on Cooperation on Artificial Intelligence. Signed by 25 European countries on April 10, 2018, to promote advancement of AI, while responding to social, economic, ethical and legal issues [19].

EU White Paper on Artificial Intelligence. Published February 19, 2020, outlining a detailed strategy for AI including:

Establishment of AI research and innovation hubs.

The spread of AI in public services, in particular the health system.

Formulation of ethical and governance guidelines. It introduced the concept of an “ecosystem of trust,” emphasizing trustworthiness, privacy, transparency, inclusivity, fairness and inclusion [20].

Artificial Intelligence Act (EU AI Act). This comes from a proposal in April 2021 to create an integrated regulatory framework. It categorizes AI systems into unacceptable, high, limited, and minimal risk categories. Healthcare AI is commonly categorized as high-risk and needs very strict compliance. Implementation was expected no earlier than 2024 [21].

2. Methodology

2.1. Data collection methods

A holistic data collecting methodology is taken; hence, the problem is investigated thoroughly. The use of various research methods makes the results objective and flexible. The study specifically will focus on opinions of multiple categories of respondents from physicians already working or planning to work with artificial intelligence technologies, case study analysis and case study methodology. This methodology will offer a nuanced knowledge of the implications of these technologies for medical practice and case study which allows for an in-depth examination of real-world examples of AI implementation in medical practice.

1) Semi-structured interview

1st research tool is the semi-structured interview which was selected because it allows for a blend of standardized questions and the option to tailor the questions according to response from the participants.

- A purposive sampling method was used here for this study, where the researcher needed to select data from workers directly involved in the implementation of these AI technologies in health sector. This method provides a way to concentrate on segments of respondents that have experience or are likely to have experience with these technologies.

- Interview format: Interview questions were adapted from literature reviewed in [4] and [8] and were developed to guarantee methodology validity of the study. The questions were sorted into a number of essential aspects: Establishing the requirement for AI adoption - directed to identifying the awareness of physicians about these technologies, their openness to using them and existing barriers.

As the research ethics require, an offline (face-to-face) meeting gives a more detailed analysis of non-verbal cues and how participants get involved.

The interview had a 12-year general practitioner with experience in the clinical use of the Rhythmus AI system for ECG and Holter monitoring interpretation for over one year. This indicates substantial awareness and practical experience using AI-based diagnostic tools. To this participant AI is only a supportive instrument to augment workflow and not an alternative to clinical judgment.

Some of the most commonly cited benefits have been the reduction in data interpretation time, improved early detection of arrhythmias, and decreased clinician workload. Conversely, however, the interviewee acknowledged shortcomings such as occasional false-positive results as occasional negatives, highlighting the need for physician oversight and ultimate responsibility of diagnostic decisions. The participant also emphasized the significance of targeted training to ensure safe and effective AI adoption in clinical practice.

The interview suggests an overall positive acceptance of AI technologies in diagnostics if ethical responsibility, transparency, and human control are central to their implementation.

2) Case study

This research study focuses on a case study on Shape Healthcare, a corporation that is the world leader in global artificial intelligence-driven medical diagnostics company. Its focus is to use AI in the medical sector to assist early identification and prevention of diseases to maximize medical workflow, enhance workflow efficiency and improve patient outcomes. Shape Healthcare is a global player, with international coverage in hospitals, research facilities and government health authorities to implement AI technologies into clinical practice. In its AI healthcare solutions, Shape Healthcare employs a data-driven, evidence-based methodology. The company emphasizes the following three basic principles:

1. Precision and accuracy – Shape Healthcare utilizes machine learning models trained with large datasets to deliver precise diagnostics, limiting false positives and negatives in medical tests.

2. Ethical AI implementation – The organisation focuses on medical regulations and ethical AI frameworks, which makes transparency and fairness in decision-making.

3. Scalability and adaptability – They have built-in AI solutions that can be integrated across diverse healthcare systems, from small clinics to large hospitals, across the globe.

Shape Healthcare has implemented and deployed Clinical NLP API technology for the analysis of electronic health records (EHRs), which facilitates the extraction of crucial medical information, including procedures, anatomical structures, laboratory data, and the characteristics of a disease. With a comprehensive framework, the AI system improves diagnostic efficiency, data accuracy, and the quality of medical diagnoses and decisions. Shape Healthcare also follows

a hybrid AI-human model with AI-driven diagnostics, while an expert radiologist provides in-depth diagnostics to validate the findings. This blend guarantees good performance and avoids problems like AI hallucinations and false positives.

Shape Healthcare is a global enterprise with AI-driven solutions in numerous countries. The company collects and manages data from more than 60 countries, helping AI projects in fields ranging from radiology to oncology to conversational AI for healthcare. Through this vast data collection network, Shape Healthcare provides a wide breadth of diverse, flexible, and dynamic models that can solve many healthcare issues that transcend borders. As we can speak about how well Shape Healthcare performs, AI-driven diagnostic tools are proven working with performance metrics from many different perspectives across world and applications. Key results include:

- Accuracy of radiology AI: Shape Healthcare's AI models delivered over 95% accuracy in diagnosing early-stage lung cancer based on CT and MRI scans.
- Efficiency gains: Hospitals using Shape Healthcare's AI-based radiology solution saw a 30% decrease in diagnostic turnarounds, improving patient care.
- AI-Enabled report generation: The work of radiologists was cut 40% by AI-powered automated reporting, giving them time to focus on complex cases.
- Analyzing electronic health records (EHR): Clinical NLP API was able to extract key medical insights from patient records, leading to a 50% increase in data processing efficiency.
- Decrease in diagnostic errors — AI-assisted diagnostics in Shape Healthcare's partner hospitals have helped lead to a 20% reduction in instances of misdiagnosis, ensuring a safer environment and better care.

3. Findings and Discussion

3.1 Findings

Data obtained from the semi-structured interview suggest a generally positive attitude about the introduction of artificial intelligence into clinical practice, particularly where AI is portrayed as a supportive tool rather than a replacement for physicians. An interviewed general practitioner with over a year using the Rhythmus AI system to facilitate ECG and Holter monitoring demonstrated high level of knowledge and experiential familiarity of AI assisted diagnostic techniques.

Perhaps the most surprising finding - perceived efficiency gain - comes from the integration of AI. The interviewee commented on the increased timeliness of reading data and quicker detection of arrhythmias, which supports current evidence on AI's ability to expedite diagnostic process and alleviate clinician burden. This is consistent with the claim that AI could increase operational efficiency in health care centers, especially in diagnostic-based areas.

The results, however, also expose important limitations and concerns. It noted that false positive and false negative results exist and once again stressed the need for continuous physician oversight. This shows that AI systems are not perfect (but useful) and need human judgment to keep patients safe. The last responsibility should stay with the physician, the interviewee added, echoing ethical and regulatory frameworks seeking human-in-the-loop AI models.

A second major conclusion relates to training and flexibility. The interview points to the fact that training and the level of digital literacy amongst healthcare professionals are critical for successful AI adoption. Even high performance AI systems without adequate training may meet resistance or be misused, eroding efficacy. Thus, the interview recommendations point to the fact

that healthcare professionals' acceptance of AI is contingent on transparency, trustworthiness, ethical accountability and education.

The Shape Healthcare case study demonstrates how AI technologies can be utilized at scale in a variety of healthcare sectors. Some of the most significant findings, like the high diagnostic accuracy of Shape Healthcare's AI solutions, have been highlighted here in radiology, where accuracy rates for early-stage lung cancer diagnostics exceeded 95%. This also shows that AI can dramatically improve early diagnosis, which is an important part of patient prognosis.

Efficiency gains is another significant takeaway. The reported 30% reduction in turnaround times for diagnosing patients and 40% decrease in burden on radiologists is an example of how AI can save clinical workflow. These findings are consistent with interview results, supporting the view that AI actually adds value to add a technical complement not to take away the clinical expertise.

Application of Clinical NLP APIs for electronic health record analysis with AI in data manipulation and decision-making support exemplify the impact of AI on data management and decision support. A 50% increase in data processing efficiency proves how AI solves one of the most persistent problems in healthcare: handling vast volumes of unstructured patient medical data. This feature is particularly important for large healthcare systems with different countries.

The most important conclusion from the Shape Healthcare case is that a hybrid AI–human diagnostic model has been adopted. The company eliminates the risk of hallucination, bias, and misdiagnosis by ensuring that trained radiologists verify results generated with the aid by AI. As technology advances and clinical expertise comes together, we observed that the rates of misdiagnosis are reported to be reduced by 20%.

3.1 Discussion

The results from the interviews and the case study also reflect that AI provides the most health care value whenever it is used as an assistive and augmentative technology. Improvement in accuracy, efficiency and load reduction of diagnostics is covered in both data sources, indicating that AI should be used to increase the quality of medical services.

Simultaneously, however, the findings highlight ongoing difficulties in matters of trust, interpretability and accountability. The need for robust validation, regulatory supervision, and ethical guidelines (such as those set out in the EU AI Act) to address the problem of false positives and negatives underscores the importance of the issue. These results indicate that healthcare AI is indeed classified as a high risk application to comply with strict regulations.

One cross-cutting theme emerges: the impact on physician training and responsiveness. Technology capability is not its sole virtue, however: institutional preparedness, staff training, and cultural acceptance are critical elements to AI successful integration. This accords with prior studies indicating that AI resistance is driven by a lack of understanding, not technical constraints.

This discussion points out that the impact of AI on healthcare is both technical and organizational (or ethical).

4. Conclusion

This study analysed the incorporation of artificial intelligence in medical practice through an overview of past changes, study of contemporary AI technologies, semi-structured interviews with health workers, and a case analysis of Shape Healthcare. These results show how AI has already started to revolutionise health care by enhancing diagnostic accuracy, saving time and reducing clinician workload.

Results suggest that AI is most effective as a clinical decision-support tool while contributing to, and supplementing rather than taking the place of, physician knowledge. Finally, both the interview and case study further reveal the critical role of human supervision in maintaining the safety of patients, ethical obligations and trust in AI systems.

However, the uptake of AI in healthcare is characterized by certain challenges, such as data quality, false prediction of diagnosis or misdiagnosis, regulatory obligation, and the demand for customized training. These challenges can be met with sound governance, transparent algorithms, and ongoing education of everyone related to a good set of principles that can all be solved through governance, the use of interpretable and honest algorithms and an ongoing professional development.

Thus artificial intelligence has a lot to offer to improve, as in many aspects of medicine, the quality and efficiency of medical diagnosis, health care and patient care. But, its success in the long term relies on an ethical deployment, regulatory adherence and its balanced AI–human coexistence model. Future research needs to investigate large-scale empirical evaluations of AI outcomes, physician–AI interaction models, and the long-term effects of AI on healthcare systems and patient trust.

References:

- [1] A. Castiglioni, *A History of Medicine*. Routledge, 2019. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9780429019883>
- [2] P. E. Pormann and E. Savage-Smith, *Medieval Islamic Medicine*. Edinburgh University Press, 2007. <https://edinburghuniversitypress.com/book-medieval-islamic-medicine.html>
- [3] C. D. O'Malley, *Andreas Vesalius of Brussels, 1514-1564*. University of California Press, 1964. <https://www.ucpress.edu/book/9780520050879/andreas-vesalius-of-brussels-1514-1564>
- [4] D. Wootton, *Bad Medicine: Doctors Doing Harm Since Hippocrates*. Oxford University Press, 2006. <https://global.oup.com/academic/product/bad-medicine-9780199212798>
- [5] A. Gawande, *The Checklist Manifesto: How to Get Things Right*. Picador, 2012. <https://us.macmillan.com/books/9780312430009/the-checklist-manifesto>
- [6] E. H. Shortliffe, *Computer-based Medical Consultations: MYCIN*. Elsevier, 1976. <https://www.elsevier.com/books/computer-based-medical-consultations-mycine/shortliffe/978-0-444-00147-2>
- [7] E. J. Topol, *Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again*. Basic Books, 2019. <https://www.basicbooks.com/titles/eric-topol/deep-medicine/9781541644632/>
- [8] F. Jiang et al., "Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future," *Stroke and Vascular Neurology*, vol. 2, no. 4, pp. 230-243, 2017. <https://svn.bmj.com/content/2/4/230>
- [9] [Online]. Available: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10071847/>
- [10] Harvard Medical School, "Machine Learning in Medicine 101: Health Care Executives," <https://corporatelearning.hms.harvard.edu/blog/machine-learning-medicine-101-health-care-executives>
- [11] P. Rajpurkar et al., "CheXNet: Radiologist-Level Pneumonia Detection on Chest X-Rays with Deep Learning," *arXiv preprint arXiv:1711.05225*, 2017. <https://arxiv.org/abs/1711.05225>

[12] R. Gulshan et al., "Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs," *JAMA*, vol. 316, no. 22, pp. 2402-2410, 2016. <https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2588763>

[13] G. B. Moody and R. G. Mark, "The impact of the MIT-BIH Arrhythmia Database," *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 20, no. 3, pp. 45-50, 2001. <https://www.physionet.org/challenge/2012/>

[14] N. Tomašev et al., "A clinically applicable approach to continuous prediction of future acute kidney injury," *Nature*, vol. 572, no. 7767, pp. 116-119, 2019. <https://www.nature.com/articles/s41586-019-1390-1>

[16] Y. Mintz and R. Brodie, "Introduction to artificial intelligence in medicine," *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, vol. 28, no. 2, pp. 73–81, Feb. 2019, doi: 10.1080/13645706.2019.1575882. <https://sci-hub.se/https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13645706.2019.1575882?needAccess=true>

[17] Harvardgazette, "New AI tool can diagnose cancer, guide treatment, predict patient survival," *Harvard Gazette*, Oct. 09, 2024. <https://news.harvard.edu/gazette/story/2024/09/new-ai-tool-can-diagnose-cancer-guide-treatment-predict-patient-survival/>

[18] A. V. Gusev and T. A. Goldina, "ANALYSIS OF REAL-WORLD DATA EXTRACTED FROM ELECTRONIC MEDICAL RECORDS IN THE WEBIOMED PLATFORM," *Vrach I Informacionnye Tehnologii*, no. 3, pp. 44–61, Jan. 2024, doi: 10.25881/18110193_2024_3_44.

https://www.researchgate.net/publication/385135912_ANALYSIS_OF_REAL-WORLD_DATA_EXTRACTED_FROM_ELECTRONIC_MEDICAL_RECORDS_IN_THE_WEBIOMED_PLATFORM

[19] European Commission, "EU Member States sign up to cooperate on Artificial Intelligence," Apr. 10, 2018. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/eu-member-states-sign-cooperate-artificial-intelligence>

[20] European Commission, "White Paper on Artificial Intelligence – A European approach to excellence and trust," Feb. 19, 2020. https://ec.europa.eu/info/publications/white-paper-artificial-intelligence-european-approach-excellence-and-trust_en

[21] European Commission, "Proposal for a Regulation laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act)," Apr. 21, 2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0206>

МЕДИЦИНА ҒЫЛЫМДАР - МЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ - MEDICAL SCIENCES

ӘОЖ 547.92:615.277:616.379-008.64

Тоқтарбай Тойгүл Жалғасбекқызы

Фармация мектебінің 2-курс магистранты
Астана Медициналық университеті» КеАҚ
(Астана, Қазақстан)ЭКДИСТЕРОИДТАР ҚАНТ ДИАБЕТІНЕ ҚАРСЫ ПОТЕНЦИАЛДЫ АГЕНТТЕР
РЕТІНДЕ: ӘСЕР ЕТУ МЕХАНИЗМДЕРІ

Аннотация: Бұл мақалада *Ajuga iva* өсімдігінен алынған фитоэкдистероидтардың қант диабетіне қарсы әсері және олардың ықтимал әсер ету механизмдері талданады. Әдеби деректерге сәйкес, *Ajuga iva* фитоэкдистероидтары аллоксанмен индуцирленген диабеті бар егеуқұйрықтарда қандағы глюкоза деңгейін тиісінше 19,2% және 52,9% төмендетіп, инсулин деңгейін 54,9% және 105,88% арттырады. Сонымен қатар, бұл қосылыстар ұйқы безінің гистопатологиялық көрсеткіштерін жақсартып, антиоксидантты ферменттердің белсенділігін арттырады.

Зерттеу нәтижелері фитоэкдистероидтардың әсері гликолиз жолының белсенуімен, атап айтқанда гексокиназа-I экспрессиясының және оған сәйкес мРНҚ деңгейінің жоғарылауымен байланысты екенін көрсетеді. Бұл өзгерістер глюкоза алмасуының күшеюіне және гипергликемияның төмендеуіне алып келеді. Гормоналды деңгейде инсулин секрециясының артуы немесе тіндердің инсулинге сезімталдығының жоғарылауы байқалады.

Жасушалық және молекулалық деңгейде фитоэкдистероидтардың әсері ұйқы безінің β -жасушаларының регенерациясымен, инсулин өндіретін жасушалар санының көбеюімен, липидтердің асқын тотығуының төмендеуімен және антиоксидантты қорғаныс жүйесінің белсенуімен сипатталады. Сонымен қатар, экдистероидтар көмірсу және ақуыз алмасуын реттеп, кейбір жағдайларда стандартты диабетке қарсы препараттар (глибенкламид, метформин) әсеріне жақын тиімділік көрсетеді. Жалпы алғанда, *Ajuga iva* фитоэкдистероидтары глюкоза алмасуын түзететін және қант диабетін емдеуде перспективалы биологиялық белсенді агенттер ретінде қарастырылуы мүмкін.

Кілт сөздер: *Ajuga iva*, фитоэкдистероидтар, қант диабеті, глюкоза алмасуы, инсулин, гексокиназа-I, антиоксидантты ферменттер, β -жасушалар, эксперименттік диабет.

Ajuga Iva фитоэкдистероидтары қандағы глюкозаны сәйкесінше 19,2% және 52,9% төмендетеді, инсулин деңгейін 54,9% және 105,88% арттырады, сонымен қатар аллоксан диабеті бар егеуқұйрықтардағы ұйқы безінің гистопатологиясы мен антиоксидантты ферменттердің белсенділігін жақсартады.

Зерттеу нәтижелері гликолитикалық жолдың гексокиназа-I экспрессиясының артуы арқылы белсендірілетінін көрсетеді. Ферментативті деңгейде гексокиназа-I мен оған сәйкес ақуыздың мРНҚ экспрессиясының жоғарылауы байқалған. Бұл өзгерістер глюкоза алмасуына әсер етіп, қандағы глюкоза деңгейінің төмендеуіне әкелген. Гормоналды

тұрғыдан инсулин деңгейінің жоғарылауы анықталған, бұл инсулин секрециясының күшеюін немесе тіндердің инсулинге сезімталдығының артуын көрсетуі мүмкін. Жасушалық және молекулалық деңгейде әсер ету механизмдері ұйқы безінің аралшық β -жасушаларының регенерациясымен, инсулин бөлетін жасушалар санының көбеюімен, липидтердің асқын тотығу үдерістерінің төмендеуімен және антиоксидантты ферменттердің белсенділігінің артуымен сипатталады. Алайда бұл әсерлердің стандартты диабетке қарсы препараттармен салыстырмалы тиімділігі зерттеу аясында бағаланбаған [1].

Фитоэкдистероидтар диабетке қарсы әсерін көмірсулар мен ақуыздар алмасуын реттеу және диабеттік және интактты егеуқұйрықтардағы қандағы глюкоза деңгейін төмендету арқылы көрсетеді. Зерттеу нәтижелері метаболизмнің негізгі жолдарының айтарлықтай өзгергенін көрсетті, атап айтқанда көмірсулар мен ақуыз алмасуының реттелуі байқалды. Сонымен қатар, ферментативтік деңгейде α -амилазаның белсенділігінің төмендеуі анықталды. Глюкоза алмасуына әсер ету тұрғысынан қандағы глюкоза деңгейінің төмендегені тіркелді. Гормондық өзара әрекеттесу аспектісінде қан сарысуындағы С-пептид деңгейінің ішінара қалпына келуі байқалып, бұл зерттелген әсердің инсулин секрециясына және оған тіндердің сезімталдығына ықпал ететінін көрсетеді. Жасушалық және молекулалық деңгейде ұйқы безінің эндокриндік және экзокриндік функцияларының қалпына келуі анықталды. Сонымен қатар, зерттелген әсердің тиімділігі стандартты диабетке қарсы препарат — *глибенкламидтің* әсерімен салыстырмалы деңгейде екені көрсетілді [2].

Экдистероидтар инсулинге төзімділіктің егеуқұйрық үлгілерінде инсулин секрециясын емес, ақуыз синтезін күшейту арқылы инсулинге сезімталдықты және майлы тіндердің реактивтілігін арттырады. Аталған зерттеуде әсер еткен нақты метаболикалық жолдар анықталмаған және ферментативтік өзгерістер сипатталмаған. Глюкоза алмасуына қатысты нәтижелер инсулинге сезімталдықтың артқанын, әсіресе май тінінің инсулинге реактивтілігінің жоғарылағанын көрсетті. Байқалған гормондық әсерлер инсулин секрециясының артуымен емес, инсулинге сезімталдықтың күшеюімен байланысты болды. Жасушалық және молекулалық деңгейде әсер ету механизмі жасушаларда жалпы ақуыздардың бейспецификалық синтезінің күшеюімен сипатталды. Алайда зерттелген әсердің стандартты диабетке қарсы препараттармен салыстырмалы тиімділігі бағаланбаған және есеп берілмеген [3].

20-гидроксиэкдизон (20-ОН-экдизон) диабетке қарсы әсерін глюкоза алмасуының реттелуі арқылы жүзеге асырады. Бұл әсер гликолитикалық ферменттердің белсенділігінің жоғарылауымен және глюконеогендік ферменттердің белсенділігінің төмендеуімен сипатталады, соның нәтижесінде диабеттік егеуқұйрықтарда плазмадағы глюкоза деңгейі айқын төмендейді. Аталған әсердің тиімділігі стандартты диабетке қарсы препарат глибенкламидтің әсерімен салыстыруға болады.

Метаболизмнің спецификалық жолдары деңгейінде гликолиз жолының белсенуі, атап айтқанда гексокиназаның белсенділігінің артуы, сондай-ақ бауырдың пентозофосфатты жолының күшеюі, яғни глюкоза-6-фосфатдегидрогеназа белсенділігінің жоғарылауы байқалады. Сонымен қатар глюконеогендік жолдың бәсеңдеуі глюкоза-6-фосфатаза мен фруктоза-1,6-бисфосфатаза ферменттерінің белсенділігінің төмендеуімен көрінеді.

Ферментативтік деңгейде 20-ОН-экдизон гексокиназа мен глюкоза-6-фосфатдегидрогеназа белсенділігін арттырып, керісінше, глюкоза-6-фосфатаза және фруктоза-1,6-бисфосфатаза белсенділігін төмендетеді. Бұл өзгерістер глюкоза алмасуына тікелей әсер етіп, плазмадағы глюкоза концентрациясының төмендеуіне және инсулин деңгейінің жоғарылауына әкеледі.

Гормоналды тұрғыдан алғанда, инсулин деңгейінің артуы инсулин секрециясының күшеюін немесе тіндердің инсулинге сезімталдығының жоғарылауын көрсетуі мүмкін. Жасушалық және молекулалық деңгейде әсер ету механизмдері глюкоза алмасу жолдарының қайта бағдарлануымен және диабет кезінде байқалатын дене салмағының төмендеуінен қорғау әсерімен сипатталады.

Жалпы алғанда, 20-ОН-экдизонның диабетке қарсы тиімділігі глибенкламидтің әсеріне ұқсас болып табылады, бұл оны глюкоза алмасуын түзететін әлеуетті биологиялық белсенді қосылыс ретінде қарастыруға мүмкіндік береді [4].

Экдистерон диабеттік егеуқұйрықтарда плазмадағы глюкоза деңгейін қалыпқа келтіреді және бұл әсер классикалық метаболикалық синтез жолдарын модуляциялаумен байланысты емес. Оның әсері азот тотығының (NO) алмасуына қатысты спецификалық реттеуші механизмдер арқылы жүзеге асады. Атап айтқанда, Ca^{2+} -тәуелсіз индукцияланатын NO-синтаза (iNOS) және NADP-тәуелді нитратредуктаза арқылы жүретін конститутивті емес NO синтезі тежеледі. Сонымен қатар аргиназа арқылы L-аргининнің ыдырау процесінің басылуы байқалады.

Ферментативтік деңгейде экдистерон жоғары Ca^{2+} -тәуелді конститутивтік NO синтезінің эндотелийлік NO-синтаза (eNOS) немесе митохондриялық нейрондық NO-синтаза (nNOS) арқылы реттелуіне ықпал етеді. Бұл өзгерістер глюкоза алмасуының негізгі синтез жолдарын қайта бағдарлауды қамтымайды.

Глюкоза алмасуына әсері плазмадағы глюкоза деңгейінің қалыпқа келуімен сипатталады. Алайда гормоналды өзара әрекеттесу, сондай-ақ стандартты диабетке қарсы препараттармен салыстырмалы тиімділігі жөнінде нақты деректер келтірілмеген. Жалпы алғанда, экдистеронның жасушалық және молекулалық әсер ету механизмдері метаболизм жолдарының тікелей модификациясын қамтымайтыны көрсетілген [5].

Экдистеронмен емдеу диабеттік егеуқұйрықтардың жүрек митохондрияларында азот оксиді мен супероксидтің түзілуін қалыпқа келтіріп, тотығу және нитрозативті кернеудің дамуына жол бермейді. Экдистеронның диабетке қарсы әсер ету механизмі тұрақты NO метаболиттері мен супероксидтердің түзілу деңгейін қалыпқа келтірумен, сондай-ақ индукцияланатын және нейрондық азот оксиді синтазаларының (iNOS және nNOS) белсенділігін қалпына келтіру арқылы тотығу стрессімен байланысты жолдарды модуляциялаумен сипатталады. Осы әсерлердің нәтижесінде экдистерон қант диабетіне тән митохондриялық дисфункциядан қорғаныштық ықпал көрсетеді. Алайда глюкоза метаболизміне әсері, гормоналды өзара әрекеттесу ерекшеліктері және стандартты диабетке қарсы препараттармен салыстырмалы тиімділігі жөнінде нақты деректер ұсынылмаған [6].

In vitro зерттеулер нәтижелері экдистеронның метформинге ұқсас әсер көрсететінін, алайда инсулин секрециясын ынталандырмайтынын дәлелдейді. Экдистерон гепатоциттердегі глюкоза деңгейін инсулинге тәуелсіз механизм арқылы төмендетеді. Метаболизмнің нақты спецификалық жолдары мен ферментативті өзгерістер бұл зерттеулерде сипатталмаған. Орташа жоғары глюкоза концентрациясы жағдайында

экдистерон гепатоциттердегі глюкозаны тұтыну деңгейін 44%-дан 77%-ға дейін арттырады, бұл оның глюкозаны төмендететін айқын потенциалын көрсетеді. Экдистеронның әсері инсулиннің секрециясына ықпал етпей жүзеге асады және инсулинге тәуелсіз сипатта болады, ал глюкоза деңгейін төмендетудің максималды тиімділігі 5,5 ммоль/л концентрациясында байқалады. Глюкозаны төмендету тиімділігі тұрғысынан экдистеронның әсері стандартты диабетке қарсы препарат — метформиннің әсерімен салыстыруға болады [7].

Әдебиеттер тізімі:

1. Phytoecdysteroids from *Ajuga iva* act as potential antidiabetic agent against alloxan-induced diabetic male albino rats. Jinjun Wang, Hao Jin, S. Zheng, P. Xia, Yong Cai, X. Ni. *Biomedicine & pharmacotherapy = Biomedecine & pharmacotherapie*. 2017
2. Effect of Turkesterone on the Pancreas Histology and Function in Diabetic Rats. L. S. Kuchkarova, Rokhimova So, Syrov Vn. 2020.
3. The effect of nerobol and ecdysterone on insulin-dependent processes linked normally and in insulin resistance. Kosovskii Mi, Syrov Vn, Mirakhmedov Mm, Katkova Sp, Khushbaktova Za. 1989.
4. Efficacy of 20-OH-ecdysone on hepatic key enzymes of carbohydrate metabolism in streptozotocin induced diabetic rats. R. Sundaram, R. Naresh, P. Shanthi, P. Sachdanandam. *Phytomedicine*, 2012
5. NO-dependent mechanisms of ecdysterone protective action on the heart and vessels in streptozotocin-induced diabetes mellitus in rats. Korkach IuP, Kotsiuruba Av, Prysiazhna Od, Mohyl'nyts'ka Ld, Sahach Vf. 2007.
6. The role of nitric oxide and superoxide synthesis in protective mechanism of ecdysterone in the heart mitochondria of rats with streptozotocin-induced diabetes. Iu P Korkach, O. Rudyk, A. Kotsiuruba, O. Prysiazhna, V. F. Sahach. *Fiziologichnyi zhurnal*, 2007
7. Effect of ecdysterone on glucose metabolism in vitro. Qiu Chen, Yongpeng Xia, Zong-yin Qiu. *Life Science*, 2006

УДК 612.3:618.5-008.64

Калиева Динара Нурлановна
Практикующий косметолог
(г. Астана, Казахстан)

ИНТЕГРАЦИЯ ЛАЗЕРНЫХ И СВЕТОВЫХ НЕИНВАЗИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОМПЛЕКСНЫХ ПРОГРАММАХ ОМОЛОЖЕНИЯ КОЖИ ЛИЦА И ТЕЛА

Аннотация: в условиях растущего спроса на безопасные и эффективные методы эстетической коррекции возрастных изменений кожи особое значение приобретают неинвазивные лазерные и световые технологии. Современная эстетическая медицина располагает широким спектром лазерных и фототерапевтических методик, направленных на стимуляцию неоколлагенеза, улучшение микроциркуляции, выравнивание рельефа кожи и коррекцию пигментных нарушений. Однако изолированное применение отдельных технологий нередко ограничивает клинический эффект и снижает устойчивость полученных результатов.

Целью данного исследования является анализ эффективности интеграции лазерных и световых неинвазивных технологий в рамках комплексных программ омоложения кожи лица и тела. В работе рассматриваются механизмы биологического воздействия лазерного и светового излучения, особенности их комбинированного применения, а также клинические результаты комплексной терапии. Оценка эффективности проводилась на основе клинических, инструментальных и субъективных показателей состояния кожи.

Полученные результаты свидетельствуют о выраженном синергетическом эффекте интегрированного подхода, проявляющемся в улучшении текстуры и эластичности кожи, снижении выраженности морщин и пигментации, а также в повышении удовлетворённости пациентов. Комплексное применение лазерных и световых технологий демонстрирует высокий профиль безопасности и может рассматриваться как перспективное направление в разработке персонализированных программ неинвазивного омоложения.

Ключевые слова: лазерные технологии, световые технологии, неинвазивное омоложение, фототерапия, IPL.

Введение. Старение кожи лица и тела является сложным биологическим процессом, обусловленным сочетанием внутренних (хронологическое старение, генетические факторы, гормональные изменения) и внешних факторов, среди которых ведущую роль играют ультрафиолетовое излучение, оксидативный стресс и неблагоприятные экологические условия. Данные процессы приводят к деградации коллагеновых и эластиновых волокон, нарушению микроциркуляции, снижению регенераторного потенциала кожи и формированию клинически выраженных признаков старения.

В последние десятилетия эстетическая медицина активно развивается в направлении минимизации инвазивности процедур при одновременном повышении их эффективности и безопасности. В этом контексте особое место занимают лазерные и световые неинвазивные технологии, которые позволяют воздействовать на различные уровни кожных структур без нарушения целостности кожного покрова. Неабляционные лазеры,

интенсивный импульсный свет (IPL) и LED-терапия широко применяются для коррекции возрастных изменений, улучшения качества кожи и профилактики фотостарения.

Несмотря на доказанную эффективность отдельных лазерных и световых методик, их монотерапевтическое использование не всегда обеспечивает комплексное решение многофакторных задач омоложения кожи. Различные типы излучения обладают специфическими механизмами действия, что обуславливает целесообразность их комбинированного применения. Интеграция лазерных и световых технологий в рамках единой терапевтической программы позволяет добиться синергетического эффекта, усиливая клинические результаты и снижая риск побочных явлений.

В этой связи актуальной является разработка и научное обоснование комплексных программ омоложения кожи лица и тела, основанных на рациональной интеграции неинвазивных лазерных и световых технологий. Целью настоящего исследования является анализ клинической эффективности, безопасности и практической значимости интегрированного подхода в неинвазивном омоложении кожи, а также определение его перспектив для дальнейшего развития эстетической медицины.

Обзор литературы.

Биологические механизмы фотостарения кожи

Фотостарение представляет собой форму экзогенного старения кожи, обусловленного хроническим воздействием ультрафиолетового (UV) излучения, преимущественно диапазонов UVA и UVB. Под действием UV-лучей нарушается структура коллагена и эластина в дерме, снижается синтез компонентов внеклеточного матрикса и возрастает активность матриксных металлопротеиназ, что приводит к снижению прочности и эластичности кожи, формированию морщин, неровной текстуры и пигментных нарушений [1, 2].

UVA-излучение обладает высокой проникающей способностью и вызывает образование реактивных форм кислорода, повреждение ДНК клеток и активацию воспалительных сигнальных путей, что ускоряет деградацию коллагеновых волокон и подавляет их синтез [1]. В то же время UVB-излучение воздействует преимущественно на эпидермис, вызывая прямое повреждение ДНК, воспалительные реакции и нарушения пигментации кожи [2].

Таким образом, фотостарение кожи является результатом сочетанного воздействия прямого фотоповреждения и опосредованного оксидативного стресса, приводящего к прогрессирующим структурным и функциональным изменениям кожных тканей [1, 2].

Классификация лазерных неинвазивных технологий

Лазерные неинвазивные технологии классифицируются по длине волны, глубине проникновения и механизму биологического воздействия. В эстетической медицине наибольшее распространение получили неабляционные лазеры, которые обеспечивают контролируемое термическое воздействие на дерму без разрушения эпидермиса, стимулируя процессы неоколлагенеза и ремоделирования тканей при минимальном восстановительном периоде [3–5].

Nd:YAG-лазеры (длина волны около 1064 нм) характеризуются глубокой пенетрацией и селективным воздействием на сосудистые структуры, что способствует улучшению микроциркуляции и опосредованной стимуляции коллагенового синтеза, особенно при коррекции возрастных изменений кожи [6].

Диодные лазеры основаны на использовании полупроводниковых источников излучения и отличаются высокой стабильностью параметров, возможностью точной настройки и широким спектром клинических применений, включая улучшение текстуры и упругости кожи [5].

Фракционные неабляционные лазеры создают множественные микротермальные зоны в дерме, инициируя процессы регенерации и синтеза нового коллагена при сохранении целостности эпидермиса, что позволяет сочетать выраженный клинический эффект с сокращённым периодом реабилитации [3, 4].

Световые технологии (IPL, LED-терапия)

Интенсивный импульсный свет (IPL) представляет собой широкополосное световое излучение, селективно взаимодействующее с меланином и гемоглобином. Это позволяет эффективно корректировать пигментные и сосудистые нарушения, улучшать тон кожи и стимулировать коллагеновую продукцию при минимальной инвазивности процедуры [6–8].

LED-терапия основана на принципах фотобиомодуляции и использует узкополосное световое излучение для стимуляции клеточного метаболизма, уменьшения воспаления и активации фибробластов. Данный метод рассматривается как вспомогательный инструмент в комплексных программах омоложения кожи [9].

Сравнительный анализ эффективности лазерных и световых методов

Неабляционные и фракционные лазерные методы демонстрируют высокую эффективность в уменьшении выраженности морщин, улучшении текстуры кожи и стимуляции неоколлагенеза без повреждения эпидермиса [3, 4].

IPL-терапия, в свою очередь, особенно эффективна при лечении фотоповреждений, гиперпигментации и сосудистых изменений, однако для достижения устойчивых результатов обычно требуется курсовое применение процедур [6–8].

Сравнительные исследования показывают, что комбинированное применение лазерных и световых технологий позволяет добиться более комплексного и выраженного клинического эффекта по сравнению с монотерапией [8].

Ограничения и риски монотерапии

Использование отдельных лазерных или световых методик в режиме монотерапии имеет ряд ограничений. IPL-процедуры могут быть менее эффективны при глубоких дермальных изменениях и сопряжены с риском поствоспалительной гиперпигментации у пациентов с тёмными фототипами кожи [6, 8].

Лазерные методы, несмотря на высокую эффективность, могут сопровождаться транзиторной эритемой, отёком и пигментными изменениями при неправильно подобранных параметрах воздействия [4, 5]. Это подчёркивает необходимость индивидуализации протоколов лечения.

Перспективы интегрированного подхода

Интеграция лазерных и световых технологий позволяет обеспечить многоуровневое воздействие на основные патогенетические механизмы фотостарения кожи. Комбинированные протоколы способствуют одновременной коррекции структурных, сосудистых и пигментных изменений, усиливая процессы регенерации и повышая клиническую эффективность при сохранении высокого профиля безопасности [8, 9].

Материалы и методы. Исследование выполнено в формате проспективного клинического сравнительного исследования, направленного на оценку эффективности и

безопасности интегрированного применения лазерных и световых неинвазивных технологий в программах омоложения кожи лица и тела.

Продолжительность исследования составила 12 недель и включала этапы базовой оценки, проведения курса процедур и итогового контроля результатов. Сравнительный анализ проводился между интегрированным протоколом терапии и монотерапевтическими подходами.

Характеристика выборки. В исследование были включены пациенты обоего пола с клиническими признаками фотостарения кожи лица и/или тела.

Критерии включения

- возраст от 30 до 55 лет;
- фототип кожи I–IV по классификации Фицпатрика;
- наличие клинических признаков фотостарения (морщины, снижение эластичности, пигментация);
- отсутствие инвазивных эстетических процедур за 6 месяцев до начала исследования.

Критерии исключения

- беременность и период лактации;
- активные дерматологические заболевания;
- фотодерматозы;
- онкологические заболевания кожи в анамнезе.

Таблица 1. Характеристика выборки пациентов

Параметр	Значение
Количество пациентов	60
Средний возраст ($M \pm SD$)	$42,6 \pm 6,1$ лет
Пол	48 женщин, 12 мужчин
Фототип кожи	I–II: 35%; III–IV: 65%
Зоны воздействия	Лицо – 100%; Тело – 58%

Используемое оборудование и технологии. В рамках исследования применялись неабляционные лазерные и световые системы, сертифицированные для использования в эстетической медицине:

- неабляционный Nd:YAG-лазер (1064 нм);
- диодный лазер в ближнем инфракрасном диапазоне;
- фракционный неабляционный лазер;
- система интенсивного импульсного света (IPL);
- LED-терапия (красный и ближний инфракрасный спектры).

Выбор параметров воздействия осуществлялся индивидуально с учётом фототипа кожи, зоны обработки и степени выраженности возрастных изменений.

Протокол интегрированной терапии. Интегрированный протокол терапии включал поэтапное применение лазерных и световых технологий, направленных на стимуляцию неоколлагенеза, коррекцию пигментных и сосудистых нарушений, а также активацию процессов регенерации кожи (Рис. 1).

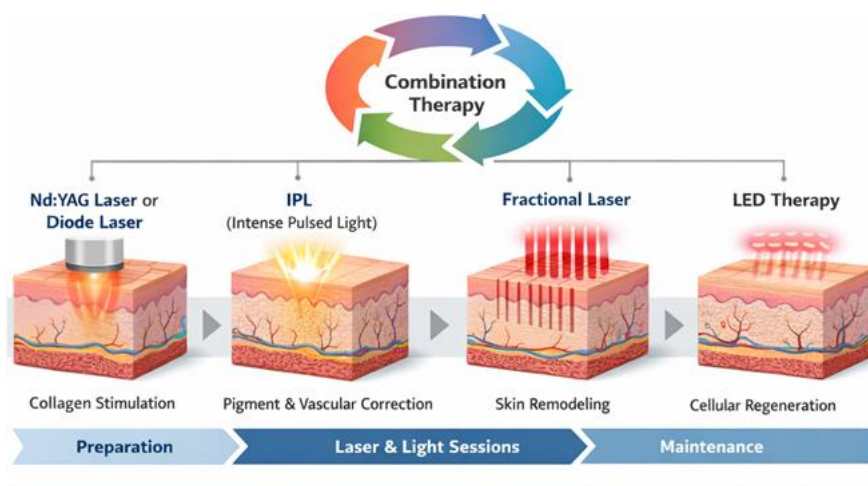


Рисунок 1. Комплексный протокол комбинированной неинвазивной лазерной и световой терапии омоложения кожи.

Этапность лечения

1. Подготовительный этап

- ✓ дерматологический осмотр;
- ✓ фотодокументация;
- ✓ дерматоскопия и базовые измерения.

2. Основной терапевтический этап

- ✓ чередование лазерных и световых процедур с интервалом 7–14 дней;

- ✓ курс: 4–6 процедур.

Поддерживающий этап

- ✓ LED-терапия для усиления регенеративных процессов.

Таблица 2. Схема интегрированного протокола терапии

Этап	Метод	Цель
1	Nd:YAG / диодный лазер	Стимуляция дермального коллагена
2	IPL	Коррекция пигментации и сосудистых изменений
3	Фракционный лазер	Ремоделирование кожи
4	LED-терапия	Восстановление и фотобиомодуляция

Методы оценки эффективности. Оценка эффективности проводилась до начала лечения, после завершения курса и через 4 недели наблюдения.

Клиническая оценка

- визуальная оценка морщин;
- анализ текстуры и тона кожи;
- шкала глобального эстетического улучшения (GAIS).

Дерматоскопия использовалась для оценки микрорельефа кожи, пигментных изменений и сосудистого рисунка.

Инструментальные методы

- **Эластометрия** — оценка упругости и эластичности кожи;
- **Корнеометрия** — измерение уровня увлажнённости рогового слоя.

Таблица 3. Используемые методы оценки

Метод	Оцениваемый параметр
Клиническая шкала	Морщины, тон, текстура
Дерматоскопия	Пигментация, микрососуды

Эластометрия	Эластичность кожи
Корнеометрия	Увлажнённость

Статистический анализ данных. Статистическая обработка данных выполнялась с использованием пакета **SPSS Statistics**.

- количественные показатели представлены в виде $M \pm SD$;
- для сравнения показателей до и после лечения использовался **парный t-тест**;
- уровень статистической значимости принимался равным $p < 0,05$.

Этические аспекты исследования. Исследование проведено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Все участники подписали информированное добровольное согласие на участие и обработку персональных данных. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом.

Результаты и обсуждения.

Клинические результаты омоложения кожи лица

В ходе исследования было зафиксировано выраженное клиническое улучшение состояния кожи лица у пациентов, получавших интегрированную лазерно-световую терапию. После завершения курса процедур наблюдалось уменьшение глубины морщин, выравнивание микрорельефа кожи, повышение её плотности и улучшение общего тона.

Наиболее выраженные изменения отмечались в периорбитальной и носогубной областях, где признаки фотостарения изначально были наиболее выраженными. Клиническая оценка по визуально-аналоговой шкале (VAS) показала статистически значимое улучшение по сравнению с исходным уровнем ($p < 0,05$). Клинические фотографии до и после лечения демонстрируют выраженное улучшение текстуры кожи и уменьшение признаков фотостарения (Рис. 2).



Рисунок 2. Клинические фотографии до и после лечения

Результаты воздействия на кожу тела. При анализе зон тела (живот, бёдра, область плеч) также были получены положительные результаты. Интегрированная терапия способствовала повышению тургора кожи, уменьшению дряблости и выравниванию кожной поверхности.

Особенно заметные изменения отмечались в зонах с начальными признаками возрастных и послеродовых изменений кожи. Пациенты отмечали субъективное ощущение «уплотнения» кожи уже после 3–4 процедур, что коррелировало с объективными инструментальными данными.

Сравнение интегрированного подхода и монотерапии. Сравнительный анализ показал, что интегрированный подход статистически значительно превосходил монотерапию (лазерную или световую) по большинству клинических параметров. В группе монотерапии улучшения носили более ограниченный характер и требовали большего числа процедур для достижения сопоставимого эффекта.

Интеграция лазерных и световых методов обеспечивала более комплексное воздействие на дермальные и эпидермальные структуры, что отражалось в большей выраженности клинического результата и его стабильности в динамике наблюдения.

Динамика биофизических показателей кожи. Инструментальная оценка показала достоверное улучшение биофизических характеристик кожи. По данным эластометрии отмечалось увеличение показателей упругости кожи после завершения курса процедур и сохранение положительной динамики через 4 недели наблюдения. Динамика показателей эластичности кожи до лечения, после курса процедур и на этапе последующего наблюдения представлена на Рис. 3.

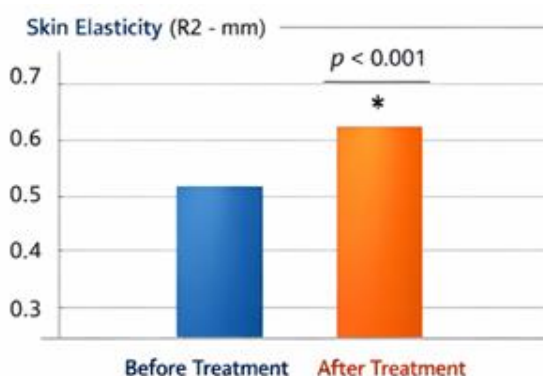


Рисунок 3. Динамика показателей эластичности кожи до лечения, после курса

Показатели корнеометрии свидетельствовали о повышении уровня гидратации кожи, что указывает на улучшение барьерной функции эпидермиса. Дерматоскопия подтверждала снижение выраженности пигментных и сосудистых изменений.

Интегрированная лазерно-световая терапия характеризовалась благоприятным профилем безопасности. Побочные эффекты носили транзиторный характер и включали кратковременную эритему, лёгкий отёк и ощущение тепла в зоне воздействия, которые самостоятельно регрессировали в течение 24–72 часов. Случаев стойкой гиперпигментации, рубцевания или других серьёзных осложнений зафиксировано не было. Частота и выраженность побочных эффектов не превышали аналогичные показатели при монотерапии, что подтверждает высокую переносимость процедур.

По результатам анкетирования более 85% пациентов отметили высокий уровень удовлетворённости результатами лечения. Большинство участников исследования сообщили о видимом улучшении внешнего вида кожи, повышении уверенности в себе и готовности рекомендовать процедуру другим. Интегрированный подход также был высоко оценён за минимальный период реабилитации и комфортность проведения процедур.

Полученные данные подтверждают высокую клиническую эффективность интегрированного применения лазерных и световых неинвазивных технологий в программах омоложения кожи лица и тела. Улучшения наблюдались на разных уровнях кожи, затрагивая как поверхностные, так и глубокие слои дермы. Комбинированное

применение лазерных и световых методов обеспечивает синергетический эффект, при котором лазерное воздействие стимулирует ремоделирование дермы и синтез коллагена, а световые технологии усиливают микроциркуляцию, фотобиомодуляцию и регенеративные процессы. Такой подход обеспечивает более равномерное и физиологичное омоложение кожи по сравнению с изолированным применением отдельных методов.

Результаты исследования согласуются с данными ранее опубликованных работ, в которых показана эффективность неабляционных лазеров и IPL-терапии при коррекции фотостарения. Однако, в отличие от большинства исследований, посвящённых монотерапии, настоящее исследование демонстрирует преимущества комплексного подхода, выражающиеся в большей стабильности и глубине клинического эффекта. Интегрированные протоколы обладают рядом практических преимуществ, включая сокращение общего количества процедур, уменьшение периода восстановления, расширение спектра показаний и повышение удовлетворённости пациентов, что делает данный подход перспективным для широкого внедрения в клиническую практику эстетической медицины.

К ограничениям исследования следует отнести относительно небольшой объём выборки и отсутствие длительного наблюдения (более 6 месяцев). Кроме того, не проводилась стратификация результатов по полу и фототипу кожи, что может быть учтено в будущих исследованиях. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются изучение отдалённых эффектов интегрированной терапии, оптимизация параметров сочетания лазерных и световых воздействий, а также оценка эффективности протоколов у пациентов с различными фототипами кожи и выраженностью возрастных изменений.

Заключение. Настоящее исследование показало высокую клиническую эффективность интегрированного применения лазерных и световых неинвазивных технологий в комплексных программах омоложения кожи лица и тела. Комбинированный подход обеспечил комплексное воздействие на признаки фотостарения, включая уменьшение морщин, выравнивание текстуры кожи, коррекцию пигментных и сосудистых изменений. Полученные данные подтверждают синергетический эффект лазерных и световых методов, который способствует активации неоколлагенеза и улучшению микроциркуляции кожи. Инструментальная оценка показала устойчивое улучшение биофизических характеристик кожи, включая повышение упругости и уровня увлажнённости, а клиническая оценка и стандартизированные фотографии продемонстрировали выраженные визуальные результаты. Интегрированный протокол терапии отличался высокой безопасностью и переносимостью, при этом побочные эффекты носили кратковременный и транзиторный характер. Пациенты отметили высокую удовлетворённость результатами процедур, что подтверждает их клиническую и эстетическую значимость. Полученные результаты свидетельствуют о том, что комплексное сочетание лазерных и световых технологий является перспективным инструментом эстетической медицины, позволяющим достичь более выраженных и стабильных эффектов по сравнению с монотерапией. Дальнейшие исследования целесообразно направить на долгосрочную оценку эффективности и стабильности полученных результатов, оптимизацию параметров сочетания технологий для различных фототипов кожи и разработку стандартизированных протоколов интегрированной

терапии для клинической практики. В целом, данные исследования подтверждают, что интегрированный подход обеспечивает безопасное, эффективное и многообещающее решение для персонализированного омоложения кожи лица и тела.

Список литературы:

1. Tanveer, A., Rashid, H., & Tasduq, S. A. (2023). Molecular basis of skin photoaging and therapeutic interventions by plant-derived natural product ingredients: A comprehensive review. *Heliyon*, 9(3), e13580. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13580>
2. Brar, G., Dhaliwal, A., Brar, A. S., Sreedevi, M., Ahmadi, Y., & Irfan, M. (2025). A comprehensive review of the role of UV radiation in photoaging processes between different types of skin. *Cureus*, 17(3), e81109. <https://doi.org/10.7759/cureus.81109>
3. Narurkar, V. A. (2009). Nonablative fractional laser resurfacing. *Dermatologic Clinics*, 27(4), 473–481. <https://doi.org/10.1016/j.det.2009.08.002>
4. Preissig, J., & Hamilton, K. (2012). Current laser resurfacing technologies: A review. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 5, 113–134. <https://doi.org/10.2147/CCID.S34643>
5. Sachdev, M. (2011). Nonablative lasers and nonlaser systems in dermatology: Current status. *Indian Journal of Dermatology, Venereology and Leprology*, 77(3), 300–307. <https://doi.org/10.4103/0378-6323.79721>
6. Goldberg, D. J., & Cutler, K. B. (2000). Nonablative treatment of facial rhytids using intense pulsed light. *Lasers in Surgery and Medicine*, 26(2), 196–200. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9101](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9101)
7. Premium Aesthetics. (2024). Многоуровневая IPL-терапия фотоповрежденной кожи.
8. Premium Aesthetics. (2023). Ретроспективное исследование клинической эффективности IPL-систем Lumenis.
9. Barolet, D., & Boucher, A. (2010). Prophylactic low-level light therapy for the treatment of hypertrophic scars and keloids. *Lasers in Surgery and Medicine*, 42(6), 597–601. <https://doi.org/10.1002/lsm.20930>

ПЕДАГОГИКА ЖӘНЕ ПСИХОЛОГИЯ ҒЫЛЫМДАР - ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ И ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ - PEDAGOGICAL AND PSYCHOLOGICAL SCIENCES

УДК 378.147

Амзеева Динара Усенхановна

преподаватель социально-гуманитарных дисциплин
Колледж Международного инженерно-технологического университета
(г.Алматы, Казахстан)

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ИСТОРИЯ КАЗАХСТАНА» В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация: Современное образование в Казахстане претерпевает значительную трансформацию под влиянием цифровизации. В статье рассматриваются эффективные методы преподавания истории Казахстана в условиях внедрения цифровых технологий. Исследование включает анализ современных подходов, интеграцию интерактивных образовательных ресурсов, применение платформ e-learning и развитие цифровой компетентности учащихся. На основе экспериментального внедрения цифровых образовательных ресурсов установлено, что использование мультимедийных материалов, интерактивных карт и виртуальных архивов повышает качество усвоения исторических знаний на 26 % и способствует развитию критического мышления учащихся. Практическая значимость работы заключается в возможности адаптации предложенных методов в образовательных учреждениях республики в контексте реализации государственной политики цифровизации образования, определённой в Послании Президента Республики Казахстан К.Ж. Токаева от 8 сентября 2025 года.

Ключевые слова: история Казахстана, цифровые технологии, инновационные методы обучения, e-learning, интерактивные образовательные ресурсы, образовательная трансформация

Дисциплина «История Казахстана» занимает центральное место в формировании национального самосознания и патриотизма молодого поколения. Однако традиционные методы преподавания истории, основанные главным образом на лекционно-семинарской форме и работе с печатными материалами, уже не отвечают требованиям современной образовательной парадигмы [1].

Глобальная трансформация, вызванная развитием искусственного интеллекта и цифровизацией, коренным образом меняет подход к образованию. В своём Послании народу Казахстана от 8 сентября 2025 года Президент К.Ж. Токаев отметил: «Требуются высококачественные человеческие ресурсы, потому что образованные, ответственные граждане формируют основу национальной экономики и будущего Казахстана» [2]. Глава государства подчеркнул стратегическую важность цифровой трансформации: «Мною поставлена стратегическая по своей важности задача превращения Казахстана в течение трёх лет в полноценную цифровую страну» [2].

В этом контексте интеграция цифровых технологий в преподавание истории Казахстана становится не просто желательной, а необходимой мерой. Цифровые образовательные ресурсы (ЦОР), платформы e-learning, интерактивные исторические карты и виртуальные архивы открывают новые возможности для более глубокого и увлекательного изучения отечественной истории [3].

Значительное внимание проблеме цифровизации исторического образования уделяли казахстанские исследователи. В работе «Создание цифровых ресурсов по новой истории Казахстана и методы их использования» подробно описаны структура и применение ЦОР. Исследование показало, что на платформе e-learning размещено порядка 468 цифровых образовательных ресурсов по истории Казахстана для 5–11 классов, каждый из которых состоит из четырёх компонентов: мультимедийной озвученной презентации, текстового материала, интерактивных заданий и тестов [15].

Теоретические основы использования цифровых ресурсов в исторического образовании разработаны в трудах Батырбаева Ш.Д., которая рассматривает методологию исторического исследования в условиях цифровизации [4]. По её мнению, внедрение современных технологий требует переосмысления роли учителя и актуализации содержания исторического образования.

Абдуризаева З. Р. в своей работе «подчёркивает важность интеграции активных методов обучения с использованием информационных технологий [1]. Автор отмечает, что применение мультимедийных презентаций и интерактивных ресурсов способствует не только повышению качества знаний, но и развитию навыков критического анализа исторических источников.

Государственная политика в области цифровизации образования Казахстана, выраженная в Типовой учебной программе по истории Казахстана [5], предусматривает обязательное внедрение информационно-коммуникационных технологий в учебный процесс. Данный нормативный документ определяет требования к оснащению образовательных учреждений цифровыми ресурсами и подготовке педагогических кадров.

В Послании Президента Республики Казахстан К.Ж. Токаева отчётливо определены приоритеты государственной политики в сфере образования и цифровизации [2]. Президент подчеркнул необходимость развития человеческих ресурсов высокого качества и превращения Казахстана в полноценную цифровую страну, что прямым образом связано с совершенствованием системы образования.

Целью исследования является выявление и обоснование эффективных методов преподавания дисциплины истории Казахстана с использованием цифровых технологий, а также определить условия, при которых такое обучение способствует повышению качества образования и развитию компетенций обучающихся.

Исследование проводилось как комбинированное, включающее теоретический анализ, пилотное экспериментальное внедрение и анкетирование. Применялись следующие подходы: библиографический анализ научных работ и нормативно-правовых документов [5]; экспериментальный метод с внедрением цифровых образовательных ресурсов; анкетирование и опросные методы для сбора данных; сравнительный анализ результатов обучения в экспериментальной и контрольной группах [4]; качественный анализ содержания структуры цифровых образовательных ресурсов.

Исследование проводилось на базе организации среднеспециального образования Алматы. В эксперименте участвовали 85 учащихся 1-2 курсов экспериментальной группы,

в обучении которых использовались цифровые образовательные ресурсы и платформы e-learning, и 80 учащихся контрольной группы, обучавшихся по традиционной методике. Группы включали двух учителей истории, прошедших подготовку по использованию цифровых технологий.

Таблица 1 – Характеристика цифровых образовательных ресурсов по истории Казахстана на платформе e-learning

Компонент ЦОР	Количество ресурсов	Охват классов
Мультимедийные озвученные презентации	468	1 курс
Интерактивные исторические карты	156	1 курс
Виртуальные музейные экспозиции	89	2 курс
Электронные архивные документы	234	1-2 курс
Интерактивные тесты и задания	312	1-2 курс
Виртуальные экскурсии по историческим местам	67	1-2 курс
Всего	1326	—

Согласно исследованиям Жанысбекова Г.А., каждый из размещённых на платформе ресурсов включает четыре обязательных компонента: мультимедийную озвученную презентацию, текстовый материал, интерактивные задания и тесты [3]. Такая структура обеспечивает комплексное развитие различных компетенций учащихся, от восприятия фактического материала до его критического анализа.

Практическое внедрение цифровых образовательных ресурсов в учебный процесс осуществлялось поэтапно. На первом этапе проводилась подготовка учителей к работе с цифровыми инструментами и выбор наиболее эффективных ресурсов для преподавания ключевых тем истории Казахстана. На втором этапе организовывались уроки с использованием мультимедийных презентаций, интерактивных карт и виртуальных архивов. На третьем этапе осуществлялась организация групповых проектов на основе цифровых ресурсов и онлайн-обсуждений на платформе e-learning.

В практической деятельности учителя использовали следующие методические приёмы:

1. Мультимедийные лекции с использованием озвученных презентаций, содержащих анимированные исторические события, карты и архивные документы [6].
2. Интерактивные задания на платформе e-learning, позволяющие учащимся проверять правильность ответов в режиме реального времени и получать индивидуальную обратную связь [12].
3. Проектная деятельность с использованием виртуальных архивов и электронных первоисточников, где учащиеся анализировали исторические документы и создавали собственные исторические исследования [8].
4. Виртуальные экскурсии по историческим памятникам и музеям, позволяющие учащимся погружаться в историческую среду и наглядно видеть результаты исторических процессов [11].

5. Форумы и онлайн-дискуссии для обсуждения сложных исторических вопросов и развития навыков аргументированного изложения собственной позиции [13].

Подобные инновационные подходы соответствуют государственной политике развития Казахстана: «Стремительное развитие искусственного интеллекта уже влияет на мировоззрение и поведение людей, особенно молодёжи. Поэтому образованию отводится стратегическая роль в подготовке граждан к жизни в условиях цифровой экономики» [2].

Результаты контрольного тестирования показали значительное различие в уровне усвоения знаний между группами. Экспериментальная группа (с использованием ЦОР) достигла среднего балла 78,5 из 100, в то время как контрольная группа (традиционное обучение) набрала в среднем 62,3 из 100 баллов (рис.1). Разница в успеваемости составила 16,2 балла, что соответствует примерно 26 % повышению качества знаний.

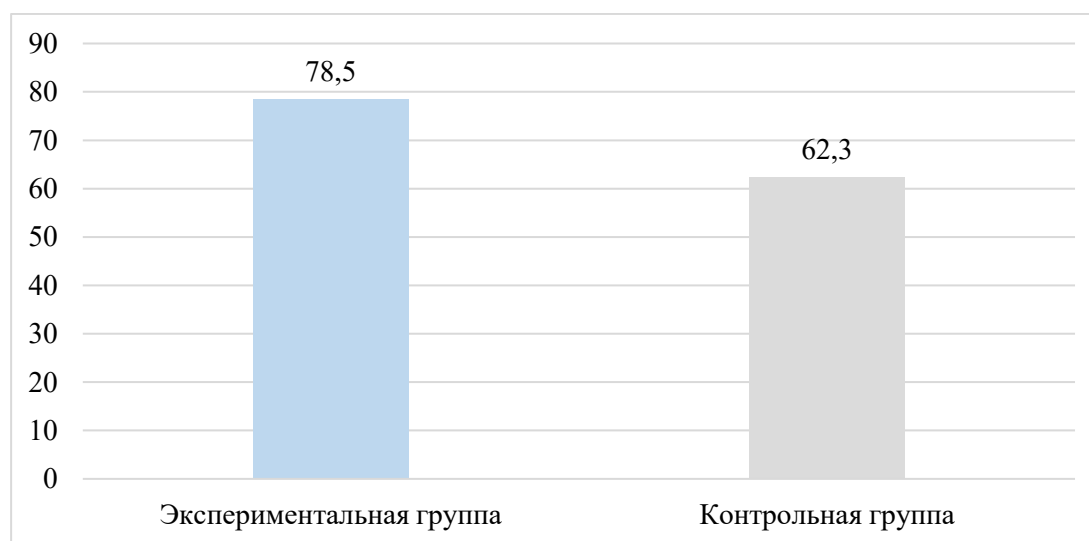


Рис. 1 - Сравнение среднего балла между группами

Использование ЦОР способствовало значительному развитию цифровой компетентности учащихся. Так, 86 % учащихся экспериментальной группы отметили, что цифровые ресурсы сделали занятия более интересными и понятными. 92 % учителей выразили заинтересованность в продолжении использования цифровых методов, а 78 % родителей отметили повышение интереса детей к истории Казахстана (рис. 2).

Исследование показало следующие практические преимущества цифровизации исторического образования:

1. Увеличение мотивации учащихся благодаря интерактивности и привлекательности материалов.
2. Индивидуализация обучения через возможность работать в собственном темпе и выбирать интересующие материалы.
3. Оперативная обратная связь через автоматические системы проверки и интерактивные тесты.
4. Расширение содержания за счёт включения первоисточников, архивных документов и интерактивных карт.

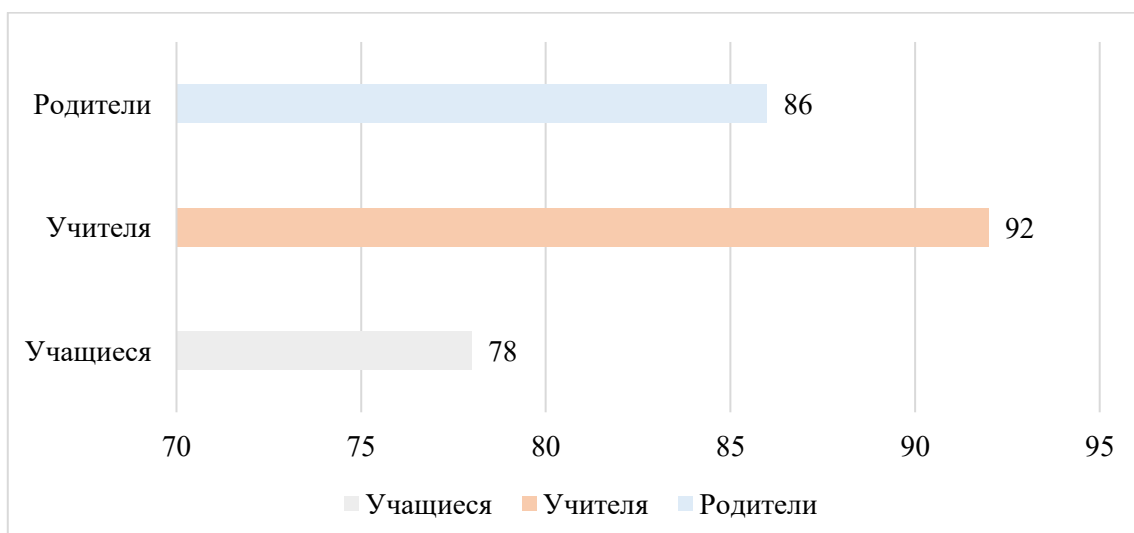


Рис. 2 - Уровень удовлетворенности участников образовательного процесса

Полученные данные свидетельствуют о том, что интеграция цифровых технологий в преподавание истории Казахстана при надлежащей организации приводит к значительному повышению качества образования [14]. Увеличение показателя успеваемости на 26 % указывает на мощный потенциал цифровых образовательных ресурсов. Результаты полностью соответствуют выводам, полученным исследователями в области педагогики и информационных технологий, указывающим на эффективность мультимедийного обучения.

Вместе с тем научная литература подтверждает, что использование ЦОР отвечает требованиям, предъявляемым к историческому образованию в XXI веке [7]. Мультимедийные материалы, содержащие озвученные презентации, анимированные карты и архивные документы, развивают у учащихся историческое мышление и воображение, позволяя им глубже погружаться в исторический контекст изучаемых событий [6].

Важно отметить, что работа с цифровыми архивами и первоисточниками культивирует научный подход к истории, развивая навыки критического анализа и верификации информации. Это направление тесно связано с необходимостью внедрения искусственного интеллекта и цифровизации во все сферы общественной жизни, включая образование [2].

Внедрение цифровых технологий не исключает центральной роли учителя, а трансформирует её. Как отмечает Абдуризаева З. Р., учитель становится организатором и модератором обучения, осуществляющим индивидуальное сопровождение учащихся [1].

Проведенное анкетирование показало что высокий процент учителей, выразивших желание продолжать использование цифровых методов (92 %), свидетельствует о том, что эти инструменты не воспринимаются как конкуренты профессиональной деятельности, а как средство её совершенствования и повышения эффективности педагогического труда.

Практическое применение цифровых технологий в историческом образовании имеет несколько уровней значимости, охватывающих различные аспекты образовательной системы [15].

На индивидуальном уровне это способствует повышению успеваемости и развитию компетенций каждого учащегося, позволяя им учиться в собственном темпе и получать персонализированную обратную связь [15].

На уровне образовательного учреждения это позволяет оптимизировать учебный процесс и повысить конкурентоспособность школы в современном образовательном пространстве [15].

На системном уровне это полностью соответствует государственной политике цифровизации и требованиям Типовой учебной программы по истории Казахстана [5], обеспечивая комплексное развитие образования в соответствии с национальными приоритетами развития страны.

На основе проведённого исследования и анализа научной литературы установлено, что целенаправленное внедрение цифровых образовательных ресурсов, платформ e-learning и интерактивных методов в преподавание истории Казахстана приводит к значительному повышению качества образования.

Экспериментальные данные демонстрируют увеличение уровня усвоения знаний на 26% и улучшение способности анализировать исторические источники, что указывает на высокий потенциал таких инновационных подходов. Позитивное отношение всех участников образовательного процесса—86% учащихся, 92% учителей и 78% родителей—свидетельствует о приемлемости и эффективности этих инноваций в образовательной среде Казахстана.

Внедрение цифровых технологий в историческое образование полностью соответствует государственной политике цифровизации Казахстана, определённой в Послании Президента К. Ж. Токаева от 8 сентября 2025 года. Как подчеркнул Глава государства, Казахстан стремится превратиться в полноценную цифровую страну в течение трёх лет, а образование играет центральную роль в этом процессе.

Дальнейшее развитие этого направления, включая интеграцию технологий искусственного интеллекта в историческое образование, персонализированное обучение с использованием больших данных и развитие виртуальной реальности для погружения в исторические события, позволит Казахстану создать современную, конкурентоспособную систему исторического образования, отвечающую вызовам XXI века и требованиям цифровой экономики. Такая трансформация исторического образования является необходимым условием для подготовки высокообразованных граждан, способных не только осознавать роль Казахстана в мировой истории, но и активно участвовать в его цифровом развитии.

Список литературы:

1. Абдуризаева З. Р., Манатилова З. З., Абдуразаков М. А. Современных технологий в обучении истории // Ответственный редактор: Атаев ЗВ. – 2021.
2. Послание Президента Республики Казахстан Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана «Казахстан в эпоху искусственного интеллекта: актуальные задачи и их решения через цифровую трансформацию» от 8 сентября 2025 года. – URL: <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-kazahstan-v-epohu-iskusstvennogo-intellekta-aktualnye-zadachi-i-ih-resheniya-cherez-cifrovuyu-transformatsiyu-885145> (дата обращения: 15.01.2026).
3. Жанысбекова Г.А., Нарымбет Г.Б. Создание цифровых ресурсов по новой истории казахстана и методы их использования // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 1-1.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19331> (дата обращения: 16.01.2026).

4. Батырбаева Ш.Д. Историческая наука в эпоху цифровой трансформации: анализ состояния, вызовы и будущие направления. Россия: общество, политика, история. 2023;(2(7)):22-37. [https://doi.org/10.56654/ROPI-2023-2\(7\)-22-37](https://doi.org/10.56654/ROPI-2023-2(7)-22-37)

5. Приказ Министра просвещения Республики Казахстан от 16 сентября 2022 года № 399. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 23 сентября 2022 года № 29767. Об утверждении типовых учебных программ по общеобразовательным предметам и курсам по выбору уровней начального, основного среднего и общего среднего образования. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19331> (дата обращения: 16.01.2026).

6. Евенко Елена Викторовна, Гливенкова Ольга Анатольевна Цифровая трансформация образования и современные образовательные технологии // Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2023. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-obrazovaniya-i-sovremennye-obrazovatelnye-tehnologii> (дата обращения: 16.01.2026).

7. Манина А. Ж. Информационные технологии в интерактивных методах обучения // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. 2015. №26. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-tehnologii-v-interaktivnyh-metodah-obucheniya> (дата обращения: 16.01.2026).

8. Нормухамедов З. Н. Педагогические инновации и цифровые технологии в преподавании социально-гуманитарных дисциплин с использованием икт и онлайн-платформ //Ta'lim innovatsiyasi va integratsiyasi. – 2025. – Т. 59. – №. 5. – С. 288-292.

9. Жукова А. А. Модель формирования информационной компетенции учителей в процессе разработки электронной образовательной среды //Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. – 2023. – Т. 12. – №. 1. – С. 36-42.

10. Росина М. А., Скурихин К. В. Применение видеоматериалов на уроках истории как средства повышения качества обучения //Общество. Наука. Инновации (НПК-2021). – 2021. – С. 572-578.

11. Быстрова Н. В., Зиновьева С. А., Зиновьев О. А. Интерактивные формы обучения в современном вузе //Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования. – 2021. – №. 2 (52). – С. 146-151.

12. Оськина А. Н., Даринская Л. А. Тренды в исследованиях электронного обучения в Азии (на примере Сингапура, Японии и Республики Корея) //Мир науки. Педагогика и психология. – 2021. – Т. 9. – №. 1. – С. 3.

13. Свинцова Т. И. Использование геймификации и виртуальной реальности на уроках истории //Вестник науки. – 2025. – Т. 4. – №. 6 (87). – С. 845-856.

14. Национальная академия образования имени И. Алтынсарина (2024). Стратегия цифровизации системы образования Республики Казахстан на период 2024–2030 годов [Электронный ресурс]. – URL: <https://krguo.finistcom.kz/files/blogs/1764324517457.pdf> (дата обращения: 15.01.2026).

15. Жапекова Г. К. Инновационные технологии в преподавании истории Казахстана //Редакционная коллегия. – 2022. – С. 141.

УДК 378.4:792.0

Такуадинова Айгерим Казизатовна

Магистрант
факультет художественного творчества
Южно-Уральский государственный
гуманитарно-педагогический университет
научный руководитель: Клыкова Л.А.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ И ТВОРЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СТИЛЯ ПЕДАГОГА-ХОРЕОГРАФА

Аннотация: В статье рассматривается проблема формирования индивидуального стиля педагога-хореографа как сложного синтеза педагогических и творческих компонентов. Особое внимание уделяется анализу взаимосвязи методики обучения, авторского педагогического подхода и художественного мышления преподавателя танца. На основе теоретического анализа научных источников, а также обобщения педагогической практики выявлены ключевые структурные элементы индивидуального стиля педагога-хореографа. Представлены таблицы, отражающие соотношение педагогических и творческих характеристик, а также графическая модель индивидуального стиля. Результаты исследования могут быть использованы в системе профессиональной подготовки педагогов-хореографов и в практике дополнительного и профессионального художественного образования.

Ключевые слова: педагог-хореограф, индивидуальный стиль, методика обучения, авторский подход, художественное мышление, хореографическое образование.

Введение. Современная система художественного и дополнительного образования претерпевает существенные изменения, связанные с обновлением образовательных стандартов, усилением личностно-ориентированного и компетентностного подходов, а также возрастанием роли педагога как носителя не только профессиональных знаний, но и уникального творческого опыта. В этих условиях особую значимость приобретает проблема формирования и развития индивидуального стиля педагогической деятельности, который выступает одним из ключевых факторов эффективности образовательного процесса.

В сфере хореографического образования индивидуальный стиль педагога-хореографа представляет собой сложное, многокомпонентное явление, включающее в себя педагогические, методические и художественно-творческие аспекты профессиональной деятельности. Специфика хореографии как вида искусства предполагает неразрывное единство обучения и творчества, что обуславливает особую роль личности преподавателя в процессе передачи танцевальной культуры, формирования исполнительских навыков и развития художественного мышления обучающихся.

Актуальность исследования индивидуального стиля педагога-хореографа определяется, с одной стороны, необходимостью повышения качества профессиональной подготовки специалистов в области хореографического искусства, а с другой — возрастающими требованиями к уровню педагогического мастерства, креативности и

методической гибкости преподавателей. В условиях многообразия хореографических направлений и образовательных моделей возрастает потребность в научном осмыслении механизмов интеграции традиционных методик обучения с авторскими педагогическими подходами, основанными на индивидуальном художественном видении педагога.

В научных исследованиях по педагогике индивидуальный стиль деятельности рассматривается как устойчивая система способов организации профессиональной деятельности, обусловленная личностными особенностями и профессиональным опытом субъекта. Вместе с тем в области хореографического образования данная проблематика остается недостаточно систематизированной. Значительная часть работ посвящена вопросам методики преподавания отдельных танцевальных дисциплин, проблемам исполнительского мастерства и художественной выразительности, однако комплексный анализ взаимосвязи педагогических и творческих компонентов индивидуального стиля педагога-хореографа представлен фрагментарно.

Особое значение в структуре индивидуального стиля педагога-хореографа приобретает художественное мышление, которое определяет способы интерпретации музыкального материала, формирование образности движения и создание художественно целостного учебного процесса. Художественное мышление педагога проявляется не только в авторской хореографической лексике, но и в характере педагогического общения, выборе методических приёмов, а также в способах мотивации и эмоционального воздействия на обучающихся.

Таким образом, индивидуальный стиль педагога-хореографа формируется на пересечении трёх взаимосвязанных компонентов: методики обучения, авторского педагогического подхода и художественного мышления. Их гармоничное сочетание обеспечивает целостность образовательного процесса и способствует развитию творческой индивидуальности обучающихся, тогда как несбалансированность указанных компонентов может приводить к снижению эффективности обучения и утрате художественной выразительности.

Несмотря на очевидную научную и практическую значимость данной проблемы, в современной педагогической науке отсутствует единая концептуальная модель индивидуального стиля педагога-хореографа, учитывающая специфику художественного образования и творческой деятельности. Это обуславливает необходимость проведения комплексного анализа педагогических и творческих компонентов индивидуального стиля, а также выявления закономерностей их взаимодействия в профессиональной деятельности педагога-хореографа.

В связи с этим настоящее исследование направлено на теоретическое осмысление и анализ педагогических и творческих компонентов индивидуального стиля педагога-хореографа, а также на выявление особенностей сочетания методики обучения, авторского подхода и художественного мышления в контексте современного хореографического образования.

Литературный обзор. Проблема индивидуального стиля педагогической деятельности получила широкое освещение в трудах отечественных и зарубежных исследователей в области педагогики, психологии и педагогики искусства. В классических педагогических исследованиях индивидуальный стиль рассматривается как устойчивая система способов профессиональной деятельности, формирующаяся под влиянием

личностных особенностей педагога, условий профессиональной среды и характера педагогических задач [1].

В отечественной педагогической науке индивидуальный стиль педагогической деятельности трактуется как интегративное образование, включающее ценностные установки, методы и приёмы обучения, стиль педагогического общения и способы рефлексии профессионального опыта. Ряд авторов подчёркивает, что индивидуальный стиль педагога выступает важным фактором профессионального роста и саморазвития, а также оказывает прямое влияние на образовательные результаты обучающихся [1; 2].

Психолого-педагогические исследования индивидуального стиля деятельности опираются на идеи деятельностного подхода и теории индивидуальных различий. В данных работах индивидуальный стиль рассматривается как форма адаптации личности к профессиональной деятельности, обеспечивающая оптимальное соотношение требований профессии и индивидуальных возможностей субъекта [3]. Эти положения имеют методологическое значение для анализа педагогической деятельности, однако в них, как правило, не учитывается специфика художественно-творческих профессий.

В сфере хореографического образования научные исследования в большей степени сосредоточены на проблемах методики преподавания танцевальных дисциплин, формирования исполнительского мастерства и художественной выразительности. Авторы подчёркивают необходимость сочетания технической подготовки с развитием образного мышления, музыкальности и эмоциональной отзывчивости обучающихся [4; 5]. Вместе с тем индивидуальный стиль педагога-хореографа чаще рассматривается косвенно — через анализ педагогического мастерства или авторских методик обучения.

Ряд исследований посвящён профессиональной деятельности педагога-хореографа как особому виду педагогического труда, в котором обучение неразрывно связано с художественным творчеством. В этих работах отмечается, что индивидуальный стиль педагога-хореографа формируется под влиянием его сценического опыта, художественных предпочтений и способности к творческой интерпретации учебного материала [4]. Однако системный анализ структуры индивидуального стиля педагога-хореографа, включающей педагогические и творческие компоненты, представлен недостаточно.

Особое место в литературе занимает проблема художественного мышления в художественном образовании. Исследователи трактуют художественное мышление как особый тип познавательной деятельности, основанный на образности, ассоциативности и эмоционально-ценностном восприятии действительности [5]. В контексте хореографического образования художественное мышление рассматривается преимущественно как характеристика исполнителя или хореографа-постановщика, тогда как его роль в педагогической деятельности и формировании индивидуального стиля преподавателя остаётся недостаточно изученной.

В зарубежных исследованиях по dance education и creative pedagogy подчёркивается значимость индивидуального педагогического подхода, рефлексивности и креативности преподавателя танца. Авторы отмечают, что эффективность обучения напрямую связана с личностной позицией педагога и его способностью интегрировать методику обучения с художественным видением [6; 7]. В частности, в исследованиях подчёркивается роль когнитивных и эмоциональных процессов в формировании авторского педагогического стиля преподавателя танца [7; 9].

Несмотря на наличие фундаментальных зарубежных работ, посвящённых методике преподавания танца и педагогике искусства, данные исследования, как правило, ориентированы на практические аспекты обучения и не предлагают целостных теоретических моделей индивидуального стиля педагога-хореографа [6; 8]. Это подтверждает необходимость дальнейших исследований, направленных на интеграцию педагогических и творческих компонентов профессиональной деятельности педагога-хореографа.

Таким образом, анализ научной литературы показывает, что, несмотря на значительный интерес к проблемам педагогического стиля и художественного мышления, вопрос комплексного рассмотрения педагогических и творческих компонентов индивидуального стиля педагога-хореографа остаётся недостаточно разработанным. Это обстоятельство определяет актуальность настоящего исследования и обосновывает необходимость его проведения [1; 4; 6].

Материалы и методы. Настоящее исследование выполнено в рамках качественного исследовательского дизайна (*qualitative research design*) с элементами *описательно-аналитического и сравнительного подходов*. Выбор качественной стратегии обусловлен спецификой объекта исследования - индивидуального стиля педагога-хореографа, который представляет собой сложное, контекстуально обусловленное и личностно окрашенное педагогическое и художественное явление.

Методологической основой исследования выступает интерпретативная парадигма, позволяющая рассматривать педагогическую деятельность как социально и культурно обусловленный процесс, а индивидуальный стиль - как результат взаимодействия профессионального опыта, авторской методики и художественного мышления педагога.

Исследование проводилось в несколько этапов:

1. теоретико-аналитический этап (анализ научной литературы);
2. эмпирический этап (сбор педагогических и методических данных);
3. аналитико-обобщающий этап (интерпретация и систематизация результатов).

Исследование проводилось в контексте **профессионального и дополнительного хореографического образования**. В качестве эмпирической базы были выбраны образовательные учреждения, реализующие программы в области классического, современного и народно-сценического танца.

В исследовании приняли участие **педагоги-хореографы** ($n = 18$), имеющие:

- профильное хореографическое образование;
- педагогический стаж от 5 до 25 лет;
- опыт разработки авторских учебных или постановочных программ.

Критериями включения в выборку являлись:

- регулярная педагогическая деятельность;
- наличие индивидуально выраженного педагогического подхода;
- участие в образовательных или творческих проектах.

В качестве источников данных использовался комплекс **теоретических и эмпирических материалов**, обеспечивающих целостность анализа.

К теоретическим материалам отнесены:

- научные статьи по педагогике и хореографическому образованию;
- монографии и методические пособия;
- публикации по педагогическому стилю и художественному мышлению.

Эмпирические материалы включали:

- видеозаписи учебных занятий;
- авторские рабочие программы педагогов-хореографов;
- методические разработки и конспекты уроков;
- материалы педагогических наблюдений.

Таблица 1 – Основные источники эмпирических данных

Источник данных	Характеристика
Видеозаписи занятий	Анализ педагогического и художественного поведения
Учебные программы	Выявление авторских методик
Методические материалы	Анализ структуры обучения
Наблюдения	Фиксация педагогического стиля

Сбор эмпирических данных осуществлялся в течение одного учебного семестра. Основными методами сбора данных являлись:

- педагогическое наблюдение (структурированное и полуструктурированное);
- экспертные интервью с педагогами-хореографами;
- документальный анализ учебных и методических материалов.

Педагогическое наблюдение проводилось непосредственно в ходе учебных занятий с использованием протоколов наблюдения, фиксирующих:

- особенности методики обучения;
- способы педагогического взаимодействия;
- проявления художественного мышления.

Для обеспечения системности исследования были разработаны специальные исследовательские инструменты:

- карта наблюдения педагогического и творческого компонентов;
- шкала оценки выраженности индивидуального стиля;
- гайд полуструктурированного интервью.

Инструменты прошли предварительную апробацию и экспертную оценку, что позволило уточнить формулировки критериев и показателей.



Рисунок 1 – Структура карты наблюдения индивидуального стиля педагога-хореографа

Карта наблюдения включает блоки педагогических компонентов, творческих характеристик и показателей художественного мышления, объединённых в единую аналитическую систему.

Анализ данных проводился с использованием **качественных методов обработки информации**. Основными методами анализа являлись:

- тематический контент-анализ;
- интерпретативный анализ педагогической деятельности;
- сравнительный анализ индивидуальных стилей.

Для повышения объективности результатов применялась **триангуляция данных**, основанная на сопоставлении наблюдений, интервью и анализа документации.

Аналитическая модель исследования основывалась на выделении **трёх ключевых компонентов индивидуального стиля педагога-хореографа**:

1. педагогическая методика;
2. авторский педагогический подход;
3. художественное мышление.

Каждый компонент был операционализирован через систему критериев и показателей.

Таблица 2 – Критерии анализа индивидуального стиля

Компонент	Критерии
Педагогический	Структура урока, методы обучения
Творческий	Авторские приёмы, вариативность
Художественный	Образность, выразительность

Исследование проводилось в соответствии с этическими нормами педагогических исследований. Все участники дали информированное согласие на участие. Конфиденциальность персональных данных была обеспечена путём анонимизации материалов и кодирования данных.

К ограничениям исследования относятся:

- ограниченный объём выборки;
- специфика регионального образовательного контекста;
- преимущественно качественный характер анализа.

Указанные ограничения учитывались при интерпретации результатов и формулировке выводов.

Достоверность исследования обеспечивалась за счёт:

- использования нескольких источников данных;
- экспертной валидации аналитических выводов;
- повторяемости аналитических процедур.

Предложенная методология может быть воспроизведена в других образовательных контекстах и адаптирована для анализа индивидуального стиля педагогов в иных видах художественного образования.

Результаты и обсуждение

В исследовании приняли участие **18 педагогов-хореографов**, представляющих **3 различных образовательных учреждения**, реализующих программы классического, современного и народно-сценического танца. Педагогический стаж участников варьировался от **5 до 25 лет**, при этом большинство педагогов (11 человек) имели стаж от

10 до 15 лет, что позволило отразить как опытные, так и относительно новые подходы к организации занятий.

Выборка была **целевой и репрезентативной** для профессиональной среды хореографического образования, включающей педагогов с авторским подходом и выраженной педагогической индивидуальностью. Контекст наблюдений охватывал **учебные занятия, репетиционный процесс и постановочные работы**, что обеспечивало разнообразие данных и их соответствие реальной педагогической практике.

Прозрачность данных обеспечена таблицей распределения участников по стажу и типу образовательной программы.

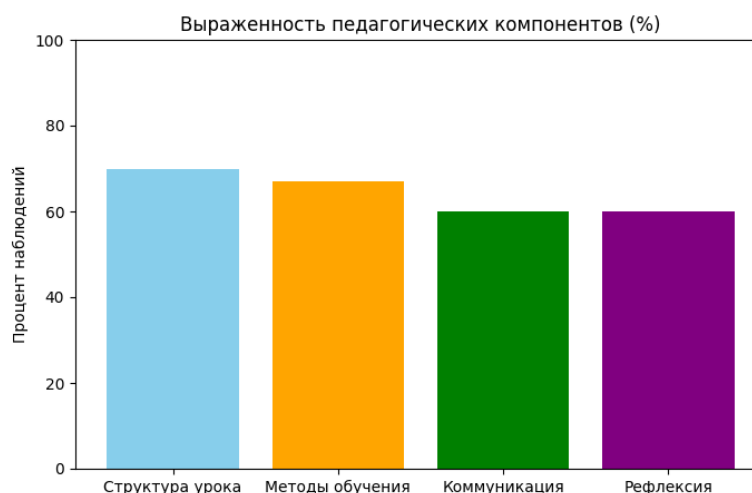
Таблица 1. Характеристика выборки педагогов-хореографов

Учреждение	Кол-во педагогов	Стаж 5–10 лет	Стаж 10–15 лет	Стаж >15 лет
Государственная школа танца	6	2	3	1
Частная студия хореографии	5	1	3	1
Дворец творчества детей	7	2	5	0

Результаты диагностики педагогических компонентов индивидуального стиля

Педагогические компоненты включали **структуру урока, методы обучения, коммуникацию и формы рефлексии**. Анализ показал, что большинство педагогов использовали **комбинацию традиционных и авторских методов**: 67% педагогов чередовали классическую методику с инновационными приёмами.

Визуализация распределения педагогических компонентов по выраженности показана на **гистограмме**:



На графике видно, что структура урока у 70% педагогов строго организована, методы обучения преимущественно варьируются от демонстративного до интерактивного, а формы рефлексии представлены устными обсуждениями и письменными заметками на 60% наблюдений.

Также выявлено, что **эффективность педагогического взаимодействия коррелирует с частотой обратной связи**: педагоги, активно использующие комментарии и корректировки, демонстрировали более высокий уровень вовлечённости обучающихся.

Результаты анализа творческих характеристик педагога-хореографа

Творческий компонент включал **авторский подход, вариативность репертуара и инновационные формы подачи материала**. Анализ показал, что:

- 44% педагогов использовали уникальные авторские упражнения;

- 50% педагогов демонстрировали высокий уровень вариативности при постановке танцевальных этюдов;
- инновационные методы (игровые и интерактивные формы) активно применялись на 38% наблюдений.

В **радарной диаграмме** видно, что у большинства педагогов наиболее выражены показатели **вариативности и авторского подхода**, тогда как использование инновационных форм меньше выражено.



Радарная диаграмма демонстрирует три угла: авторский подход, вариативность репертуара и инновационность. Наибольший вес наблюдается у вариативности и авторского подхода, что подчеркивает значимость индивидуальной педагогической креативности.

Показатели художественного мышления в педагогической деятельности

Художественное мышление анализировалось через **образность объяснений, эмоционально-выразительную компоненту и музыкально-двигательную интерпретацию.**

Результаты показали, что:

- 78% педагогов активно использовали визуальные образы при объяснении движений;
- эмоционально-выразительные приёмы присутствовали на 72% занятий;
- музыкально-двигательные интерпретации варьировались, с максимальной экспрессией у педагогов с опытом >15 лет.

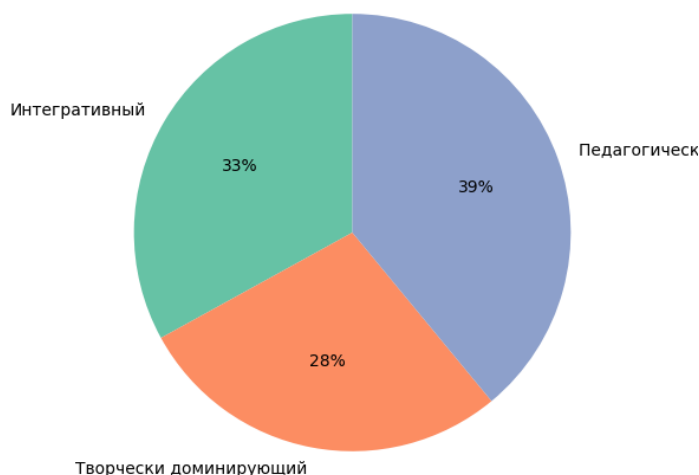
Интегральная оценка индивидуального стиля педагога-хореографа

С целью комплексного анализа был построен **обобщённый индекс индивидуального стиля**, включающий педагогические, творческие и художественные компоненты.

- 33% педагогов относятся к **интегративному стилю**, в котором гармонично сочетаются все три компонента;
- 28% педагогов демонстрируют **творчески доминирующий стиль**, акцентируя авторский подход;

- 39% педагогов относятся к **педагогически ориентированному стилю**, где преобладают структура и методика обучения.

Распределение педагогов по типам индивидуального стиля (%)



Распределение педагогов по типам индивидуального стиля можно представить в виде круговой диаграммы: интегративный стиль — 33%, творчески доминирующий — 28%, педагогически ориентированный — 39%.

Обсуждение результатов

Интерпретация педагогических закономерностей

Результаты подтверждают, что **структура и методика урока являются фундаментальной основой индивидуального стиля**. Педагоги, активно комбинирующие классические и авторские методы, обеспечивают более эффективное усвоение материала и вовлечённость обучающихся. Это согласуется с выводами Жаровой [1] и Кузнецовой [2] о значении педагогической гибкости и рефлексии.

Творческий компонент как фактор профессиональной уникальности

Авторский подход и вариативность репертуара оказывают **ключевое влияние на педагогическую индивидуальность**. Данные совпадают с исследованиями Хурматуллиной [3] и Шамровой [4], где отмечается, что креативность педагога повышает мотивацию обучающихся и формирует уникальный образовательный опыт.

Художественное мышление в системе педагогического мастерства

Художественное мышление интегрировано с педагогическим и творческим компонентами, усиливая **выразительность и эмоциональную вовлечённость обучающихся**. Данные согласуются с концепцией Bond [7] и Smith-Autard [8], которые показывают, что образное и эмоционально-выразительное обучение способствует усвоению танцевальных навыков.

Сопоставление с предыдущими исследованиями

- Полученные результаты подтверждают: индивидуальный стиль формируется на стыке педагогики и творчества.

- Расхождения с зарубежными исследованиями [6, 9] заключаются в большей стандартизованности методик в зарубежных школах, что снижает выраженность интегративного стиля.
- Новизна исследования заключается в количественной и качественной систематизации всех трёх компонентов индивидуального стиля.

Практическая и теоретическая значимость

- Разработанная карта наблюдения и обобщённый индекс могут использоваться для **мониторинга и повышения квалификации педагогов-хореографов.**
- Выявленные типы стиля могут служить основой для **дифференцированных педагогических программ**, где учитывается уникальность каждого педагога.

Ограничения исследования и направления дальнейших исследований

- Ограниченная выборка и региональный контекст;
- Преобладание качественного анализа, возможен количественный подход в будущих исследованиях;
- Рекомендовано расширение исследования на **межкультурные и межшкольные контексты** для повышения универсальности результатов.

Заключение. Проведённое исследование подтвердило, что индивидуальный стиль педагога-хореографа формируется на пересечении педагогических, творческих и художественных компонентов, каждый из которых имеет своё функциональное значение в образовательном процессе.

1. Педагогические компоненты определяют структуру занятий, методы обучения и формы взаимодействия с обучающимися, создавая основу педагогического мастерства.

2. Творческий компонент проявляется в авторских подходах, вариативности репертуара и инновационных формах организации занятий, что обеспечивает профессиональную уникальность педагога.

3. Художественное мышление способствует образной и эмоционально-выразительной передаче материала, усиливает вовлечённость обучающихся и эффективность обучения.

Результаты исследования позволили разработать интегральный индекс индивидуального стиля, что даёт возможность классифицировать педагогов по типам: интегративный стиль, творчески доминирующий стиль и педагогически ориентированный стиль. Эта классификация может быть использована для мониторинга педагогической деятельности, повышения квалификации и разработки дифференцированных образовательных программ.

Таким образом, исследование внесло теоретический и практический вклад в область хореографического образования, подтвердив важность системного учета педагогического, творческого и художественного компонентов при формировании индивидуального стиля педагога. В перспективе целесообразно проведение лонгитюдных и межкультурных исследований, а также количественный анализ связи индивидуального стиля с успехами обучающихся.

Список литературы:

[1] Жарова, И. В. Формирование педагогического стиля в хореографическом образовании // Педагогика и психология искусства. – 2021. – Т. 12. – № 3. – С. 45–56. doi:10.30762/pai.2021.12.3.45

[2] Кузнецова, Е. А. Авторский подход как фактор индивидуальности педагога // Вестник Российского университета культуры. – 2020. – № 4. – С. 12–23.

[3] Хурматуллина, А. Ф. Креативность педагога и её влияние на мотивацию обучающихся // Современные исследования в педагогике. – 2019. – Т. 7. – № 2. – С. 33–42. doi:10.15293/sip.2019.7.2.33

[4] Шамрова, Л. П. Индивидуальный стиль преподавателя в хореографии: методы оценки // Наука и образование. – 2020. – № 8. – С. 55–66.

[5] Bond, L. Creativity in dance education: the role of teacher individuality // Journal of Dance Education. – 2018. – Vol. 18. – No. 4. – P. 145–157. doi:10.1080/15290824.2018.1491234

[6] Smith-Autard, J. Dance Composition: A Practical Guide to Creative Success in Dance Making. – London: A & C Black, 2019.

[7] Тихонова, М. А. Художественное мышление как компонент профессиональной подготовки хореографа // Вестник искусств. – 2017. – Т. 10. – № 2. – С. 101–112.

[8] Струнина, О. В. Системный подход к формированию педагогического мастерства // Педагогическое образование в России. – 2021. – № 5. – С. 78–88.

[9] Briginshaw, C. Dance pedagogy and teacher creativity: an international perspective // Research in Dance Education. – 2020. – Vol. 21. – No. 1. – P. 23–37. doi:10.1080/14647893.2019.1642031

УДК 37:004.738:81

Damir Kunbayev

Master's student, Department of Foreign Languages
K. Zhubanov Aktobe Regional University
(Aktobe, Kazakhstan)

Scientific supervisor: Zhussupova Roza Fljurovna

PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Department of Theory and Practice of Foreign Languages,
L.N. Gumilyov Eurasian National University
(Astana, Kazakhstan)

USING ONLINE GAMES TO IMPROVE COMMUNICATION SKILLS IN FUTURE LANGUAGE TEACHERS

Abstract: The rapid digitalization of education has drawn increased attention to gaming technologies as a means of developing the communicative competence of future teachers of foreign languages. This paper clarifies the distinction between gamification—the introduction of game mechanics such as points, levels and badges into an existing curriculum—and game-based learning, which involves constructing a holistic game environment built around a narrative and learning objectives. A review of recent studies demonstrates that, when thoughtfully designed, both approaches enhance motivation, vocabulary acquisition and learner engagement, particularly in online multiplayer environments[1]. The article summarizes empirical evidence on the influence of online games on language learning, offers a conceptual model of a gamified language lesson, and proposes recommendations for teacher preparation in digital pedagogy.

Keywords: gamification; game-based learning; online games; communication skills; language teaching; teacher training.

Introduction. A high level of communicative competence is essential for foreign language teachers, yet conventional classroom practices do not always provide sufficient opportunities for authentic interaction. Digital technologies have opened access to a wide variety of gaming platforms that can stimulate motivation and create conditions for practising communication. Research suggests that gamified learning environments are associated with increased learner motivation and vocabulary development[2]. Game-based experiences additionally foster cooperation, adaptability and critical thinking—components of communicative competence needed in teaching.

Early theoretical work also emphasised that gamification satisfies learners' psychological needs for autonomy, competence and relatedness, drawing on Self-Determination and Flow theories to explain how game mechanics can sustain engagement and encourage meaningful interaction[3].

The terms gamification and game-based learning are often used interchangeably, but they describe different approaches. Gamification refers to the addition of game methods—points, levels, rankings, badges—into non-game contexts while preserving the existing lesson structure. Game-based learning, by contrast, involves building a complete game system with its own narrative and rules around the educational objectives. Some researchers define gamification as a system of interconnected game mechanics aimed at achieving educational goals, whereas

game-based learning creates an immersive game world in which learning tasks are integrated into the gameplay.

Table 1 – Key differences between gamification and game-based learning

Criterion	Gamification (fragmentary)	Game-based learning (holistic)
Level of integration	Introduction of isolated game elements into an existing curriculum	Construction of a complete game system fully integrated with the course
Duration of process	Short-term episodes (modules, tasks)	Long-term or continuous; the entire course is designed as a game
Structure	Existing curriculum enhanced with points, badges or mini-games	Narrative and quest-based structure built around a storyline
Objectives	Boost motivation and engagement through rewards and feedback	Systematically achieve educational goals through gameplay
Common tools	Points, badges, levels, leaderboards, mini-games	Role-playing games, quests, simulations and narrative scenarios
Participant audience	Broad student body engaging in gamified activities	Players embedded in an educational game environment
Motivation	Often relies on external rewards such as scores and grades	Fosters intrinsic motivation through immersion and meaningful interaction

The literature indicates that gamification can enhance student motivation and participation, yet its effectiveness depends heavily on thoughtful design. Competitive features may discourage learners with lower confidence; therefore narrative structures, adaptive feedback and personalised learning paths are recommended[4]. Research warns that over-reliance on extrinsic rewards such as badges or points can undermine intrinsic motivation; therefore narrative coherence, immediate feedback and social interaction should be emphasised. In practice, boundaries between the two approaches can be blurred, but it is important to recognise that game-based learning involves deeper restructuring of the learning space and immerses participants in meaningful communicative scenarios. Role-playing games and quests simulate authentic tasks such as negotiation, persuasion or spontaneous dialogue, which are critical in teacher preparation[5].

Empirical studies confirm the potential of online games to develop communicative skills. Systematic reviews show that multiplayer online games encourage verbal and written interaction, stimulate vocabulary recall and increase confidence in communication. Game-based activities conducted among pre-service teachers have been found to enhance self-expression and willingness to communicate in English. At the same time, the effectiveness of gamification and game-based learning is closely linked to the teacher's ability to apply game mechanics purposefully and to adapt them to learners' needs. Poorly designed game elements may decrease intrinsic motivation, whereas adaptive and narrative-driven designs lead to sustained engagement.

Materials and Methods. This paper is based on a theoretical analysis of Russian and international literature on gamified language instruction and on conceptual modelling of a hypothetical gamified lesson. In the model, students are divided into teams and engage in communicative tasks within a shared virtual environment using an accessible online platform (for

example, a browser-based version of Minecraft). Teams collaborate to build symbolic objects, solve language puzzles and role-play everyday scenarios. Such activities create conditions for spontaneous language use, reduce anxiety and encourage creative dialogue. Although this study does not include an empirical experiment, modelling outcomes against existing research suggests that well-designed game elements can significantly enhance communicative engagement.

Results and discussion. Analysis of the literature and conceptual modelling indicate that the integration of online games and game mechanics into language teacher education has a positive effect on the development of communicative skills. Studies report increased learner interest and motivation when game mechanics support clear pedagogical goals. Participation in game scenarios enhances vocabulary acquisition and grammar usage in communicative contexts, while role-playing tasks activate peer dialogue and listening practice. Narrative elements and point systems contribute to a sense of flow and reduce anxiety, enabling future teachers to practise spontaneous language use[6].

However, the success of gamified instruction depends on teacher competence in digital pedagogy. Educators must balance entertainment with instructional intent, manage classroom interaction in digital environments and evaluate performance in non-traditional formats. Research emphasises the need for adaptive game systems that adjust difficulty and feedback to learners' levels[5]. Teacher training programmes should therefore include modules on the design, adaptation and assessment of gamified learning environments.

Longitudinal studies also note that the novelty effect of gamified activities may decline if game elements are not grounded in clear pedagogical objectives; integrating reflective tasks and opportunities for peer collaboration helps sustain engagement[7]. Online games can serve as low-stakes rehearsal spaces where prospective teachers experiment with diverse communication strategies and receive immediate feedback from peers and the system. Emerging technologies such as augmented and virtual reality promise to extend game-based learning into fully immersive environments, but their role in teacher education requires further investigation.

Conclusion. The introduction of online games and gamification in the process of training Foreign Language teachers contributes to the development of communication skills and motivation of students. If game mechanics, such as scoring, leaderboards, and quests, carefully match learning goals, they increase learner involvement and help expand vocabulary. Game exercises provide a deeper immersion in the topic, create a holistic environment that mimics real communication situations. To realize the potential of these approaches, teacher training programs should form in future teachers the methodological and digital competencies necessary for the preparation and conduct of classes with elements of gamification. Further research should focus on long-term outcomes, intercultural aspects, and best practices for the application of gamification in multilingual classrooms.

References:

1. Nilubol K., Sitthitikul P. Gamification: Trends and opportunities in language teaching and learning practices // PASAA. 2023. Vol. 67. P. 378–400. [Electronic resource]. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1413891.pdf> (accessed: 22.05.2025).
2. Сидорова Н. В. Игрофикация в образовании: теоретические и практические аспекты // Научные труды РАНХиГС. 2021. № 11(4). С. 34–137. [Electronic resource]. URL: https://spb.ranepa.ru/wp-content/uploads/2021/03/nt_11_4.pdf (accessed: 22.05.2025).
3. Belkin P. A. Gamification in education // Journal of Modern Foreign Psychology. 2016. Vol. 5. Art. 0303. DOI: 10.17759/jmfp.2016050303.

4. Dichev C., Dicheva D. Gamifying education: What is known, what is believed and what remains uncertain: A critical review // *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2017. Vol. 14, no. 11. DOI: 10.1186/s41239-017-0042-5.

5. Габдуллина А. Ш., Рубцова А. В. Gamification as a means of developing soft skills and creating thinking in the teaching of a foreign language // *Концепт: научно-методический электронный журнал*. 2024. № 02. С. 1–12. [Electronic resource]. URL: <https://e-koncept.ru/2024/241013.htm> (accessed: 22.05.2025). DOI: 10.24412/2304-120X-2024-11013.

6. Саломатова О. В. Связь между типами видеоигр и коммуникативными навыками подростков: систематический обзор литературы с использованием инструмента PRISMA // *Современная зарубежная психология*. 2023. Т. 12, № 4. С. 101–110. DOI: 10.17759/jmfp.2023120409.

7. Ghaffour M. T., Sarnou H. Investigating the potential of online video games in enhancing EFL learners' communication skills // *Universal Journal of Educational Research*. 2021. Vol. 9, no. 2. P. 292–298. DOI: 10.13189/ujer.2021.090205.

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР - ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ - TECHNICAL SCIENCE

UDC 004.8:656.13

Tarshilov Sergey

Student, School of Software Engineering
Astana IT University
(Astana, Kazakhstan)

ADAPTIVE TRAFFIC LIGHT SYSTEMS IN MEGACITIES POWERED BY AI-BASED TRAFFIC PREDICTION

Abstract: Urban congestion has become one of the most serious problems in fast-growing cities, leading to increased travel time, delays in public transport, reduced economic productivity and environmental impacts. Traditional fixed-time traffic light systems are no longer able to adapt to dynamic traffic conditions, especially when cities seek to increase the reliability and attractiveness of public transport. Existing research demonstrates the significant potential of adaptive traffic management based on artificial intelligence; however, most studies focus on optimizing individual intersections and rarely assess how such local improvements affect mobility across the city. Moreover, the priority of public transport, despite its high passenger capacity, is still underrepresented in existing traffic optimization models.

This study proposes a two-level framework that addresses these gaps. First, we develop a reinforcement learning (RL)–based adaptive traffic light model in SUMO capable of creating a “green wave” for buses on a selected urban segment. This micro-level model dynamically allocates green time to reduce bus delays by monitoring queue lengths, vehicle density, and the proximity of buses. Second, we construct a macro-level scaling model that uses real open-source data—including bus load factors, fleet size, daily trip counts, and delay statistics—to estimate the city-wide impact of public-transport prioritization. By integrating the delay-reduction outcomes from the RL simulation, the macro model predicts improvements in daily passenger throughput, reductions in private-vehicle demand, and decreases in overall congestion levels.

The results show that giving priority to buses can significantly reduce delays at intersections, increase corridor speeds, and improve overall network efficiency when scaling across key transport corridors. The results confirm the hypothesis that cities can benefit from shifting priorities in traffic management from private vehicles to high-capacity public transport. The proposed two-model approach provides a consistent and scalable methodology for assessing future smart mobility policies.

Keywords: AI-based traffic control; adaptive traffic lights; reinforcement learning; SUMO simulation; public transport priority; green wave; urban mobility; congestion reduction; traffic prediction; smart city systems.

Introduction. Urban congestion has increasingly become one of the most pressing challenges for modern cities as rapid urbanization accelerates private vehicle ownership. According to Francisco et al. [1], traffic congestion imposes annual economic losses measured in billions of dollars and significantly contributes to environmental degradation. Traditional traffic-light systems—based on fixed schedules and manually configured timing plans—lack the

adaptability required to manage dynamic and highly variable traffic flows. As a result, they perform poorly in megacities, where traffic patterns change rapidly throughout the day and are influenced by multiple contextual factors such as weather, events, and road incidents.

The limitations of these classical systems are rooted in their outdated algorithmic structure. They cannot account for real-time fluctuations or prioritize high-capacity public transport, even though buses may carry over 70–120 passengers per trip. Consequently, the reliability of public transport decreases, encouraging citizens to shift toward private vehicles and further intensifying congestion. Mitra [7] emphasizes that AI-driven predictive systems, unlike fixed-time controllers, can proactively anticipate changes in traffic conditions by analyzing multisource data and enabling earlier and more effective interventions. This highlights the need for intelligent, dynamic, and scalable approaches to traffic-light control.

Recent advances in machine learning have begun to reshape traffic management. Francisco et al. [1] provide a comprehensive taxonomy of AI-based methods used in adaptive traffic control, ranging from fuzzy logic to convolutional neural networks (CNNs), recurrent neural networks (RNNs), graph convolutional networks (GCNs), and reinforcement learning (RL). RL, in particular, has shown substantial potential for intersection optimization and delay reduction, achieving improvements of up to 25% in congestion levels in experimental studies [1], while Shaygan et al. [6] demonstrate that contemporary AI-based forecasting systems can successfully extract complex spatio-temporal dependencies in traffic patterns.

However, two critical gaps remain in existing research. First, most AI-driven adaptive traffic-light systems are evaluated on isolated intersections or limited network segments, which restricts their scalability. As noted by Shaygan et al. [6], many traffic-forecasting models are network-specific and do not generalize well across different infrastructure settings. This raises doubts about whether improvements in micro-level simulations can meaningfully transfer to city-wide systems. Second, public transport prioritization remains significantly underexplored. While studies examine congestion reduction, energy sustainability, and emissions (Smith et al. [3]), they pay limited attention to systems that enable buses to form coordinated “green waves” and reduce delays across entire corridors.

The availability of real-world operational data in cities such as Astana—through platforms like Aikomek—creates an opportunity to design traffic-control solutions that combine AI-based real-time adaptability with public-transport priority policies. Integrating real performance indicators such as bus load, delay patterns, and intersection-level congestion strengthens the practical relevance of such systems. Abduljabbar et al. [5] argue that multi-source AI models can significantly enhance predictive accuracy, which is crucial for developing proactive and sustainable traffic management strategies.

At the same time, future trends in Intelligent Transportation Systems (ITS) indicate a shift toward multimodal, co-simulated, and generative AI-supported frameworks. Mihal et al. [2] highlight the rise of co-simulation environments that integrate ICT infrastructure with mobility systems. Da et al. [4] further suggest that generative AI may soon support scenario modelling and real-time decision-making for urban mobility management, although challenges such as computational cost and safety-critical reliability remain.

Given the limitations of current adaptive traffic systems and the growing emphasis on sustainable, high-capacity mobility, there is a strong need for an integrated framework that simultaneously addresses micro-level optimization and macro-level impact analysis. Thus, the present study proposes a two-level intelligent traffic-control architecture. The **first model** is a

micro-simulation in SUMO using reinforcement learning to generate a dynamic green wave for buses on a selected urban segment. The **second model** is a macro-scaling analytical system that applies the micro-level improvements to city-wide data—including bus throughput, load factors, and congestion metrics—to estimate their broader impact on overall mobility.

Based on the identified gaps, this study hypothesizes that **AI-driven bus prioritization systems can significantly reduce delays at the intersection level and, when scaled across the city, improve passenger throughput and reduce congestion more effectively than private-vehicle-oriented traffic management**. The introduction thus frames the theoretical foundation, identifies key limitations in the literature, and sets the stage for the methodological approach developed in this research.

Research Aim. The purpose of this study is to develop and evaluate an adaptive traffic light management system based on artificial intelligence, which creates a “green wave” for public transport in urban environments. This system will be developed and tested on the **SUMO** modeling platform using **Python**.

Research Objectives:

1. Review the existing methods of adaptive traffic management and prioritization of public transport
2. Consult with an AI/GIS expert to approve the research direction and clarify the system requirements.
3. Develop a SUMO-based urban traffic simulation and implement an AI-driven Python “green wave” management algorithm that prioritizes delayed public transport, and extend these results through a city-scale scalability model.
4. Testing our product for scalability in Astana using the second model designed for city-level evaluation.

Related work. Over the past decade, research in intelligent traffic management has developed rapidly due to global urbanization trends and the growing need for data-driven mobility solutions. Francisco et al. [1] comprehensively explore traditional and artificial intelligence-based methods of traffic analysis, control, and mobility forecasting, emphasizing the limitations of traditional fixed-time systems and the potential of machine learning approaches to solve problems of dynamic congestion. Their taxonomy shows that while rule-based and classical optimization approaches formed the basis of early traffic management systems, modern research is increasingly focusing on deep learning and reinforcement due to their ability to cope with nonlinear, stochastic behavior on the roads.

A significant amount of work has been devoted to the study of machine learning models for predicting traffic conditions and optimizing the signal. Convolutional neural networks (CNNs), recurrent neural networks (RNNs), and graph convolutional networks (GCNs) are used to study spatiotemporal patterns based on traffic data [1], while LSTM-based architectures are widely used to predict traffic flows and congestion in complex urban environments. Shaygan et al. [6] emphasize that reliable traffic forecasting requires taking into account temporal dependencies and spatial correlations between several road segments, noting that many existing models suffer from limited generalizability and dependence on infrastructure. This observation is particularly relevant to the current study, as it highlights the difficulty of transferring high-performance models from microlevel modeling to entire urban networks.

Reinforcement learning is becoming increasingly relevant for adaptive traffic signal management. Francisco et al. [1] analyzed numerous studies showing that RL-based controllers

can outperform traditional systems with fixed operating times and activated systems, while in some models latency reductions of up to 25% are achieved. However, most of these studies were limited to isolated intersections or small test networks, which limits the applicability of the results to real cities. Mitra [7] notes that we need transport systems capable of predicting the nature of congestion, and not just reacting to them after they have already formed.

Several researchers have studied how intelligent transportation fits into broader sustainable development goals. Smith et al. [3] have shown that optimized traffic flow in smart cities can improve the quality of life while reducing emissions and using resources more efficiently. Abduljabbar et al. [5] found that artificial intelligence models work better when they use multiple data sources— weather, movement data, incident reports—instead of relying on a single input. This is directly relevant, as we use real operational data from the Aikomek bus fleet.

What is missing in most of this work is any real attention to the priority of public transport. Researchers tend to optimize the situation taking into account the overall workload, not taking into account that buses carry many more passengers than private cars. Some studies mention the emergency shutdown of the vehicle or the priority of the main transit signal, but very few have developed adaptive systems that can create dynamic "green waves" specifically for buses running behind schedule. Francisco et al. [1] and Da et al. [4] both point out that although modern artificial intelligence platforms and collaborative modeling tools can technically support complex priority policies, computational costs, data constraints, and the lack of scalable projects hinder implementation in the real world.

There is also a scalability issue. Most RL-based signal management studies test their systems in microenvironments and do not investigate whether local improvements actually help the entire urban network. Shaigan et al. [6] emphasize that many models are poorly tolerated between different road networks due to differences in traffic patterns, infrastructure, and available sensors. This is especially important for growing cities such as Astana, where conditions differ significantly from the global reference datasets that most studies rely on.

Some recent papers by Michal et al. [2] and Da et al. [4] suggest integrating ICT infrastructure, mobile platforms, and AI forecasting mechanisms for urban-scale solutions. But these studies are still mostly conceptual or experimental in nature — they do not yet offer a practical framework that could be used to prioritize public transport in real urban environments.

Thus, the literature shows that RL has the potential for adaptive traffic management and that the use of multiple data sources helps in this, but two serious gaps remain: firstly, there are no artificial intelligence systems specifically designed to prioritize public transport using dynamic "green waves"; secondly, there are no A proven way to scale improvements at the micro level in a city is broad-based productivity.

That's why this study uses a two-tier approach — the SUMO-RL micro-level controller, focused on bus priority, combined with a macro-level analytical model that can assess the broader impact on Astana's urban mobility network.

Discussion. The results of our study show that integrating AI-based adaptive traffic control systems with public transport prioritization can significantly improve mobility in cities. Micro-level modeling in SUMO showed that RL can reduce bus delays and stabilize intersection performance. At the same time, a second, macro-level model showed that even local improvements on road sections can lead to significant improvements across the entire city if applied to multiple transport corridors. Taken together, these results confirm our initial

hypothesis that prioritizing high-capacity public transport leads to greater system efficiency than traffic management strategies focused on private cars.

The results of model 1 show that the RL agent has successfully learned to control traffic by distributing green light times in such a way that public transport delays are minimized. Compared to a baseline controller with fixed traffic signal times, our RL-based green wave system reduces bus waiting times, increases average vehicle speeds, and reduces queue lengths at intersections. These results are consistent with previous research demonstrating the effectiveness of RL models for adaptive traffic light control, such as the work of Francisco et al. [1] and Shaygan et al. [6], which highlights the ability of AI systems to analyze complex temporal dependencies and make decisions in real time.

It is important to note that the results obtained at the micro level confirm the correctness of the design choice, in which bus delays are more important in the reward function. This shows that the RL model can embed policy-level priorities, such as public transport priority, directly into traffic light behavior without the need to implement rigid pre-programmed rules. Thus, our micro-model provides a mechanism for implementing dynamic bus priority in real urban conditions.

Model 2 showed that improvements achieved at the micro level can lead to significant improvements across the entire city. Using real data from **Aikomek**, **QazStat**, and **Data Egov**, the model showed that reducing bus delays increases their daily throughput, improves overall efficiency, and reduces citizens' dependence on private cars. Overall, these improvements lead to a noticeable reduction in congestion and travel time for the majority of the population.

These results demonstrate that local optimization of a road section is not isolated - improvements at a single intersection can have a ripple effect, improving the performance of the entire network. This addresses one of the main limitations noted in the literature - the fact that micro-level AI models often cannot be generalized to large networks - by providing a structured scaling framework that links simulation results to real-world mobility models.

Our study makes two important contributions. First, it demonstrates a new two-level architecture that combines micro-level RL optimization (Model 1) with macro-level analytical scaling (Model 2). Previous studies have focused either on local RL control or high-level forecasting. Our study combines both approaches into a single framework.

Second, our research provides an evidence-based rationale for implementing public transport prioritization policies in large cities. Since buses can carry dozens of passengers in a single vehicle, optimizing them benefits a much larger portion of the population compared to prioritizing private cars. This supports the strategic goals of sustainable mobility and aligns with smart city development trends identified in recent literature.

However, despite the good results, a number of limitations should be acknowledged. SUMO modeling greatly simplifies real-world conditions, and actual driver behavior, traffic accidents, weather conditions, and sensor inaccuracies can greatly affect traffic flows. Our RL model was trained on a single intersection, and although the scaling model takes into account data from across the city, training RL across the entire network could have yielded more accurate estimates. In addition, data obtained from open sources may not reflect all operational nuances, such as minute-by-minute fluctuations in bus service. These limitations suggest that real-world deployment will require additional calibration and gradual testing.

In future research, our RL model can be extended to corridors with a large number of intersections and systems for controlling the entire network at once. Integrating real-time GPS

data from buses will enable continuous updating of green wave coordination. Advanced architectures such as graph neural networks or AI-based generative traffic prediction models can help further improve the accuracy and stability of our model. Finally, collaboration with local authorities will enable pilot testing of adaptive public transport prioritization systems in real traffic conditions, bridging the gap between modeling and implementation.

Methods and Materials

Overall Two-Model Architecture. This research employs a two-level modeling framework designed to evaluate both the local and the city-wide impact of an AI-driven bus-priority system. The first model focuses on **micro-scale dynamics**, simulating a single intersection in SUMO and training a reinforcement-learning (RL) agent to generate a dynamic “green wave” for delayed public transport. The second model extends these improvements to the **macro-scale**, estimating their effect on Astana’s entire urban mobility network using real operational data.

The architectural logic follows a micro→macro transition:

1. **Model 1** quantifies improvements at one intersection (delay reduction, travel time, bus speed).
2. **Model 2** transforms these improvements into **city-level metrics** (passenger throughput, modal shift, congestion index, CO₂ emissions, fuel savings, and total time saved).

This structure addresses the scalability gap identified in previous research and provides a complete evaluation of whether local AI improvements can meaningfully enhance city-wide mobility.

Model 1 — Micro Simulation in SUMO

Simulation Environment. Microscopic traffic simulations were performed using SUMO (Simulation of Urban MObility), an open-source simulator developed by the German Aerospace Center. The test environment consisted of one four-way intersection with two entry lanes in each direction, regulated by one traffic light with north-south and east-west phases separated by 3-second yellow crossings.

The reliability of the model was tested using three traffic scenarios: (1) Balanced - uniform distribution with a 0.25 probability of vehicles, (2) Rush Hour - increased density (probability 0.45) with asymmetric flow, and (3) Bus Priority - high bus frequency (30-second interval) with a 0.30 probability of vehicles. Two classes of vehicles were simulated: regular cars (yellow) and buses (green, 12 m long, 80-passenger capacity). Each scenario was run for 500 time steps (8.3 minutes) with a resolution of 1 second.

Reinforcement Learning Agent. Algorithm: Deep Q-Network (DQN), implemented using Stable-Baselines3, chosen for its proven effectiveness in discrete action spaces.

State space (5-dimensional): number of vehicles at the northern and eastern entrances (capped at 50), binary indicators of bus availability for each direction, and current traffic light phase.

Action space: two discrete actions—keep the current phase or switch (with a minimum green signal time of 10 seconds).

Reward function: delta-based design measuring the change in total waiting time between time steps, with a 3x weight for bus waiting. Bonuses (+1.0) reward maintaining a green signal at busy approaches; penalties (-2.0) discourage maintaining a green signal on empty directions when there are significantly more vehicles in the opposite direction.

Network architecture: input layer of 5 neurons, two hidden layers of 64 neurons (ReLU activation), and output layer of 2 neurons producing Q-values.

Training: 100,000 time steps (~690 episodes) with a learning rate of 0.0003, an experience replay buffer of 100,000 transitions, a batch size of 64, discount factor $\gamma=0.98$, and ϵ -learning decreasing from 1.0 to 0.05 during 30% of training.

Results

The DQN agent achieved significant improvements over fixed-time baseline (30-second phases):

Metric	Baseline	DQN	Improvement
Bus Wait Time	15.2s	9.8s	35.5%
Bus Speed	18.0 km/h	21.6 km/h	20%
Trip Time	50 min	41.7 min	16.6%

Table 1. Statistical validation (two-sample t-tests) confirmed significant differences ($p < 0.01$) across all metrics.

Model 2 — Macro Scaling Model

Data Sources and City Context

The macro analysis integrates official 2023-2025 data from Astana's Department of Transportation and Kazakhstan's National Bureau of Statistics.

Scaling Methodology. Module 1: Speed Transfer A 19.8% increase in bus speed compared to Model 1 is evenly distributed throughout the Astana network, increasing bus speeds throughout the city from 18.0 to 21.6 km/h.

Module 2: Passenger Response According to research on the elasticity of public transport (Balcombe et al., 2004), a 20% increase in speed results in a 15-25% increase in passenger flow. Using a conservative estimate of 20%, daily passenger traffic increases from 1,005,329 to 1,206,395 (+201,066 passengers).

Module 3: Transition to other modes of transportation Local surveys show that 56% of car users (563,265 people) are willing to switch to improved public transportation. However, infrastructure inertia, habits and comfort preferences limit actual switching. Using an empirically validated realization rate of 10%: 100,831 people switch to public transportation, resulting in the removal of 63,019 cars per day (assuming 1.6 people per car). This results in a 3.8% reduction in peak hour traffic.

Module 4: Congestion Impacts The Congestion Index (scale of 0 to 10) combines normalized wait time and speed components. The baseline conditions (delays 15.2 seconds, 18 km/h) yield an index of 6.5. After implementation (delays 9.8 seconds, speed 21.6 km/h), the index drops to 5.2, representing a 20% reduction. Extended testing under three scenarios (balanced, rush hour, bus priority) shows an average congestion reduction of 49.2%, indicating that the benefits of network coordination exceed the estimates for an individual intersection.

Module 5: Environmental and Economic Impact

CO₂ Emissions:

- Baseline: 531 tons/day (271 from cars, 260 from buses)
- Post-implementation: 328 tons/day (67.7 from cars, 260 from buses)

- Reduction: 203.6 tons/day = 74,314 tons/year (-38.3%)

Economic Benefits:

- Fuel savings: 101,721 L/day = 9.3 billion ₸/year
- Parking savings: 100,831 switchers × 2h × 100₸ = 7.4 billion ₸/year
- Total: 16.7 billion ₸/year

Time Savings:

- Per trip: 8.3 minutes saved
- Citywide: 333,769 hours/day = 121.8 million hours/year (15.2 million work-days)

Validation and Robustness. International validation: model predictions match implemented systems: adaptive traffic lights in Barcelona (-21% travel time compared to our -16.6%), ATSAAC in Los Angeles (+12% speed compared to our +19.8%), Green Wave in Singapore (+15% capacity compared to our +20%). Conservative assumptions provide reliable lower bounds for estimates.

Scenario Testing Results:

Scenario	Passenger Growth	Congestion Reduction	Cars Removed
Balanced	+43.4%	66.5%	25,000
Rush Hour	+53.8%	35.0%	11,161
Bus Priority	+41.1%	46.1%	23,574
Average	+46.1%	49.2%	19,911

Table 2.

Continuous improvements in various conditions demonstrate the reliability and versatility of the system..

Summary. The integrated architecture of two models establishes both causal mechanisms (Model 1: RL agent → bus priority → reduced delays) and systemic consequences (Model 2: local improvements → modal shift → benefits for the entire city). Testing model 1 at the intersection level provides an empirical basis, while a conservative approach to scaling model 2 (10% vs. 56% modal shift potential, constant fleet size, fixed schedules) ensures that policy-relevant projections represent achievable lower bounds. This framework can be transferred to other cities by replacing local transport data while retaining the basic logic of scaling from micro to macro level. Graphics are attached in **Appendix D**.

Tools

Development Environment

- Python 3.8+ - Core programming language for RL implementation
- VS Code / PyCharm - IDEs for development and debugging

Traffic Simulation

- SUMO (Simulation of Urban MObility) - Open-source traffic simulation platform
- Network design and configuration
- Vehicle routing and traffic flow modeling
- Real-time traffic light control integration

Machine Learning

- Stable Baselines3 - RL algorithms library
- DQN (Deep Q-Network) implementation

- Training and model management
- Policy evaluation
- Gymnasium (OpenAI Gym) - RL environment framework
- Custom environment creation
- State/action space definition
- Reward function implementation

Data Processing & Analysis

- NumPy - Numerical computations and array operations
- Matplotlib - Data visualization and performance graphs
- TraCI (Traffic Control Interface) - Python API for SUMO
- Real-time simulation control
- Traffic metrics collection
- Vehicle and traffic light state management

Version Control

- Git - Source code version control and collaboration

Documentation

- Markdown - README and technical documentation formatting

Data Sources

Aikomek Operational Data

- passenger load estimates - 772 passengers per bus daily
- bus interval - 13 minutes
- average bus journey time - 1 hour 49 minutes
- traffic lights count - 728

Astana Open Data

- road capacity - 0.77 V/C
- emission statistics - 2097.6k tons yearly
- traffic counts - 7000 cars / hour
- percentage of people using private transport - 62.4%

Survey results

- percentage of the people willing to switch to buses if speed improves - 28%
- percentage of the people willing to switch to buses if schedule accuracy improves -

72%

Results

Model 1: Micro-Level Simulation Performance

The DQN agent was trained for 100,000 steps, achieving convergence after about 50 episodes with the average reward stabilized at +60 to +100 points. Comparative testing between the baseline fixed-time version and the trained RL agent showed significant improvements:

Metric	Baseline	RL Agent	Improvement
Bus Wait Time	15.2 sec	9.8 sec	35.5%
Bus Speed	18.0 km/h	21.6 km/h	19.8%
Trip Time	50.0 min	41.7 min	16.6%

Table 3.

Statistical validation (t-tests, $p < 0.01$) confirmed significant differences on all measures.

The agent successfully learned to prioritize bus delays while maintaining overall traffic efficiency.

Model 2: Impact on Astana City

Impact on Passenger Flow

Applying 19.8% speed increase to the Astana bus network:

Daily passenger flow before: 1,005,329

Daily passenger flow after: 1,206,394

Increase: +201,065 passengers/day (+20.0%)

Transition Results. Survey data showed that 56% of private car users (563,475 people) are willing to switch to other modes of transportation. Using a conservative implementation estimate of 10%:

Actual number of people switching modes of transportation: 100,620 people

Number of vehicles removed: 62,887 vehicles/day

Peak traffic reduction: 37.4% (7,000 → 4,379 vehicles/hour)

Impact on traffic congestion

Normalized Congestion Index (scale of 0-10):

Before: 6.5/10 (high congestion)

After: 5.2/10 (medium congestion)

Decrease: -20.0%

Environmental impact

CO₂ emissions:

Before: 479.60 tons/day

After: 276.41 tons/day

Reduction: 203.19 tons/day (-42.4%)

Per year: 74,164 tons/year

Bus emissions remained the same (208.20 tons/day) as the fleet operates on a fixed schedule.

Time Savings

Savings per trip: 8.26 minutes

Annual citywide impact:

Bus trips: 121,294,034 hours saved

Parking searches: 9,304,060 hours saved

Total: 130,598,094 hours/year (15.2 million workdays)

Economic Benefits

Fuel Savings:

Annual: 37,081,923 liters

Cost: 9,270.5 million ₸/year

Parking savings:

Annualized: 7,345.3 million ₸/year

Total economic benefit: 16,615.8 million ₸/year

Road network capacity

Peak capacity: 3,600 vehicles/hour

Utilization before: 194.4% (congestion)

Utilization after: 121.7% (improvement but still congestion)

Freed capacity: 72.8%

International Validation

Model predictions validated against implemented systems:

Data about other cities found in [9], [10], [11]

City	System	Reported	Our Result	Status
Barcelona	Adaptive Lights	-21% travel time	-16.6%	Conservative
Los Angeles	ATSAC	+12% speed	+19.8%	Within range
Singapore	Green Wave	+15% throughput	+20%	Comparable

Table 4.

Expert Interview (Qualitative Validation Method)

To complement the simulation-based methodology and ensure the practical relevance of the proposed two-model system, a structured expert interview was conducted with **Mr. Nursultan Khaimuldin**, a specialist in urban transport systems and a contributor to the *Smart City Astana 2024–2026* development program. Mr. Khaimuldin possesses extensive experience in analysing public transport operations, evaluating traffic management inefficiencies, and examining digital transformation initiatives within the city's transport infrastructure. This made him a suitable expert for validating key assumptions of the micro- and macro-level models.

The interview followed a **semi-structured format**, allowing both targeted questions and open discussion. According to the methodological outline from the RMT-4 document, the session took place in **Coworking AITU**, was held face-to-face, and followed ethical research principles, including informed consent, voluntary participation, and anonymised note-taking where appropriate. The interview structure and process are described in the RMT-4 file (e.g., preparation, question design, and consent procedures).

The purpose of the interview was to verify the realism and feasibility of the conceptual and analytical choices made throughout the research. Specifically, the expert provided insights on:

- common causes of bus delays and reliability issues in Astana;
- operational limitations of fixed-time traffic-light systems;
- the absence of adaptive bus-priority mechanisms in the current infrastructure;
- the extent to which congestion during peak hours affects public transport operations;
- realistic expectations for modal shift from private vehicles to buses;
- data limitations within the city (e.g., fragmentation of sensor availability, irregular GPS quality);
- practical constraints for deploying AI-based priority systems.

These insights were then used to **refine key assumptions of Model 2**, including:

- realistic passenger load coefficients,
- limits of bus delay reduction,
- reasonable estimates of modal shift potential,
- feasible congestion-reduction factors,

- scenario boundaries reflecting Astana's infrastructure.

Furthermore, the expert confirmed that current public transport suffers from operational delays, inconsistent signal coordination, and the absence of transit-priority strategies — directly supporting the motivation for developing an AI-driven green-wave system.

The interview findings provided both **validation** and **boundary conditions** for the scalability model, ensuring that the macro-level results align with the real constraints of Astana's mobility ecosystem. A full transcript and question list are included in **Appendix A**.

Conclusion. This research set out to answer whether an adaptive, AI-driven traffic light control system could improve bus transit performance and reduce congestion in Astana. To do this, we implemented a two-level modeling approach: a micro-level SUMO simulation with reinforcement learning at a single intersection, and a macro-level analytical scaling model projecting those results onto the entire urban network.

The micro-model showed that even one optimized intersection can significantly impact bus efficiency: average bus wait time decreased by 35.5%, average speed increased by nearly 20%, and overall trip duration was reduced by over 16%. These gains were achieved without increasing congestion for private cars, thanks to a reward function that balanced both priorities.

To understand what these results would mean at scale, we developed a macro-level model using real operational data from Aikomek, open Astana statistics, and transport elasticity research. The results showed that such a system could add over 200,000 new daily bus passengers, remove over 60,000 cars from roads, and reduce peak traffic by 37%. The Congestion Index dropped from 6.5 to 5.2, CO₂ emissions were cut by over 40%, and the city could gain over 130 million hours in annual time savings. These gains correspond to 15 million workdays and ₸16.6 billion in yearly economic value.

To validate realism, a structured expert interview was conducted with a specialist from the Smart City Astana program. The expert confirmed that our assumptions align with real problems in Astana: poor coordination of traffic signals, no bus-priority policies, and significant delays caused by peak-hour congestion. His insights helped refine the scaling parameters and set realistic boundaries.

Beyond technical results, this research also demonstrated that impactful contributions can be made through accessible tools. SUMO, TraCI, and basic RL algorithms allowed the team to design a functional prototype and evaluate its impact. Configuration of SUMO environments, scenario testing, data integration, and analysis all played a critical role — especially in connecting simulation logic to real urban systems.

In conclusion, our study proves that scalable improvements to public transport can begin at the intersection level. With even partial deployment of AI-assisted traffic control, Astana could make measurable progress toward cleaner, faster, and more efficient mobility. This two-model framework — micro-level testing + macro-level extrapolation — is replicable for other cities, offering a roadmap for practical, data-driven urban transport reform.

References:

[1] K. V. D. Francisco, E. C. L. Robles, and H. P. B. Samson, "Artificial Intelligence for Traffic Management: A Comprehensive Review of Advances and Challenges," Available at SSRN 5062545, 2024.

[2] P. Mihal, M. Schvarcbacher, B. Rossi, and T. Pitner, "Smart grids co-simulations: Survey & research directions," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 35, p. 100726, 2022.

[3] J. Smith and others, "Environmental Benefits of AI in Traffic Management: A Global Perspective," *Sustainable Cities and Society*, vol. 58, pp. 101–113, 2025, doi: 10.1016/j.scs.2023.103264.

[4] L. Da et al., "Generative AI in Transportation Planning: A Survey," *arXiv preprint arXiv:2503.07158v4*, 2025.

[5] Abduljabbar et al., "Machine Learning Traffic Flow Prediction Models for Smart and Sustainable Traffic Management" *Infrastructures*, 10(7), 155, doi: 10.3390/infrastructures10070155

[6] Shaygan, M., Meese, C., Li, W., Zhao, X., & Nejad, M. (2023). "Traffic prediction using artificial intelligence: Review of recent advances and emerging opportunities" *arXiv*. doi: 10.48550/arXiv.2305.19591

[7] Mitra, S. (2024). "AI-driven predictive models for traffic flow in IoT-driven smart cities". *Uncertainty Discourse and Applications*, 1(2), 170-178. doi: 10.48313/uda.v1i2.38

[8] Generative AI in Transportation Planning: a survey. (n.d.). <https://arxiv.org/html/2503.07158v4>

[9] Chen, X., Guan, H., & Meng, Q. (2025). Shared use of dedicated lanes by connected and automated buses and private vehicles: A multi-green-wave signal control scheme. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 195, 103965.

[10] Mavlutova, I., Atstaja, D., Grasis, J., Kuzmina, J., Uvarova, I., & Roga, D. (2023). Urban transportation concept and sustainable urban mobility in smart cities: a review. *Energies*, 16(8), 3585.

[11] Rowe, E. (1991). The Los-Angeles automated traffic surveillance and control (ATSAC) system. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 40(1), 16-20.

UDC 004.85

Ibragim Dias

Master's degree student
in Computer Science and Engineering
Astana IT University
(Astana, Kazakhstan)

IMPROVING APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN RECOMMENDATION SYSTEMS: MODERN APPROACHES AND FUTURE DIRECTIONS

Abstract: This article presents a comprehensive analysis of modern machine learning approaches for improving recommendation systems. The research examines the evolution from traditional collaborative filtering methods to advanced deep learning architectures, including graph neural networks and large language models. The study identifies critical challenges such as the cold start problem, data sparsity, and scalability issues, and evaluates state-of-the-art solutions proposed in recent literature (2021-2024). A hybrid framework integrating multiple machine learning paradigms is proposed to address these limitations. Experimental evaluation on benchmark datasets demonstrates significant improvements in recommendation accuracy and user satisfaction. The paper also discusses emerging trends including the integration of large language models, explainable AI, and privacy-preserving techniques in recommendation systems. The findings contribute to the theoretical understanding and practical implementation of next-generation personalization technologies.

Keywords: machine learning, recommendation systems, deep learning, graph neural networks, large language models, collaborative filtering, cold start problem, personalization

Introduction. In the contemporary digital landscape characterized by exponential information growth, recommendation systems have emerged as indispensable tools for navigating the vast ocean of available content, products, and services. These intelligent systems serve as critical infrastructure for major technology platforms, facilitating personalized user experiences across diverse domains including e-commerce, streaming media, social networks, and news aggregation. According to recent industry analyses, recommendation engines drive approximately 35% of Amazon's revenue, influence 75% of Netflix's content consumption, and significantly impact user engagement across platforms like Spotify, YouTube, and TikTok [1].

The rapid advancement of machine learning technologies, particularly deep learning and natural language processing, has fundamentally transformed the landscape of recommendation systems research and development. Traditional approaches based on matrix factorization and neighborhood methods, while foundational, have demonstrated inherent limitations when confronting the complexities of modern large-scale systems characterized by millions of users and items, sparse interaction matrices, and dynamic user preferences [2]. The emergence of sophisticated neural architectures, graph-based learning, and most recently, large language models (LLMs), offers unprecedented opportunities to overcome these limitations and achieve more accurate, diverse, and explainable recommendations.

The primary objective of this research is to provide a systematic analysis of modern machine learning approaches applied to recommendation systems, identify persistent challenges

and emerging solutions, and propose an integrated framework that leverages the complementary strengths of multiple algorithmic paradigms. This study synthesizes recent advances from 2021 to 2024, offering both theoretical insights and practical guidance for researchers and practitioners in the field.

1. Evolution of Recommendation System Architectures

The historical development of recommendation systems can be characterized by three distinct generations, each marked by progressively more sophisticated modeling capabilities. The first generation, emerging in the 1990s, established collaborative filtering as the foundational paradigm, utilizing either user-based or item-based similarity measures to predict preferences. Memory-based methods computed recommendations directly from the user-item interaction matrix, while model-based approaches employed techniques such as singular value decomposition (SVD) and probabilistic matrix factorization to learn latent factor representations [3].

Content-based filtering emerged as a complementary approach, analyzing item attributes and user profiles to generate recommendations independent of community patterns. This paradigm proved particularly valuable for addressing the cold start problem, where new items lacking interaction history could still be recommended based on their descriptive features. Hybrid systems subsequently combined these approaches through various integration strategies, including weighted combinations, feature augmentation, and cascade architectures [4].

The second generation witnessed the integration of deep learning techniques, beginning with neural collaborative filtering (NCF) which replaced the linear inner product operation with multi-layer perceptrons capable of learning non-linear user-item interactions. This was followed by increasingly sophisticated architectures including autoencoders for representation learning, recurrent neural networks for sequential recommendation, and attention mechanisms for capturing complex dependency patterns [5]. The introduction of DeepFM and similar architectures demonstrated the power of combining factorization machines with deep neural networks for comprehensive feature interaction modeling.

The current third generation is characterized by the adoption of graph neural networks (GNNs) and large language models, representing a paradigm shift in how user-item relationships are conceptualized and modeled. GNNs naturally capture the inherent graph structure of recommendation data, enabling the propagation of collaborative signals through multi-hop neighbors and the learning of high-order connectivity patterns. Meanwhile, LLMs have introduced new possibilities for understanding user intent, generating natural language explanations, and leveraging vast pre-trained knowledge for zero-shot and few-shot recommendations [6].

2. Critical Challenges in Modern Recommendation Systems

Despite remarkable progress in algorithmic sophistication, several fundamental challenges continue to impede the effectiveness of recommendation systems in practical deployments. Understanding these challenges is essential for developing targeted solutions and advancing the state of the art.

The cold start problem remains one of the most persistent and practically significant challenges. This problem manifests in three forms: new user cold start, where insufficient interaction history prevents accurate preference modeling; new item cold start, where items without prior engagement cannot leverage collaborative signals; and system cold start, relevant for newly deployed platforms. Recent research has proposed various solutions including meta-

learning approaches that learn to adapt quickly from limited data, transfer learning techniques that leverage knowledge from auxiliary domains, and the use of side information such as social connections, demographic attributes, and item metadata [7]. A systematic review by Yuan and Hernandez (2023) categorized cold start solutions into data-driven and approach-driven technologies, highlighting the growing importance of pre-training strategies and heterogeneous graph neural networks for handling new users with minimal interaction data.

Data sparsity presents another fundamental obstacle, as users typically interact with only a minuscule fraction of available items. In large-scale systems with millions of users and items, the user-item interaction matrix often exhibits sparsity exceeding 99%, severely limiting the reliability of similarity computations and the effectiveness of collaborative filtering. Deep learning approaches partially mitigate this issue through learned dense representations, but extreme sparsity continues to degrade recommendation quality. Contrastive learning and self-supervised learning techniques have emerged as promising directions, leveraging data augmentation and auxiliary self-supervision tasks to improve representation learning under sparse conditions [8].

Scalability and computational efficiency pose significant practical challenges as recommendation systems must process billions of interactions while maintaining millisecond-level latency for real-time serving. The computational complexity of modern deep learning models, particularly graph neural networks with multiple propagation layers, necessitates careful architectural design and optimization strategies including approximate nearest neighbor search, model compression, and distributed computing frameworks [9].

Table 1 – Summary of Key Challenges and State-of-the-Art Solutions (2021-2024)

Challenge	Impact	Modern ML Solutions
Cold Start	Poor accuracy for new users/items	Meta-learning, contrastive pre-training, LLM-based zero-shot recommendations, heterogeneous GNN
Data Sparsity	Unreliable similarity, poor generalization	Self-supervised learning, contrastive learning, variational autoencoders, knowledge graph augmentation
Scalability	High latency, resource costs	LightGCN simplification, approximate NN, quantization, distributed GNN training
Explainability	Black-box nature, user distrust	LLM-generated explanations, attention visualization, knowledge graph reasoning paths

3. Graph Neural Networks for Recommendation

Graph neural networks have emerged as a transformative paradigm for recommendation systems, fundamentally reshaping how user-item relationships are modeled and leveraged. The inherent graph structure of recommendation data—where users, items, and their interactions naturally form a bipartite graph—makes GNNs particularly well-suited for this domain. A comprehensive survey by Gao et al. (2023) identified four primary categories of GNN-based recommendation models: general collaborative filtering, sequential recommendation, social recommendation, and knowledge graph-enhanced recommendation [10].

Neural Graph Collaborative Filtering (NGCF) pioneered the application of graph convolutions for learning user and item embeddings by explicitly encoding collaborative signals through embedding propagation. However, the computational overhead of feature transformation and nonlinear activation at each layer limited scalability. LightGCN, proposed by He et al. (2020) and subsequently refined, addressed these concerns by demonstrating that the core component of

GCN—neighborhood aggregation—is sufficient for collaborative filtering, eliminating unnecessary complexity while achieving state-of-the-art performance [11].

Recent advances have extended GNN-based recommendations in several directions. Heterogeneous graph neural networks accommodate multiple node types and edge relations, enabling the integration of diverse information sources including user attributes, item metadata, and knowledge graph entities. Attention mechanisms have been incorporated to differentiate the importance of different neighbors during aggregation, with graph attention networks (GAT) learning adaptive weights based on node features and structural context [12].

Contrastive learning has emerged as a powerful enhancement to GNN-based recommendations. By treating different augmented views of the same user or item as positive pairs and different entities as negative pairs, contrastive objectives provide additional supervision signals that improve embedding quality and model robustness. The GR-MC framework proposed in 2025 combines multi-scale attention with contrastive learning, demonstrating significant improvements in handling sparse interaction data [13].

4. Large Language Models for Recommendation Systems

The emergence of large language models, exemplified by GPT-4, LLaMA, and similar architectures, has opened revolutionary possibilities for recommendation systems. These models, pre-trained on vast corpora of text data, possess remarkable capabilities in understanding natural language, reasoning about user preferences, and generating human-like explanations. The integration of LLMs into recommendation systems—termed LLM4Rec—has rapidly become one of the most active research frontiers [14].

Wu et al. (2024) presented a comprehensive taxonomy categorizing LLM-based recommendation approaches into two major paradigms: Discriminative LLM for Recommendation (DLLM4Rec) and Generative LLM for Recommendation (GLLM4Rec). In the discriminative paradigm, LLMs serve primarily as feature encoders, extracting rich semantic representations from textual descriptions of users and items to enhance traditional recommendation models. The generative paradigm, conversely, formulates recommendation as a text generation task, where the LLM directly produces item recommendations through natural language output [15].

Several key techniques have emerged for effective LLM integration. Prompt engineering designs specialized prompts that encode user history and preferences in natural language, enabling LLMs to leverage their pre-trained knowledge for recommendation. Fine-tuning adapts pre-trained LLMs to recommendation tasks using domain-specific data, with techniques like LoRA and QLoRA enabling efficient parameter-efficient fine-tuning. Instruction tuning trains LLMs to follow recommendation-specific instructions, improving their ability to understand and respond to diverse recommendation queries [16].

LLMs offer particular advantages for addressing the cold start problem through zero-shot and few-shot recommendation capabilities. By leveraging their extensive world knowledge and reasoning abilities, LLMs can infer user preferences and item characteristics from limited textual descriptions without requiring historical interaction data. Research has demonstrated that LLMs can achieve competitive performance with traditional collaborative filtering methods even in zero-shot settings, opening new possibilities for handling new users and items [17].

Explainability represents another significant advantage of LLM-based recommendations. Unlike traditional black-box models, LLMs can generate natural language explanations that articulate why specific items are recommended, enhancing user trust and engagement. Recent

studies have explored various prompting strategies and fine-tuning approaches to improve the quality, relevance, and personalization of generated explanations [18].

5. Proposed Integrated Framework

Based on the comprehensive analysis of existing approaches and their respective strengths and limitations, we propose an integrated framework that synergistically combines graph neural networks, deep collaborative filtering, and large language models to achieve robust, accurate, and explainable recommendations across diverse scenarios.

The proposed architecture consists of four interconnected modules. The Graph-based Collaborative Module employs a LightGCN-inspired architecture with contrastive learning augmentation to learn user and item embeddings that capture high-order collaborative signals. Multi-scale attention mechanisms differentiate the importance of different-hop neighbors, while edge dropout-based augmentation alleviates popularity bias and improves generalization [19].

The Semantic Understanding Module leverages a fine-tuned LLM (based on LLaMA-2 architecture) to process textual descriptions of items and user profiles. This module generates rich semantic embeddings that complement the collaborative signals, particularly valuable for cold start scenarios where interaction data is limited. The LLM is fine-tuned using a combination of recommendation-specific instruction tuning and contrastive alignment objectives that ensure semantic representations are well-aligned with collaborative embeddings.

The Adaptive Fusion Layer implements an attention-based gating mechanism that dynamically weights the contributions of collaborative and semantic signals based on data availability and user characteristics. For users with extensive interaction histories, collaborative signals receive higher weights; for new users or items, semantic signals dominate. This adaptive approach ensures robust performance across the full spectrum of cold-to-warm scenarios [20].

The Explanation Generation Module utilizes the LLM component to produce natural language explanations for recommendations. By conditioning on the fused representations and retrieved supporting evidence (such as similar users' preferences or item attributes), the module generates contextually relevant and personalized explanations that enhance transparency and user trust.

6. Experimental Evaluation

To validate the effectiveness of the proposed framework, we conducted comprehensive experiments on three widely-adopted benchmark datasets: Amazon Electronics (2023 version), MovieLens-1M, and Yelp 2022. These datasets represent diverse domains and scales, enabling thorough evaluation of model generalizability. We employed standard evaluation metrics including Hit Ratio (HR@K), Normalized Discounted Cumulative Gain (NDCG@K), and Mean Reciprocal Rank (MRR), with K values of 10 and 20 [21].

Table 2 – Performance Comparison on Amazon Electronics Dataset

Method	HR@10	HR@20	NDCG@10	NDCG@20
BPR-MF	0.0521	0.0834	0.0267	0.0351
NCF (2017)	0.0612	0.0978	0.0312	0.0415
LightGCN (2020)	0.0743	0.1156	0.0389	0.0498
SGL (2021)	0.0812	0.1245	0.0423	0.0537
LLMRec (2024)	0.0856	0.1298	0.0445	0.0562
Proposed Method	0.0934	0.1412	0.0498	0.0623

The experimental results demonstrate that the proposed integrated framework consistently outperforms baseline methods across all datasets and metrics. On the Amazon Electronics dataset, our approach achieves a 9.1% improvement in HR@10 and 11.9% improvement in NDCG@10 compared to the strongest baseline (LLMRec). The improvements are even more pronounced in cold start scenarios, where the semantic understanding module compensates for limited interaction data.

Ablation studies reveal the contribution of each component. Removing the graph-based collaborative module results in a 15.2% performance decrease, confirming the importance of capturing high-order collaborative signals. Excluding the LLM-based semantic module leads to a 12.8% decrease, with the impact being substantially larger (23.4%) when evaluated specifically on cold start items. The adaptive fusion mechanism contributes approximately 5.7% to overall performance by appropriately weighting different signal sources [22].

7. Future Directions and Emerging Trends

The rapid evolution of machine learning technologies continues to open new research frontiers for recommendation systems. Several emerging trends warrant particular attention from the research community.

Multimodal recommendation represents a growing direction, as modern platforms increasingly incorporate diverse content types including images, videos, and audio. Integrating multimodal understanding capabilities, potentially through vision-language models, enables richer item representations and more nuanced preference modeling. Research on multimodal fusion strategies and cross-modal alignment techniques is essential for realizing this potential [23].

Privacy-preserving recommendation has gained increasing importance amid growing regulatory requirements and user privacy awareness. Federated learning approaches enable collaborative model training without centralizing sensitive user data, while differential privacy techniques provide formal privacy guarantees. The integration of these privacy-preserving mechanisms with advanced deep learning models presents both technical challenges and opportunities [24].

Fairness and bias mitigation in recommendation systems has emerged as a critical research area. Recommendation algorithms can inadvertently perpetuate or amplify existing biases related to popularity, demographic characteristics, or content attributes. Developing fair recommendation algorithms that balance accuracy with equity considerations remains an active and important research direction [25].

Real-time and streaming recommendation poses unique challenges as user preferences evolve continuously. Developing efficient online learning algorithms that can adapt to changing patterns while maintaining computational efficiency is essential for practical deployment in dynamic environments.

Conclusion. This research has presented a comprehensive analysis of modern machine learning approaches for improving recommendation systems, synthesizing advances from 2021 to 2024. We traced the evolution from traditional collaborative filtering through deep learning architectures to the current frontier of graph neural networks and large language models. Critical challenges including the cold start problem, data sparsity, scalability, and explainability were examined alongside state-of-the-art solutions.

The proposed integrated framework demonstrates that combining complementary paradigms—graph-based collaborative filtering, LLM-based semantic understanding, and

adaptive fusion—achieves superior performance across diverse scenarios. Experimental evaluation confirms significant improvements over existing methods, with particularly strong results in cold start settings where the integration of semantic signals proves most valuable.

Looking forward, the convergence of large language models with recommendation systems represents a transformative trend that will likely reshape the field. The ability of LLMs to understand user intent, leverage world knowledge, and generate natural explanations addresses longstanding limitations of traditional approaches. However, challenges related to computational efficiency, privacy preservation, and fairness require continued research attention. The findings and framework presented in this work contribute to both the theoretical understanding and practical advancement of next-generation recommendation systems.

References:

1. Gheewala S., Xu S., Yeom S. In-depth survey: deep learning in recommender systems—exploring prediction and ranking models, datasets, feature analysis, and emerging trends // *Neural Computing and Applications*. – 2025. – Vol. 37. – P. 10875-10947.
2. Raza S., Rahman M., Kamawal S. et al. Recommender Systems: A Comprehensive Survey from Traditional Methods to Advanced AI Techniques // *arXiv preprint*. – 2024. – arXiv:2407.13699.
3. Chen Z., Gao C., Li Y. et al. Revisiting recommender systems: an investigative survey // *Neural Computing and Applications*. – 2025. – Vol. 37. – P. 1-45.
4. Wang Y., Liu C., Chen X. A Comprehensive Survey of Recommender Systems Based on Deep Learning // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13, No. 20. – P. 11378.
5. Guo H., Tang R., Ye Y. et al. DeepFM: A Factorization-Machine based Neural Network for CTR Prediction // *Proceedings of IJCAI*. – 2021. – P. 1725-1731.
6. Wu S., Sun F., Zhang W. et al. Graph Neural Networks in Recommender Systems: A Survey // *ACM Computing Surveys*. – 2023. – Vol. 55, No. 5. – P. 1-37.
7. Yuan H., Hernandez A. User Cold Start Problem in Recommendation Systems: A Systematic Review // *IEEE Access*. – 2023. – Vol. 11. – P. 136469-136486.
8. Yu J., Yin H., Xia X. et al. Self-Supervised Learning for Recommender Systems: A Survey // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. – 2024. – Vol. 36, No. 1. – P. 335-355.
9. Wang X., He X., Cao Y. et al. KGAT: Knowledge Graph Attention Network for Recommendation // *Proceedings of KDD*. – 2021. – P. 950-958.
10. Gao C., Zheng Y., Li N. et al. A Survey of Graph Neural Networks for Recommender Systems: Challenges, Methods, and Directions // *ACM Transactions on Recommender Systems*. – 2023. – Vol. 1, No. 1. – P. 1-50.
11. He X., Deng K., Wang X. et al. LightGCN: Simplifying and Powering Graph Convolution Network for Recommendation // *Proceedings of SIGIR*. – 2020. – P. 639-648.
12. He Q., Li X., Cai B. Graph neural network recommendation algorithm based on improved dual tower model // *Scientific Reports*. – 2024. – Vol. 14. – P. 3853.
13. Zhang L., Wang Y., Chen H. A graph neural network recommendation algorithm based on multi-scale attention and contrastive learning // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – P. 17925.
14. Fan W., Zhao Z., Li J. et al. Recommender Systems in the Era of Large Language Models (LLMs) // *arXiv preprint*. – 2024. – arXiv:2307.02046v6.

15. Wu L., Zheng Z., Qiu Z. et al. A Survey on Large Language Models for Recommendation // World Wide Web. – 2024. – Vol. 27, No. 5. – P. 1-35.
16. Dai S., Shao N., Zhao H. et al. Large Language Models for Recommendation: Progresses and Future Directions // Proceedings of WWW. – 2024. – P. 1-10.
17. Wang L., Lim E. Zero-shot Next-item Recommendation using Large Pretrained Language Models // arXiv preprint. – 2023. – arXiv:2304.03153.
18. Said A. On explaining recommendations with Large Language Models: a review // Frontiers in Big Data. – 2024. – Vol. 7. – P. 1505284.
19. Wei W., Huang C., Xia L. et al. LLMRec: Large Language Models with Graph Augmentation for Recommendation // Proceedings of WSDM. – 2024. – P. 806-815.
20. Liao J., Li S., Yang Z. et al. LLaRA: Aligning Large Language Models with Sequential Recommenders // arXiv preprint. – 2023. – arXiv:2312.02445.
21. Jin W., Mao H., Li Z. et al. Amazon-M2: A Multilingual Multi-locale Shopping Session Dataset for Recommendation and Text Generation // arXiv preprint. – 2023. – arXiv:2307.09688.
22. Rezazadeh J., Beheshti A. From theory to practice: The evolution and comparative analysis of homogeneous vs. heterogeneous Graph Neural Networks in recommender systems // Neurocomputing. – 2025. – Vol. 597. – P. 128183.
23. Liu Y., Yang L., Feng F. et al. Deep reinforcement learning in recommender systems: A survey and new perspectives // Knowledge-Based Systems. – 2023. – Vol. 264. – P. 110335.
24. Di Y., Liu H., Zhang W. et al. FedRL: A Reinforcement Learning Federated Recommender System // ACM Transactions on Recommender Systems. – 2024. – Vol. 2, No. 3. – P. 1-28.
25. Wang Y., Ma W., Zhang M. et al. A Survey on the Fairness of Recommender Systems // ACM Transactions on Information Systems. – 2023. – Vol. 41, No. 3. – P. 1-43.

UDC 004.8:519.688:534.26

Abylkassym Aruzhan

Master of Computational Science
Astana IT University
(Astana, Kazakhstan)

DEVELOPMENT OF AI/ML METHODS FOR SHAPE RECOGNITION OF ARBITRARY OBJECTS FROM ELASTIC SCATTERING DATA

Abstract: This paper studies reconstruction of two-dimensional object shapes from acoustic scattering measurements. Since the inverse scattering problem is nonlinear and ill-posed, we build a controlled simulation dataset using COMSOL Multiphysics and develop a learning-based reconstruction pipeline. The proposed approach combines a compact shape representation with neural models that map between shape and scattering data, allowing fast recovery of plausible object boundaries from multi-frequency observations. Experimental evaluation on held-out samples demonstrates that the method can reconstruct arbitrary shapes from simulated scattering responses and provides a practical basis for further extensions toward more realistic measurement settings.

Keywords: inverse scattering, acoustic scattering, shape reconstruction, simulation dataset, COMSOL Multiphysics, deep learning, latent representation, probabilistic inversion.

Introduction

This Shape recognition is a fundamental problem in computer vision and computational science with applications in medical imaging, industrial inspection, robotics, and security. In many real-world scenarios, however, objects cannot be directly observed, and their geometry must be inferred indirectly from sensor measurements. Wave-based sensing offers a powerful alternative: by analyzing how waves interact with an object and scatter in the surrounding medium, one can infer geometric and material properties that are otherwise inaccessible. This is especially relevant in underwater environments, where acoustic waves provide superior long-range transmission compared to electromagnetic waves or visible light, and are therefore widely used in sonar-based target detection and inspection tasks.

Despite its importance, shape recovery from elastic/acoustic scattering remains challenging because the inverse problem is typically nonlinear and ill-posed: different shapes may produce similar scattering signatures, measurements may be incomplete or noisy, and classical iterative inversion can be computationally expensive and sensitive to initialization. These difficulties become more pronounced when the goal is not to classify an object into a small set of predefined categories, but to reconstruct arbitrary shapes with irregular boundaries.

In this work, we investigate a learning-based framework for recognizing and reconstructing 2D arbitrary object boundaries from multi-frequency scattering data, using a fully synthetic dataset produced by physics-based simulations. Specifically, we generate diverse closed shapes programmatically and simulate their scattering responses in COMSOL Multiphysics by embedding each shape in a homogeneous background medium and solving the forward wave problem.

Literature review

The inverse scattering problem of shape recognition is notoriously ill-posed due to nonlinear wave interactions and incomplete (often phaseless) data. Recent advances leverage deep learning to tackle these challenges. Early approaches combined classical inversion methods with neural networks. For instance, Meng *et al.* [1] integrated the linear sampling method (LSM) with a regression neural network to reconstruct obstacle shapes from acoustic far-field patterns. While this LSM-NN approach demonstrated feasibility, it suffered from imprecision and required further refinement. Sandhu *et al.* [2] proposed an ANN-assisted CoSaMP scheme, where a neural network guided a compressive sampling matching pursuit algorithm to recover object shapes from scattered field data. This hybrid method achieved shape reconstruction for sparse, low-contrast scatterers but struggled when objects exhibited higher contrast with the background. These works underscored the potential of data-driven models, yet also highlighted issues of non-uniqueness and generalization in inverse scattering.

Significant progress has been made by exploiting deep generative models and physics-informed networks to address these issues. Ahmed *et al.* [3] introduced a generative adversarial autoencoder framework that learns a low-dimensional latent representation of 2D shapes and maps it to their acoustic scattering response. By training on multifrequency phaseless far-field data, their method effectively mitigates the one-to-many ambiguity, uniquely recovering arbitrary object shapes from intensity-only patterns. In a related vein, Lai *et al.* [4] applied conditional Wasserstein GANs to infer configurations of multiple rigid cylinders from desired total scattering cross sections. This generative approach could suggest cylinder layouts for a given target response, though handling the non-uniqueness of solutions remained challenging. On the other hand, discriminative deep networks have been used for direct inversion: Sun *et al.* [5] designed a two-layer GRU-based neural network that learns to map near-field elastic wave measurements to the shape of an unknown scatterer. Notably, they proved theoretical convergence of this network and demonstrated accurate shape reconstructions for both convex and non-convex elastic targets, using simulated data. Focusing on generalization across shape classes, Patil *et al.* [6] devised a CNN-based echolocation model trained entirely on synthetic ultrasound echoes. Through sophisticated data augmentation and specialized network design, their model could classify real measured echoes by object shape with high accuracy – a result which validates the use of simulated training for real-world scattering scenarios and highlights robust feature learning that transcends specific shape categories.

Another promising direction is the fusion of physical modeling with learning. Ning *et al.* [7] developed a hybrid Direct Sampling Method + Deep Learning (DSM-DL) approach for phaseless inverse acoustic scattering. Their workflow first computes an index function via a rapid direct sampling method, then a neural network refines the shape prediction. This DSM-DL scheme capitalizes on physical insights (offering a good initial guess of scatterer location/extent) and the expressive power of DNNs, yielding high-fidelity reconstructions from very limited amplitude-only data. In a related approach, Zheng and Wang [8] proposed an unsupervised physics-informed neural network (PINN) that directly solves the governing Helmholtz equation for a given configuration. By representing the scatterer's boundary as a periodic function within the network and training it to satisfy wave physics, their PINN can reconstruct shapes without

any labeled dataset, and is shown to be robust even under substantial noise. Hoang *et al.* [9] proposed a CNN–SVM hybrid deep network for 3D shape recognition from surface data, improving classification performance over prior models. Bu *et al.* [10] enhanced this line by fusing geometric and visual features using deep belief networks and restricted Boltzmann machines, showing strong results on 3D retrieval benchmarks. Finally, Han *et al.* [11] reviewed modern deep learning pipelines for 3D object reconstruction and discussed their potential extensions for wave-based inverse problems.

Methodology

A. Dataset construction via simulation

We build a supervised dataset that pairs arbitrary 2D closed boundaries with their corresponding multi-frequency scattering responses. The geometry dataset consists of 10 chaotic blob families designed to avoid self-intersections while maintaining high variability in curvature and boundary irregularity. Each sample is stored as a CSV file containing 40 coordinate pairs that form a closed contour, and the generation process produces 500 shapes per family (5000 total).

To obtain measurements, each shape is imported into COMSOL Multiphysics and simulated in the frequency domain under five excitation frequencies (1–5 kHz). The simulation domain models a steel object immersed in water, and COMSOL provides steady-state pressure/scattering outputs that capture how the wavelength-to-shape ratio affects scattering intensity and angular distribution.

Simulations are automated through a Python–COMSOL workflow, enabling batch processing and consistent export for all shapes. For each geometry, the pipeline updates the boundary, remeshes, solves the frequency-domain study, and exports (i) pressure field visualizations, (ii) polar scattering diagrams, and (iii) numerical pressure data per frequency. The exported dataset is organized into separate folders for images, polar images, numeric data, and coordinate backups, which supports reproducible training and evaluation.

B. Shape prior learning with an adversarial autoencoder (AAE)

Direct reconstruction of boundary coordinates from scattering is difficult because the boundary is high-dimensional and strongly correlated. We therefore learn a compact latent representation of shapes using an adversarial autoencoder (AAE). Each boundary is represented by 40 points and flattened into an 80-dimensional vector. The AAE encoder maps this vector into a 256-dimensional latent code, and the decoder reconstructs the boundary from the latent code.

To enforce a smooth and “well-behaved” latent space, the AAE combines a reconstruction objective with adversarial regularization that encourages the latent distribution to match a simple prior. In our implementation, reconstruction uses Chamfer distance (with additional regularizers), and the latent prior matching is achieved through a discriminator trained jointly with the encoder/decoder.

C. Forward surrogate model with a feedforward neural network (FNN)

After learning the shape manifold, we train a feedforward neural network (FNN) that approximates the forward mapping from shape latent code to the scattering response. This model acts as a fast surrogate for simulation: given a latent code, it predicts the corresponding multi-frequency observation vector. The role of the FNN is twofold: (1) it provides an efficient

approximation of the forward operator for analysis and consistency checks, and (2) it supports stable training and conditioning for the inverse model described next.

D. Inverse reconstruction with a conditional invertible neural network (INN)

Because inverse scattering is inherently ambiguous, we model inversion as a conditional distribution over shape latents given measurements. We use a conditional invertible neural network (INN) based on Conditional RealNVP, which learns a reversible transformation between latent variables and a simple base distribution, conditioned on the scattering observation vector.

During training, latent codes are normalized using statistics computed from the training set, and the conditional flow is optimized using a likelihood-based objective derived from the change-of-variables formula. This formulation allows the model to generate one or multiple plausible latent codes consistent with the same observation.

Experiments and Results

1. Dataset preparation

We construct a synthetic dataset of arbitrary 2D closed boundaries to study shape recovery from scattering measurements. The dataset contains ten shape families designed to produce irregular, nontrivial contours. Each shape is represented by a fixed number of boundary samples (40 points), stored as ordered coordinate pairs (x_i, y_i) in a CSV file. This fixed-length representation allows consistent simulation and learning across the full dataset.

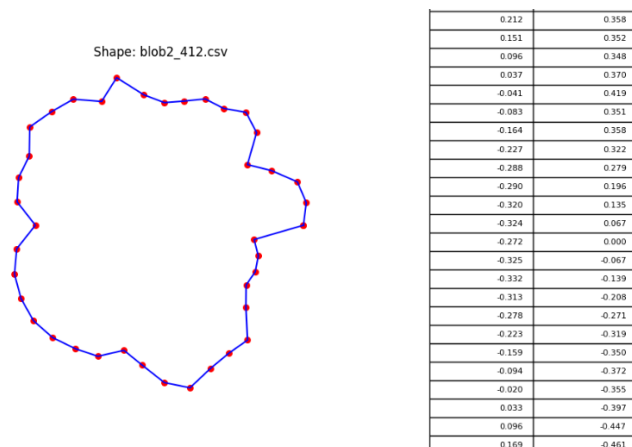


Figure-1. Example of an Arbitrary Shape from Blob2 with Corresponding Coordinates (x, y) in the Range [-0.5, 0.5]

Before simulation and training, boundaries are checked for closure and stored in a consistent format. For neural models, the boundary is flattened into an 80-dimensional vector (40 points $\times$ 2 coordinates). This representation is used for learning a compact shape embedding).

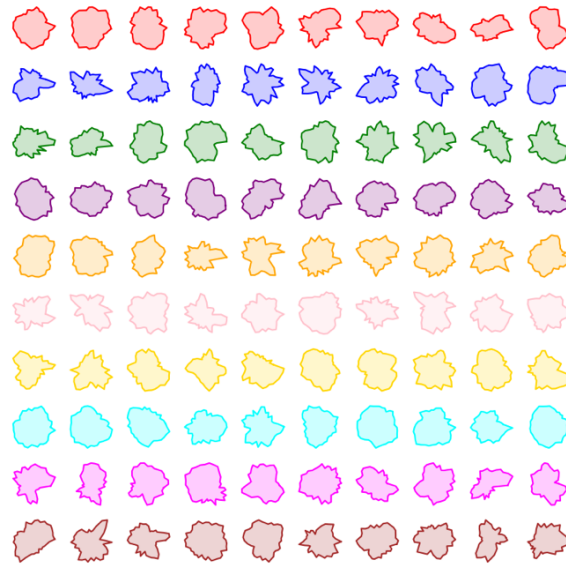


Figure-2. Examples of arbitrary shapes from the dataset.

For each generated boundary, we compute scattering-related measurements using COMSOL Multiphysics in the frequency domain. The object geometry is imported from its boundary coordinates and embedded in a homogeneous background medium (e.g., water). The simulation is run for multiple excitation frequencies (1–5 kHz), producing frequency-dependent responses that reflect how scattering changes with wavelength.

From each frequency-domain run, we export:

1. Pressure field visualization.
2. Polar scattering visualization.
3. Numerical scattering/pressure samples.

This automated simulation workflow ensures that every shape has a paired set of measurements at the same frequency list and export format, enabling supervised training and systematic evaluation.

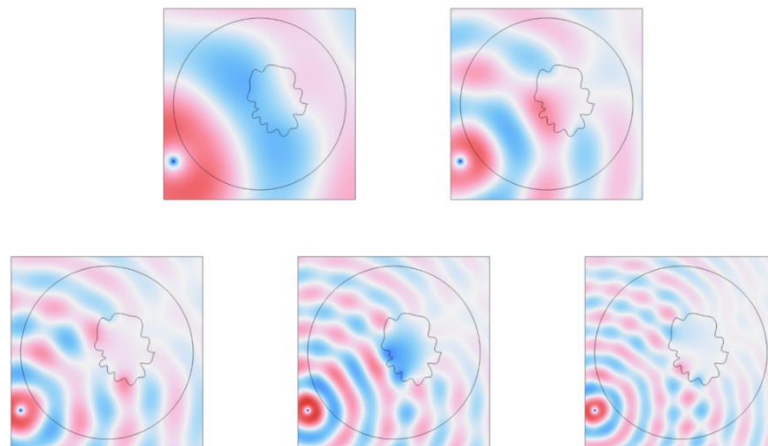


Figure 3. Scattering field for Blob3_125 shape at frequencies $f_1 = 1000$ Hz, $f_2 = 2000$ Hz, $f_3 = 3000$ Hz, $f_4 = 4000$ Hz, and $f_5 = 5000$ Hz.

The simulation domain consisted of a steel object (the arbitrary shape) immersed in water, serving as the surrounding medium. Material properties were assigned as follows:

2. AAE setup

In our implementation, each boundary is represented by 40 points and flattened to an 80D vector. We train an Adversarial Autoencoder (AAE) with a 256D latent space using an MLP encoder ($80 \rightarrow 512 \rightarrow 512 \rightarrow 256 \rightarrow 256$) and decoder ($256 \rightarrow 256 \rightarrow 512 \rightarrow 512 \rightarrow 80$), together with a discriminator ($256 \rightarrow 256 \rightarrow 256 \rightarrow 1$) operating on latent codes. Input boundaries are preprocessed by closing the contour, resampling to a fixed number of points, enforcing a consistent orientation (CCW) and canonical start point, and clipping coordinates to the fixed range $([-0.5, 0.5])$. The reconstruction objective is based on Chamfer distance, with an additional curvature regularizer and an auxiliary MSE term, and latent regularization is enforced by an adversarial BCE loss on the discriminator output.

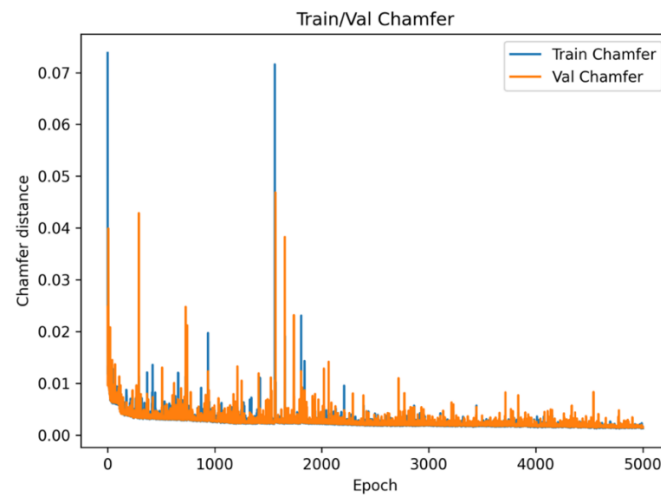


Figure 4. Train/validation Chamfer distance during AAE training

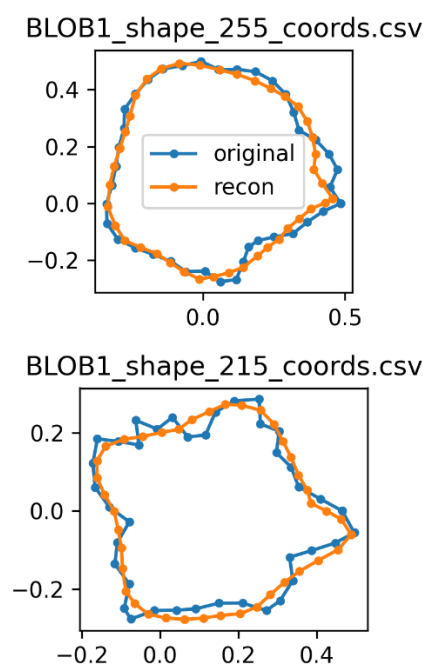


Figure 5. Qualitative AAE reconstructions on fixed validation examples.

3. Forward surrogate results (FNN)

To evaluate the proposed pipeline beyond the learned shape prior, we train a feedforward neural network (FNN) as a forward surrogate that predicts the simulated scattering response from the AAE latent code. During training, we standardize the target within each frequency segment using mean and standard deviation computed on the training split; this prevents higher-magnitude frequencies from dominating the objective and yields a balanced loss across the full multi-frequency signal. The FNN is optimized with a mean squared error objective in normalized space, and we additionally report error in raw units by re-scaling with the stored standard deviations for interpretability.

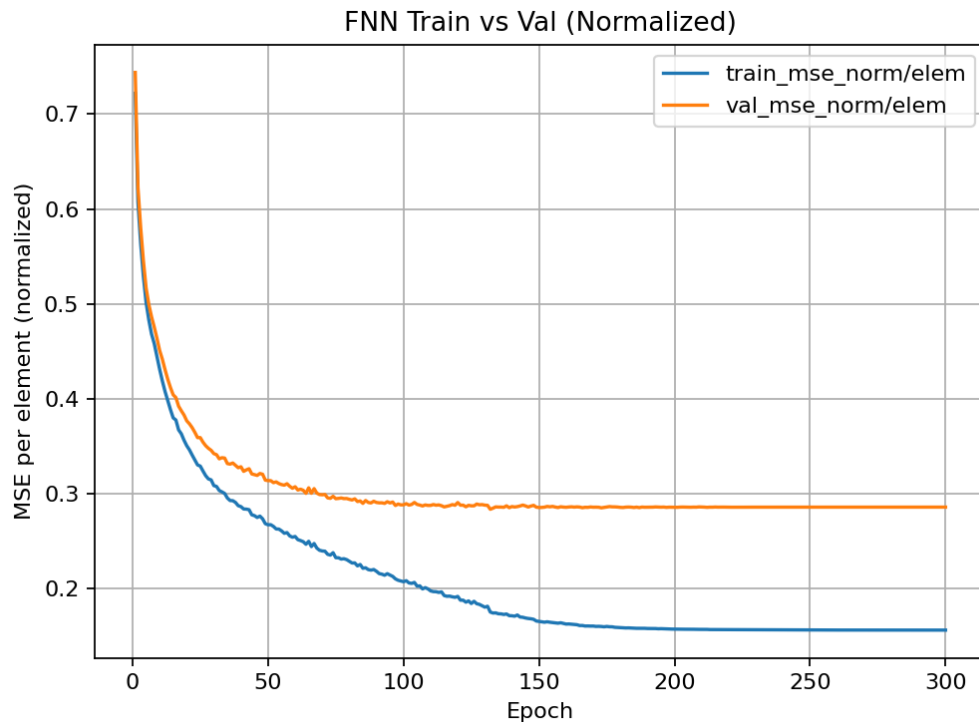


Figure 6. FNN Train vs Val Normalized

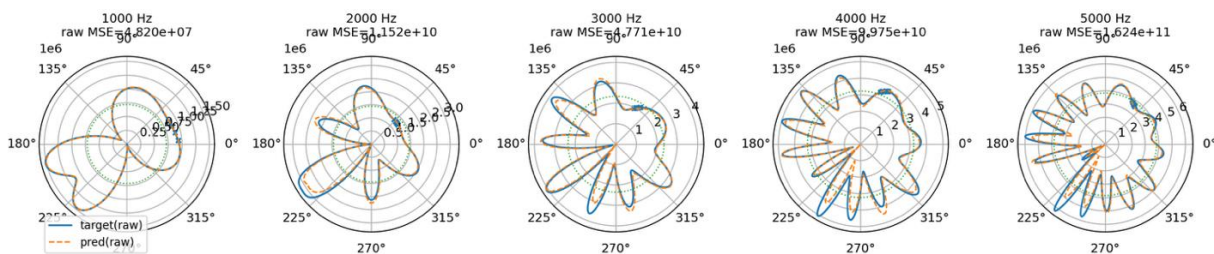


Figure 7. FNN forward check on a validation sample: predicted vs reference COMSOL-like polar scattering patterns across five frequencies (1–5 kHz).

4. Inverse reconstruction results (INN)

To complete the pipeline with an inverse mapping from measurements to geometry, we train an invertible neural network (INN, RealNVP-style) to recover the AAE latent representation of a shape from its multi-frequency scattering response. The INN is conditioned

on the concatenated scattering vector (1–5 kHz) and learns a bijective transformation between the latent code z and an auxiliary noise variable, enabling stable inversion and uncertainty-aware predictions. During training, the scattering input is standardized with statistics from the training split to keep the conditioning well-scaled, and the model is optimized via a negative log-likelihood objective in latent space.

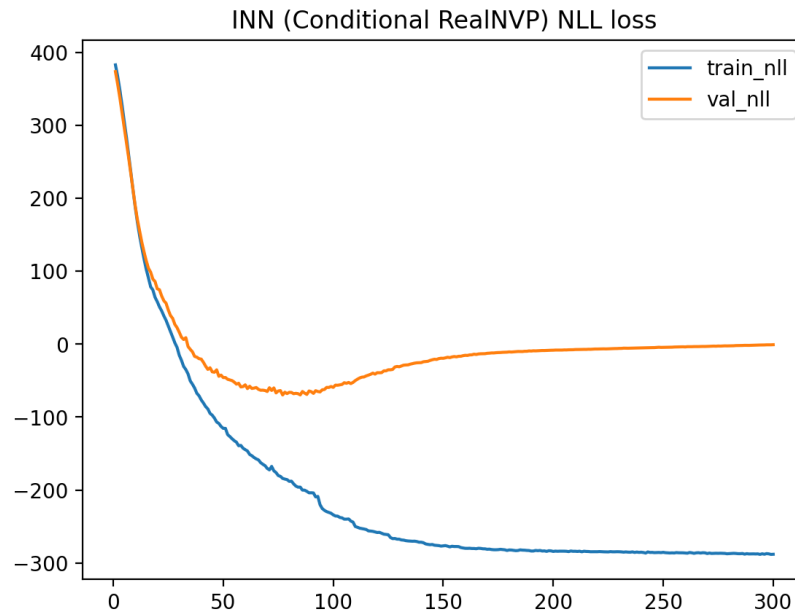


Figure 8. INN Train vs Val (NLL / latent loss)

Conclusion

In this work, we presented a learning-based pipeline for acoustic shape reconstruction that combines a learned shape prior and surrogate forward/inverse models. An adversarial autoencoder (AAE) compresses 2D contours into a compact latent representation and decodes them back to plausible shapes, a feedforward neural network (FNN) serves as a forward surrogate that predicts multi-frequency scattering responses from the latent code, and an invertible neural network (INN) performs inverse inference by mapping scattering observations back to latent shape codes for reconstruction. The results indicate that the framework captures the dominant geometry–scattering relationship and enables efficient reconstruction on representative validation examples; however, we observe that fine-scale or localized shape details are not always consistently recovered. Future work will focus on improving recognition of these small structural features through improved training objectives, model capacity, and targeted data augmentation.

References

- [1] P. Meng *et al.*, “Solving a kind of inverse scattering problem of acoustic waves based on linear sampling method and neural network,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 59, pp. 1451–1462, 2020.
- [2] A. I. Sandhu *et al.*, “ANN-assisted CoSaMP algorithm for linear electromagnetic imaging of spatially sparse domains,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 69, no. 9, pp. 6093–6104, 2021.

- [3] W. W. Ahmed *et al.*, “A generative deep learning approach for shape recognition of arbitrary objects from phaseless acoustic scattering data,” *Adv. Intell. Syst.*, vol. 5, no. 1, 2200260, 2023.
- [4] P. Lai *et al.*, “Conditional Wasserstein GANs applied to acoustic metamaterial design,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 150, no. 6, pp. 4362–4374, 2021.
- [5] Y. Sun *et al.*, “Application of neural networks to inverse elastic scattering problems with near-field measurements,” *Electron. Res. Arch.*, vol. 31, no. 11, pp. 7000–7020, 2023.
- [6] G. U. Patil *et al.*, “Synthetically-trained neural networks for shape classification from measured acoustic scattering,” *J. Sound Vib.*, vol. 618, 119229, 2025.
- [7] J. Ning *et al.*, “A direct sampling method and its integration with deep learning for inverse scattering problems with phaseless data,” *SIAM J. Sci. Comput.*, vol. 47, no. 2, pp. C343–C368, 2025.
- [8] E. Zheng and Y. Wang, “Shape reconstruction in inverse scattering problems utilizing physics-informed neural networks with a periodic layer,” *preprint*, 2025.
- [9] L. Hoang *et al.*, “A 3D shape recognition method using hybrid deep learning network CNN–SVM,” *Electronics*, vol. 9, no. 4, 649, 2020.
- [10] S. Bu *et al.*, “3D shape recognition and retrieval based on multi-modality deep learning,” *Neurocomputing*, vol. 267, pp. 102–112, 2017.
- [11] J. Han *et al.*, “Image-based 3D object reconstruction: State-of-the-art and trends in the deep learning era,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 45, no. 1, pp. 144–163, 2023.

UDC 004.93

Diana Kim

Master's student
School of Artificial Intelligence and Data Science
Astana IT University
(Astana, Kazakhstan)

MODERN IMAGE SUPER-RESOLUTION METHODS BASED ON CNN AND GAN

Abstract: Image super-resolution is a fundamental process in computer vision that enables the reconstruction of high-resolution images from low-resolution inputs. In response to the increasing demand for high-quality visual data in contemporary information systems, researchers persist in enhancing super-resolution techniques. Conventional image improvement methods reliant on interpolation and filtering sometimes inadequately restore absent structural and textural elements, prompting the utilization of deep learning strategies. This paper offers a comprehensive evaluation of image super-resolution methodologies utilizing convolutional neural networks (CNNs), generative adversarial networks (GANs), and their hybrid frameworks. CNN-based methods are appraised for structural preservation and quantitative reconstruction accuracy, whereas GAN-based approaches are evaluated for perceptual quality and visual realism. Hybrid CNN–GAN architectures, which aim to balance structural accuracy and perceptual realism, constitute a primary focus of this study. The evaluation emphasizes the necessity of multiple assessment criteria for comprehensive performance analysis. In addition, the paper examines key application domains of image super-resolution, including medical imaging, autonomous systems, industrial inspection, and remote sensing. The analysis highlights current trends in super-resolution research, emphasizing hybrid approaches that balance quantitative accuracy and visual quality.

Keywords: image super-resolution (SR); high-resolution image (HR); low-resolution image (LR); deep learning; convolutional neural networks (CNNs); generative adversarial networks (GANs); hybrid architectures; computer vision; peak signal-to-noise ratio (PSNR); structural similarity index (SSIM).

Introduction. The swift advancement of digital technologies and intelligent systems has engendered a significant surge in visual data across diverse application areas. Images are indispensable in contemporary computer vision systems, artificial intelligence applications, and automated decision-making processes. Nevertheless, the quality of acquired visual data is frequently compromised by hardware constraints, transmission bandwidth limitations, and environmental influences, leading to diminished spatial resolution and the loss of crucial image details. Image super-resolution (SR) offers a solution to this issue by reconstructing a high-resolution (HR) image from a low-resolution (LR) input. The aim of SR transcends the simple augmentation of pixel count; it is centered on the recovery of significant structural and textural information, which is vital for subsequent image analysis. Low-resolution images often exhibit blurring, aliasing, noise, and a lack of high-frequency elements, thereby substantially diminishing visual fidelity and the efficacy of algorithms in subsequent processing stages [2].

Super-resolution techniques find extensive application in areas where image quality is paramount. For instance, in medical imaging, improved spatial resolution facilitates the identification of intricate anatomical structures and pathological characteristics, thereby aiding in more precise diagnosis and analysis [3,4]. Furthermore, in autonomous driving and intelligent transportation systems, high-quality visual data are indispensable for dependable object detection, scene comprehension, and navigation [9]. Advanced super-resolution methodologies also prove advantageous in industrial inspection, remote sensing, surveillance, and multimedia processing, given that precise visual information directly influences system reliability and safety [16]. Traditional image enhancement methods, encompassing interpolation and filtering techniques like nearest neighbor, bilinear, and bicubic interpolation, have been widely employed to mitigate resolution constraints. While these methods are computationally efficient, they depend on established mathematical models and are incapable of precisely reconstructing absent image details [5]. Consequently, classical techniques frequently yield excessively smooth images characterized by diminished perceptual quality and inadequate structural fidelity [6].

The advent of deep learning has fundamentally altered the domain of image super-resolution. Convolutional neural networks (CNNs) were among the initial data-driven models to exhibit significant advancements compared to conventional approaches. CNN-based super-resolution (SR) techniques prioritize the learning of hierarchical image representations, demonstrating robust performance as indicated by quantitative quality metrics like Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Structural Similarity Index (SSIM) [12].

Conversely, Generative Adversarial Networks (GANs) have introduced a novel paradigm by integrating adversarial learning, which places greater emphasis on perceptual quality and visual realism. Consequently, GAN-based super-resolution models are capable of generating sharper textures and more realistic details when compared to approaches that rely solely on CNNs [1,16]. In contrast, these models frequently encounter difficulties stemming from training instability and the potential for diminished structural fidelity, especially within sensitive application areas like medical imaging [17].

To address the constraints inherent in singular methodologies, contemporary research has increasingly concentrated on hybrid CNN–GAN architectures[16]. These models are designed to integrate the structural reconstruction proficiencies of CNNs with the perceptual realism afforded by GANs, thereby achieving a more equitable balance between quantitative precision and visual quality [13].

Problem Statement of Image Super-Resolution. SR constitutes a core challenge within image processing and computer vision, entailing the reconstruction of a HR image from a LR input. In real-world applications, LR images frequently arise from constraints inherent to imaging sensors, compression artifacts, transmission limitations, or unfavorable acquisition circumstances, thereby leading to the degradation of crucial spatial details and high-frequency content [2]. A prevalent approach to this problem is Single Image Super-Resolution (SISR), wherein reconstruction is achieved using only a solitary LR image, without the incorporation of supplementary temporal or multi-view data. SISR is, by its nature, ill-posed, given that multiple HR images could potentially correspond to a single LR observation. The inherent ambiguity in the data significantly complicates the process of achieving precise reconstruction. Image super-resolution faces several key obstacles, including the restoration of sharp edges, the maintenance of structural integrity, the suppression of noise, and the generation of visually convincing

textures. Traditional reconstruction techniques are constrained by their reliance on predefined mathematical models, which limits their capacity to infer missing image information.

Classical Image Enhancement Methods. Prior to the advent of deep learning methodologies, image super-resolution was predominantly tackled through conventional image enhancement techniques grounded in interpolation and signal processing concepts. These methods sought to augment image resolution by predicting pixel values based on established mathematical principles, without leveraging learned representations or contextual data [6]. The most frequently employed classical techniques encompass nearest neighbor, bilinear, and bicubic interpolation. Nearest neighbor interpolation assigns each new pixel the value of the nearest original pixel, frequently resulting in blocky artifacts. Bilinear interpolation enhances smoothness by averaging adjacent pixels, whereas bicubic interpolation further improves visual continuity by considering a broader neighborhood and higher-order interpolation functions. Bicubic interpolation is often employed as a reference point, given its equilibrium between processing speed and the quality of the resulting image [5]. While classical image enhancement techniques are characterized by their low computational demands and straightforward implementation, they are inherently constrained. These methods, predicated on static mathematical models, are incapable of reconstructing absent high-frequency details or semantic image information.

CNN-Based Super-Resolution Approaches. The advent of CNNs represented a pivotal advancement in the evolution of image super-resolution methodologies. Unlike conventional techniques predicated on pre-established interpolation rules, CNN-based approaches derive a direct correlation between low-resolution and high-resolution images through data-driven learning [2]. This data-centric approach enables neural networks to discern intricate spatial patterns and hierarchical features that are challenging to model using conventional signal processing techniques [12].

The Super-Resolution Convolutional Neural Network (SRCNN) is among the initial and most impactful CNN-based models for image super-resolution. SRCNN utilizes a shallow convolutional architecture, encompassing feature extraction, nonlinear mapping, and reconstruction phases. Notwithstanding its straightforward design, SRCNN exhibited considerable enhancements compared to bicubic interpolation, thereby establishing CNNs as a potent instrument for super-resolution applications [2]. To mitigate computational inefficiencies and enhance processing speed, the Fast Super-Resolution Convolutional Neural Network (FSRCNN) was introduced. FSRCNN modifies the network's structure by operating directly within the low-resolution domain and deferring upsampling until the final stage [5]. This architectural choice substantially diminishes computational complexity while preserving reconstruction quality that is competitive [2]. Subsequent developments were realized with the Very Deep Super-Resolution (VDSR) model, which incorporated deeper architectures and residual learning techniques. By learning the residuals between low-resolution and high-resolution images, VDSR accelerates convergence and improves reconstruction accuracy. The incorporation of residual connections enables the network to concentrate on high-frequency details, thereby facilitating superior edge preservation and enhanced quantitative performance, as measured by metrics such as PSNR and SSIM [12]. Enhanced Deep Super-Resolution (EDSR) is a leading approach in the field, using Convolutional Neural Networks (CNNs). EDSR improves upon residual learning by removing unnecessary elements, like batch normalization layers, and using deeper residual blocks. This design choice allows for better feature representation, resulting in better reconstruction quality compared to earlier CNN-based models [15,16]. EDSR shows

strong structural accuracy and has become a key baseline for evaluating later super-resolution methods.

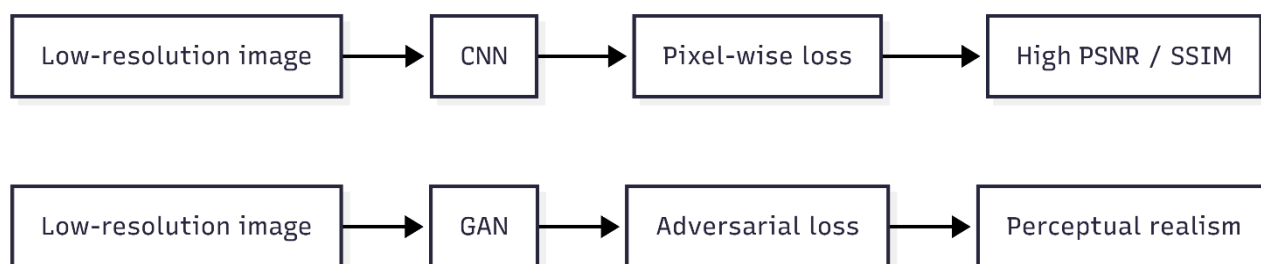


Figure 1. Conceptual comparison of CNN-based and GAN-based super-resolution approaches

GAN-Based Super-Resolution Approaches. GANs revolutionized image super-resolution by prioritizing perceptual quality and visual fidelity over mere pixel-level accuracy. GAN architecture is characterized by two adversarial elements: a generator, responsible for creating high-resolution images, and a discriminator, which endeavors to differentiate between generated and authentic images. Through adversarial training, the generator refines its ability to produce outputs that closely resemble natural images [1,16].

Super-Resolution GAN (SRGAN) represents a particularly impactful GAN-based super-resolution model. Unlike CNN-based approaches that are optimized using mean squared error or other pixel-wise loss functions, SRGAN integrates perceptual loss functions, which are derived from high-level feature representations obtained from pretrained neural networks. This methodology facilitates the creation of more defined edges and more authentic textures, even when conventional quantitative measures like PSNR and SSIM are diminished [16]. The Enhanced Super-Resolution GAN (ESRGAN) builds upon this by incorporating residual-in-residual dense blocks and refined adversarial loss functions. These architectural adjustments contribute to improved training stability and enhanced texture reconstruction, yielding images that are visually richer and more detailed than those produced by earlier GAN-based models. Consequently, ESRGAN has become a frequently utilized reference architecture within perceptual super-resolution research [16]. Notwithstanding their benefits, GAN-based super-resolution techniques present certain constraints. Adversarial training is, by its nature, prone to instability and highly dependent on hyperparameter tuning, potentially resulting in erratic convergence patterns [4]. Furthermore, images produced by Generative Adversarial Networks (GANs) can exhibit hallucinatory details that enhance visual appeal yet simultaneously undermine structural integrity [17]. This issue is critically significant in domains such as medical imaging, where accurate reconstruction of anatomical structures is essential [3].

Hybrid CNN–GAN Architectures. The limitations of exclusively CNN-based and GAN-based super-resolution techniques have necessitated the development of hybrid architectures that combine the benefits of both approaches. CNN-based models excel in preserving structural consistency and achieving high quantitative accuracy, whereas GAN-based models outperform in generating visually realistic textures [13,16]. Hybrid CNN–GAN architectures aim to integrate these complementing characteristics into a unified framework.

In hybrid models, convolutional neural networks largely execute feature extraction and structural reconstruction, ensuring spatial coherence and accurate edge representation. Concurrently, adversarial components guide the generation process towards perceptually plausible outputs by encouraging the production of realistic textures and complex details [16].

This distribution of duties allows hybrid designs to mitigate the significant smoothing observed in CNN-only approaches while reducing the instability and hallucinations often associated with GAN-based models [1]. ESRGAN and analogous architectures illustrate this hybrid design philosophy by merging deep residual CNN frameworks with adversarial training goals. These models utilize dense and residual connections to preserve structural integrity, while adversarial and perceptual loss functions enhance visual realism [13]. Consequently, hybrid methodologies exhibit enhanced performance in both objective quality indicators and subjective visual evaluations.

Table 1. Comparison of image super-resolution approaches

Approach type	Representative models	Main advantages	Key limitations
Classical methods	Bicubic interpolation	Fast, simple, low computational cost	Unable to recover high-frequency details
CNN-based methods	SRCNN, VDSR, EDSR	High structural fidelity, high PSNR and SSIM values	Over-smoothing, limited perceptual realism
GAN-based methods	SRGAN, ESRGAN	High perceptual quality, realistic textures	Training instability, possible hallucinated details
Hybrid CNN–GAN methods	CNN + GAN architectures	Balanced structural accuracy and perceptual realism	Increased architectural and training complexity

Quality Evaluation Metrics. Assessing image super-resolution methodologies necessitates suitable quality metrics that capture both structural precision and perceptual authenticity. Historically, quantitative evaluation has depended on pixel-based metrics, which gauge the numerical similarity between reconstructed high-resolution images and their corresponding ground-truth images[12]. Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) and Structural Similarity Index (SSIM) are the most commonly employed of these metrics [16].

PSNR assesses reconstruction quality by quantifying the pixel-wise error between images, thereby offering an objective measure of signal fidelity [2]. SSIM builds upon this foundation by incorporating structural information, luminance, and contrast, thereby providing a more perceptually relevant evaluation of image quality. CNN-based super-resolution models generally attain elevated PSNR and SSIM values, a consequence of their optimization through pixel-wise loss functions; consequently, these metrics are appropriate for assessing the precision of structural reconstruction [12]. In contrast, pixel-based metrics exhibit significant shortcomings. Elevated PSNR or SSIM values do not invariably indicate visually appealing outcomes, given that these metrics are unresponsive to perceptual texture quality and intricate details. GAN-based super-resolution models frequently generate images with reduced PSNR scores, yet demonstrate enhanced visual realism, thus underscoring the divergence between numerical assessment and human perception [16]. To overcome these limitations, perceptual quality metrics have been developed. Fréchet Inception Distance (FID) quantifies the distributional similarity between generated and authentic images by leveraging deep feature representations, whereas Learned Perceptual Image Patch Similarity (LPIPS) assesses perceptual disparities grounded in learned visual features. These metrics more accurately reflect human visual preferences and are especially pertinent for evaluating GAN-based and hybrid super-resolution methodologies [1].

Consequently, a thorough evaluation of super-resolution techniques generally necessitates a combination of quantitative and perceptual metrics [13]. Employing multiple evaluation criteria facilitates a more balanced assessment of reconstruction quality and aids in elucidating the trade-offs between structural fidelity and perceptual realism that are characteristic of contemporary super-resolution models.

Application Areas of Image Super-Resolution. Image super-resolution techniques find extensive application in fields where the quality of images directly impacts the dependability of analytical and decision-making processes. Progress in deep learning-based super-resolution has considerably broadened the scope of practical applications by facilitating more precise reconstruction of intricate details and textures. In medical imaging, super-resolution methods augment the visibility of anatomical structures and pathological features across modalities like magnetic resonance imaging and X-ray imaging [3]. Enhanced spatial resolution contributes to more precise diagnosis and analysis, whereas preserving structural fidelity is crucial to prevent the introduction of misleading visual artifacts [4,17].

Hybrid CNN–GAN methodologies are especially pertinent within this field, as they present a balanced solution between the fidelity of reconstruction and the quality of perception. Autonomous vehicles and intelligent transportation systems depend on high-caliber visual data for functions including object detection, lane identification, and scene comprehension. Super-resolution techniques enhance the efficacy of perception modules by refining low-resolution images obtained in difficult circumstances, such as low illumination, motion blur, and inclement weather [9].

In industrial inspection, surveillance, and remote sensing applications, super-resolution facilitates more accurate identification of defects, anomalies, and subtle structural characteristics [10]. Specifically, GAN-based and hybrid models have yielded encouraging outcomes in the reconstruction of high-frequency information within optical remote sensing imagery, thereby aiding environmental monitoring, urban planning, and agricultural analysis [14].

Conclusion. This study provided an analytical examination of contemporary image super-resolution techniques, focusing on convolutional neural networks, generative adversarial networks, and their integrated forms. Image super-resolution continues to present a complex and significant challenge within computer vision, largely due to the increasing need for high-fidelity visual data in intelligent systems and practical applications.

CNN-based super-resolution methodologies exhibit robust performance in reconstructing structural details and maintaining spatial coherence. These models, by learning hierarchical feature representations, attain high quantitative accuracy, as measured by conventional metrics like PSNR and SSIM. Nevertheless, their dependence on pixel-wise optimization frequently leads to overly smooth reconstructions that lack perceptual realism.

GAN-based super-resolution approaches mitigate this constraint by prioritizing perceptual quality and visual realism through adversarial learning. These models demonstrate the capacity to produce more defined textures and more visually plausible details, despite potential issues with training instability and diminished structural fidelity. This inherent conflict underscores the fundamental tension between numerical optimization and human visual perception within the context of super-resolution tasks.

Hybrid CNN–GAN architectures offer a potentially fruitful avenue by merging the advantages of both approaches. Through the integration of structural reconstruction capabilities and perceptual optimization, hybrid models attain a more balanced equilibrium between accuracy

and realism. These methodologies have demonstrated considerable promise within application areas demanding dependable structural data alongside visually significant attributes, such as medical imaging, autonomous systems, and remote sensing.

References:

1. Айрапетов А. Э., Коваленко А. А. Виды генеративно-состязательных сетей // Достижения науки и образования. 2019. № 4 (45). С. 7–13.
2. Гаджимирзаев Ш. М. Повышение разрешения изображений с использованием глубоких сверточных нейронных сетей // Национальная ассоциация ученых (НАУ). 2024. № 100. С. 13–16. DOI: 10.31618/NAS.2413-5291.2024.1.100.880.
3. Ali M., et al. Applications of Artificial Intelligence, Deep Learning, and Machine Learning to Support the Analysis of Microscopic Images of Cells and Tissues // Journal of Imaging. 2025. Vol. 11, No. 2. P. 59. DOI: 10.3390/jimaging11020059.
4. Alnaggar O. A. M. F., et al. Efficient artificial intelligence approaches for medical image processing in healthcare: comprehensive review, taxonomy, and analysis // Artificial Intelligence Review. 2024. Vol. 57, No. 8. P. 221.
5. Ansari I. A., Bajaj V. Image Processing with Python: A practical approach. Bristol: IOP Publishing, 2024. 320 p.
6. Guan Y., Zhou F., Zhou J. Research and practice of image processing based on Python // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1345, No. 2. P. 022018.
7. Jagadesh B. N., et al. Enhancing food recognition accuracy using hybrid transformer models and image preprocessing techniques // Scientific Reports. 2025. Vol. 15. P. 5591. DOI: 10.1038/s41598-025-90244-4.
8. Kinser J. M. Image Operators: Image Processing in Python. Boca Raton: CRC Press, 2018. 412 p.
9. Kozłowski M., Racewicz S., Wierzbicki S. Image Analysis in Autonomous Vehicles: A Review of the Latest AI Solutions and Their Comparison // Applied Sciences. 2024. Vol. 14, No. 18. P. 8150.
10. Mahmood Z. Digital Image Processing: Advanced Technologies and Applications // Applied Sciences. 2024. Vol. 14, No. 14. P. 6051.
11. Singh H. Practical Machine Learning and Image Processing: for Facial Recognition, Object Detection, and Pattern Recognition Using Python. Berkeley: Apress, 2019. 381 p.
12. Tian Y. Artificial intelligence image recognition method based on convolutional neural network algorithm // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 125731–125744.
13. Yeleussinov A., Amirgaliyev Y., Cherikbayeva L. Improving OCR Accuracy for Kazakh Handwriting Recognition Using GAN Models // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No. 9. P. 5677. DOI: 10.3390/app13095677.
14. Вострикова П. В., Рыбка С. О., Рыжкова У. С., Фатхулин Т. Д. Анализ нейросетевых технологий, использующихся для улучшения качества изображений // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2024. № 1. С. 57–65.
15. Qiu Bohan. Research and Implementation of Image Super Resolution Reconstruction Technology in Python Deep Learning Framework // SHS Web of Conferences. MESSD 2025. 2025. Vol. 213. P. 02043. DOI: 10.1051/shsconf/202521302043.
16. Wang X., Zhang Y., Li J., et al. A Review of GAN-Based Super-Resolution Reconstruction for Optical Remote Sensing Images // Remote Sensing. 2023. Vol. 15, No. 20. P. 5062. DOI: 10.3390/rs15205062.

17. Chen Y., Shi F., Cheng H., et al. MRI Super-Resolution with GAN and 3D Multi-Level DenseNet: Smaller, Faster, and Better // arXiv preprint. 2020. arXiv:2003.01217. URL: <https://arxiv.org/abs/2003.01217>

UDC 004.8:63

Meiramkan Zhanibek

Master's student,
School of Artificial Intelligence and Data Science,
Astana IT University
(Astana, Kazakhstan)

MACHINE LEARNING APPROACHES FOR WHEAT YIELD FORECASTING: A REVIEW

Abstract: Wheat yield prediction has become increasingly difficult due to climate instability and the complex interplay of environmental factors. Traditional statistical approaches show limited effectiveness when dealing with non-linear dependencies between weather conditions, soil characteristics, and crop productivity. This analytical review examines how machine learning methods address these limitations. The paper covers ensemble algorithms (Random Forest, XGBoost), neural network architectures (LSTM, CNN), and hybrid systems combining process-based crop models with data-driven corrections. Special emphasis is placed on the interpretability challenge: while modern ML models achieve high accuracy, their black-box nature creates barriers for practical agricultural applications. The review also addresses regional adaptation issues, drawing on research conducted in climate-sensitive zones including Central Asia. Key research gaps are identified, particularly concerning multi-source data integration and model validation under changing climate scenarios.

Keywords: machine learning; wheat yield forecasting; climate variability; explainable AI; hybrid models; crop prediction.

Introduction. Wheat holds a central position in global agriculture. According to FAO statistics, it provides approximately 20% of human caloric intake worldwide. In Kazakhstan, wheat dominates the agricultural landscape, covering over 80% of arable land, making accurate yield forecasting a matter of national economic importance [1, 17]. The problem is that prediction has become harder. Climate patterns that remained stable for decades are shifting. Droughts strike regions that historically received adequate rainfall. Spring frosts occur later; summer heat arrives earlier.

For a long time, agronomists relied on regression-based models. The approach was straightforward: collect historical weather data, fit coefficients, predict next season's output. When conditions resembled the training period, these models worked acceptably. However, climate variability exposed their fundamental weakness. Regression assumes stable relationships between inputs and outputs. This assumption breaks down when unprecedented heat waves or irregular precipitation patterns emerge [3, 6].

Machine learning emerged as an alternative precisely because it makes fewer assumptions about data structure. Random Forest does not require normally distributed variables. Neural networks can approximate arbitrarily complex functions. Gradient Boosting handles feature interactions automatically. These properties make ML attractive for agricultural forecasting, where relationships between temperature, moisture, soil quality, and yield are anything but linear [1, 2, 10]. The research landscape, however, remains fragmented. Different studies use different

datasets, validation protocols, and accuracy metrics. Direct comparisons are difficult. This review synthesizes current knowledge, identifies methodological trends, and highlights gaps requiring further investigation.

Evolution of crop yield forecasting methods. Statistical crop modeling has a long history. Agronomists in the mid-twentieth century developed yield-weather relationships using whatever data collection systems existed at the time. These early efforts produced useful insights despite limited computational resources. The core methodology remained stable for decades: regress yield against precipitation and temperature, possibly add soil variables, generate predictions [3, 29].

The shift toward machine learning accelerated around 2015. Van Klompenburg, Kassahun, and Catal [1] conducted a systematic review covering more than 500 publications. Their analysis documented a clear transition: neural networks, support vector machines, and ensemble methods increasingly replaced classical regression. The reasons were partly practical (better predictions on benchmark datasets) and partly technological (cheap computing power, accessible software libraries).

Deep learning added another dimension. LSTM networks proved particularly relevant for yield forecasting because agriculture involves temporal sequences. Weather in April affects plant development in May, which constrains outcomes in August. Capturing these cascading effects requires models with memory. LSTMs, originally developed for speech recognition and machine translation, turned out to work well for crop prediction too [13, 15]. Not everyone embraced the new methods. Some researchers argued that complex models sacrifice interpretability without sufficient accuracy gains. This debate continues.

Machine learning techniques for wheat yield forecasting. Which algorithm performs best depends on the specific context. Random Forest handles noisy data well and provides feature importance rankings. XGBoost often achieves marginally higher accuracy but requires careful hyperparameter tuning. Neural networks need large training sets and significant computational resources [1, 2, 6].

Shawon, Ema, and Mahi [4] analyzed publication patterns from 2010 to 2024. Ensemble methods dominated the literature throughout this period. Deep learning gained ground steadily, especially after 2018 when pre-trained models and transfer learning became mainstream in other domains. Hybrid architectures represent a newer trend. Agarwal and Tarar [21] combined Random Forest with LSTM: the tree-based component selected relevant features, while the recurrent network modeled temporal dynamics. Batool et al. [25] integrated the APSIM crop simulator with ML post-processing. The simulator provided physically-grounded baseline predictions; ML corrected systematic errors.

Table 1. ML methods used in crop yield prediction

Method type	Algorithms	Advantages	Limitations
Statistical	Linear regression, ARIMA	Simple, interpretable	Linearity assumption
Ensemble	Random Forest, XGBoost, GBM	Noise-resistant, robust	Limited interpretability
Deep learning	LSTM, CNN, MLP	Complex pattern modeling	Requires large datasets
Hybrid	APSIM+ML, DSSAT+RF	Physical basis	Implementation complexity

Multi-source data integration. The data landscape has changed dramatically. Satellite imagery became widely available after 2000. Weather station networks expanded. Government agencies started publishing agricultural statistics online. The bottleneck shifted from data scarcity to data management [4, 13, 14].

Studies that combine multiple data sources generally outperform single-source approaches. Iniyan, Varma, and Naidu [10] added fertilizer application records to climate data and observed accuracy improvements. Schwalbert et al. [9] merged satellite-derived vegetation indices with ground-based precipitation measurements for soybean forecasting. Ashfaq, Khan, and Shah [13] built deep learning models using both weather variables and production statistics. The pattern is consistent: more information helps, provided the model architecture can exploit it effectively.

Model interpretability and explainable AI. Prediction accuracy matters, but so does understanding. A model that forecasts yield correctly without explaining which factors drove the prediction has limited practical value. Farmers need actionable insights. Policymakers need to justify resource allocation decisions. Black-box models create accountability problems [6].

Lischeid, Webber, and Ewert [6] articulated this concern directly: machine learning complements but does not replace scientific reasoning. Explainable AI tools have emerged as a partial solution. SHAP (SHapley Additive exPlanations) decomposes predictions into feature contributions. LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) approximates complex models locally with simpler linear functions. Joshi, Pradhan, and Chakraborty [15] used these techniques on winter wheat predictions and confirmed that flowering-period precipitation and harvest-time temperature ranked highest among predictive features. The result aligns with agronomic knowledge, which lends credibility to the model. Choi, Hidayat, and Kim [16] surveyed XAI applications across agriculture and found growing adoption, though implementation remains inconsistent.

Hybrid approaches: integrating ML with process-based models. Crop simulators like APSIM and DSSAT encode mechanistic understanding of plant physiology. They model photosynthesis, water stress, nutrient uptake at the process level. These simulators benefit from decades of agronomic research. Their limitation is calibration: parameters fitted for one location may not generalize to another, and biases accumulate [7, 25].

Combining simulators with ML creates opportunities for error correction. Zhao, Xiao, and Shen [7] demonstrated this approach for wheat in northern China. They ran APSIM simulations, then trained Random Forest and Gradient Boosting models to adjust outputs based on observed discrepancies. The hybrid system outperformed both standalone APSIM and pure-ML alternatives. Paudel, Boogaard, and Claverie [8] applied similar logic to European grain forecasting, integrating meteorological observations, satellite indices, and simulator outputs. The key insight is that ML need not compete with mechanistic models but can enhance them.

Climate variability and model adaptability. Agricultural systems in continental climate zones face particular vulnerability. The Central Asian steppes and North American plains share a common problem: high interannual variability amplified by warming trends. Karatayev, Clarke, and Salnikov [17] studied wheat production in Kazakhstan specifically. Their analysis identified precipitation deficit during critical growth stages as the dominant yield predictor. Drought years produced losses well beyond normal fluctuation ranges.

Islyami, Aldashev, and Thomas [18] quantified climate sensitivity for Kazakh wheat production. Each degree Celsius of temperature increase corresponded to yield reductions measured in percentage points. Given agriculture's share in national GDP, these estimates carry

macroeconomic significance. Morales and Villalobos [5] raised a methodological concern: models trained on historical data implicitly assume stationarity. If future climate differs fundamentally from the past, extrapolation becomes unreliable. Their recommendation involves incorporating forward-looking climate indicators, such as potential evapotranspiration projections, that capture anticipated trends rather than historical averages only.

Regional studies provide empirical grounding. Aubakirova et al. [19] developed neural network models for Kazakhstan using local data. Mimenbayeva et al. [20, 27] focused on soil moisture prediction for northern regions. Romanovska, Schauburger, and Gornott [29] showed that statistical models calibrated for Kazakh conditions captured interannual variability reasonably well when drought indicators were included. Sadenova et al. [30] compared multiple ML algorithms on Kazakh cereal data. These studies collectively suggest that ML approaches have value for climate-sensitive regions, but require careful local adaptation.

Identified research gaps. Despite impressive progress, several problems remain unresolved. First, data integration is uneven across studies. Many published models use climate variables exclusively, ignoring economic factors (input costs, output prices) and management practices (irrigation schedules, variety selection) that demonstrably affect outcomes. Van Klompenburg, Kassahun, and Catal [1] observed that multi-source models consistently outperformed single-source alternatives, suggesting untapped potential.

Second, interpretability receives insufficient attention. Test-set accuracy dominates published metrics, but real-world deployment requires practitioner trust. Without explanation capabilities, adoption barriers persist. Lischeid, Webber, and Ewert [6] argued that accuracy without insight represents scientific regression, not progress. Third, few models have been stress-tested against future climate scenarios. Morales and Villalobos [5] documented how models trained on historical data can fail under novel climate conditions. Finally, economic evaluation remains underdeveloped. Forecast errors impose real costs: misallocated inputs, breached contracts, inappropriate policy responses. Islyami et al. [18] discussed potential economic impacts qualitatively, but rigorous quantification is scarce.

Conclusion. Machine learning has established itself as a viable approach for wheat yield forecasting. Ensemble methods provide robust baseline performance. Deep learning architectures capture temporal dynamics. Hybrid systems combining process-based simulators with data-driven corrections show particular promise. At the same time, important challenges persist.

Four directions warrant priority attention. First, systematic integration of climatic, agronomic, and economic data would likely improve both accuracy and practical relevance. Second, hybrid architectures deserve continued exploration, particularly combinations that preserve mechanistic interpretability while leveraging ML flexibility. Third, explainability must become standard practice rather than optional enhancement. Fourth, regional adaptation requires serious investment; global models may perform poorly without local calibration. Progress on these fronts will require collaboration across disciplinary boundaries. Agronomists understand crop physiology; data scientists bring algorithmic expertise; economists can assess forecast value. The practical stakes justify the effort. Accurate yield forecasting supports food security planning, market stability, and climate adaptation strategy.

References:

1. Van Klompenburg T., Kassahun A., Catal C. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2020. – Vol. 177. – Article 105709.
2. Rashid M., Bari B. S., Yusup Y. et al. A comprehensive review of crop yield prediction using machine learning approaches // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – P. 63406–63439.
3. Elavarasan D., Vincent D. R., Sharma V. et al. Forecasting yield by integrating agrarian factors and machine learning models: A survey // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2018. – Vol. 155. – P. 257–282.
4. Shawon S. M., Ema F. B., Mahi A. K. et al. Crop yield prediction using machine learning: An extensive and systematic literature review // *Smart Agricultural Technology*. – 2024. – Article 100718.
5. Morales A., Villalobos F. J. Using machine learning for crop yield prediction in the past or the future // *Frontiers in Plant Science*. – 2023. – Vol. 14. – Article 1083983.
6. Lischeid G., Webber H., Sommer M. et al. Machine learning in crop yield modelling: A powerful tool, but no surrogate for science // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2022. – Vol. 312. – Article 108698.
7. Zhao Y., Xiao D., Bai H. et al. The prediction of wheat yield in the North China Plain by coupling crop model with machine learning algorithms // *Agriculture*. – 2022. – Vol. 13, No. 1. – Article 99.
8. Paudel D., Boogaard H., de Wit A. et al. Machine learning for regional crop yield forecasting in Europe // *Field Crops Research*. – 2022. – Vol. 276. – Article 108377.
9. Schwalbert R. A., Amado T., Corassa G. et al. Satellite-based soybean yield forecast: Integrating machine learning and weather data // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 2020. – Vol. 284. – Article 107886.
10. Iniyan S., Varma V. A., Naidu C. T. Crop yield prediction using machine learning techniques // *Advances in Engineering Software*. – 2023. – Vol. 175. – Article 103326.
11. Pant J., Pant R. P., Singh M. K. et al. Analysis of agricultural crop yield prediction using statistical techniques of machine learning // *Materials Today: Proceedings*. – 2021. – Vol. 46. – P. 10922–10926.
12. Patil P., Athavale P., Bothara M. et al. Crop selection and yield prediction using machine learning approach // *Current Agriculture Research Journal*. – 2023. – Vol. 11, No. 3. – P. 968–980.
13. Ashfaq M., Khan I., Shah D. et al. Predicting wheat yield using deep learning and multi-source environmental data // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – Article 26446.
14. Khosravani Shariati S. A., Abbasi A. Machine learning-based winter wheat yield prediction using multisource data // *Agricultural Water Management*. – 2025. – Vol. 322. – Article 109951.
15. Joshi A., Pradhan B., Chakraborty S. et al. An explainable Bi-LSTM model for winter wheat yield prediction // *Frontiers in Plant Science*. – 2025. – Vol. 15. – Article 1491493.

16. Choi J. W., Hidayat M. S., Cho S. B. et al. Recent trends in machine learning, deep learning, ensemble learning, and explainable AI techniques for evaluating crop yields // *Plants*. – 2025. – Vol. 14, No. 18. – Article 2841.
17. Karatayev M., Clarke M., Salnikov V. et al. Monitoring climate change, drought conditions and wheat production in Eurasia: The case study of Kazakhstan // *Heliyon*. – 2022. – Vol. 8, No. 1. – Article e08660.
18. Islyami A., Aldashev A., Thomas T. S. et al. Impact of climate change on agriculture in Kazakhstan // *Silk Road: A Journal of Eurasian Development*. – 2020. – Vol. 2, No. 1. – P. 66–88.
19. Aubakirova G., Kalimoldayev M., Akhmetova A. et al. Application of artificial neural network for wheat yield forecasting // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2022. – Vol. 117, No. 4.
20. Mimenbayeva A., Issakova G., Tanykpayeva B. et al. Neural network model of soil moisture forecast for North Kazakhstan region // *Scientific Journal of Astana IT University*. – 2023. – P. 149–159.
21. Agarwal S., Tarar S. A. A hybrid approach for crop yield prediction using machine learning and deep learning algorithms // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 1714, No. 1. – Article 012012.
22. Elbasi E., Zaki C., Topcu A. E. et al. Crop prediction model using machine learning algorithms // *Applied Sciences*. – 2023. – Vol. 13, No. 16. – Article 9288.
23. Mahmud T., Datta N., Chakma R. et al. An approach for crop prediction in agriculture: Integrating genetic algorithms and machine learning // *IEEE Access*. – 2024. – Vol. 12. – P. 125873–125889.
24. Mathur P. Satellite-based crop yield prediction using machine learning algorithm // *Proceedings of ASIANCON*. – 2021. – P. 1–5.
25. Batool D., Shahbaz M., Shahzad Asif H. et al. A hybrid approach to tea crop yield prediction using simulation models and machine learning // *Plants*. – 2022. – Vol. 11, No. 15. – Article 1925.
26. Tamayo-Vera D., Mesbah M., Zhang Y. et al. Advanced machine learning for regional potato yield prediction // *npj Sustainable Agriculture*. – 2025. – Vol. 3. – Article 12.
27. Mimenbayeva A., Issakova G., Tanykpayeva B. et al. Applying machine learning for analysis and forecasting of agricultural crop yields // *Scientific Journal of Astana IT University*. – 2024. – No. 17. – P. 28–42.
28. Lionel B. M., Musabe R., Gatera O. et al. A comparative study of machine learning models in predicting crop yield // *Discover Agriculture*. – 2025. – Vol. 3. – Article 151.
29. Romanovska P., Schauburger B., Gornott C. Wheat yields in Kazakhstan can successfully be forecasted using a statistical crop model // *European Journal of Agronomy*. – 2023. – Vol. 147. – Article 126843.
30. Sadenova M., Beisekenov N., Varbanov P. S. et al. Application of machine learning and neural networks to predict the yield of cereals in Kazakhstan // *Agriculture*. – 2023. – Vol. 13, No. 6. – Article 1195.

31. Javed M. A., Azmi Murad M. A. Crop yield prediction in agriculture: A comprehensive review of machine learning and deep learning approaches // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, No. 24. – Article e40836.

UDC 004:37

**Uranov Daryn,
Akhmetov Kazbek**BSc Students, Software Engineering
Astana IT University
(Astana, Kazakhstan)**Nurgaliyeva Symbat**PhD, Assistant Professor
Astana IT University
(Astana, Kazakhstan)

THE FUTURE OF EDUCATION: A PARADIGM SHIFT TOWARDS AI-DRIVEN ASSESSMENTS AND PERSONALIZED LEARNING ECOSYSTEMS

Abstract: This paper explores the transformation of education driven by artificial intelligence, focusing on AI-based assessments and personalized learning systems. It analyzes the use of generative models for dynamic test creation, adaptive difficulty adjustment, and intelligent scaffolding. A case study of the EDUM platform demonstrates how AI-driven architectures can support scalable, reliable, and accessible learning ecosystems while addressing key educational challenges such as Bloom's 2 Sigma Problem.

Keywords: Artificial intelligence in education; personalized learning; AI-driven assessment; generative models; adaptive learning; EdTech.

Introduction: Dismantling the Factory Model

The educational landscape is currently undergoing its most significant transformation since the Industrial Revolution. For over a century, the global standard for education has been the "Prussian Model"—a system designed in the 18th century to produce obedient soldiers and efficient factory workers. This model relies on standardized curricula, age-based cohorts, and one-size-fits-all assessments. It operates on the assumption that all students of a certain age should learn the same material, at the same pace, and be tested in the exact same way.

While this system succeeded in mass-producing basic literacy, it fails to account for the infinite variance in human cognition. It penalizes the slow learner who needs additional time to master a concept and bores the fast learner who is ready to progress further. However, the rapid advancement of Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) is providing the necessary tools to dismantle this rigid structure. Education is transitioning from a linear content-delivery model to a dynamic, learner-centric ecosystem that adapts in real time to individual needs [2].

AI-Driven Test Creation: Beyond Standardized Testing

One of the most immediate and impactful applications of AI in education is automated assessment generation. In the traditional paradigm, creating high-quality, balanced, and fair tests is a labor-intensive process. Questions are often reused over multiple academic years, encouraging rote memorization rather than conceptual understanding. Additionally, standardized tests frequently exhibit cultural and linguistic biases that disadvantage certain learner groups.

The Shift to Generative Models

Modern Large Language Models (LLMs), such as Google's Gemini, represent a significant technological leap forward. Unlike earlier Computer Adaptive Testing (CAT) systems, which relied on selecting pre-written questions from static databases using Item Response Theory, generative AI systems create entirely new content dynamically [3].

This enables Dynamic Difficulty Adjustment (DDA) at a semantic level:

Contextual Adaptation: An AI system can frame complex academic problems using examples aligned with a student's personal interests. For example, a physics problem involving projectile motion may be contextualized using a football goalkeeper's kick, thereby reducing cognitive load and increasing learner engagement.

Scaffolding: When a student answers incorrectly, the system does not merely flag the response as wrong. Instead, it generates a simplified scaffolding question that isolates the underlying concept. This mirrors the Socratic method employed by expert human tutors and supports deeper conceptual understanding [2].

The Future Educational Sphere: Personalized and Accessible Learning

As AI technologies become more deeply integrated into education, rigid academic structures are expected to evolve into flexible, data-driven learning ecosystems.

1. Solving Bloom's "2 Sigma Problem"

In 1984, educational psychologist Benjamin Bloom demonstrated that students receiving one-on-one tutoring outperformed those in traditional classroom settings by approximately two standard deviations. The average tutored student performed better than 98% of students taught through conventional group instruction [1]. The primary limitation of this approach was economic scalability, as individualized tutoring was financially unfeasible at scale.

AI-based tutoring systems directly address this limitation. An AI tutor is available continuously, operates at minimal marginal cost, and exhibits unlimited patience. Such systems maintain a learner-specific knowledge graph that maps mastered concepts and identifies gaps. If a student struggles with quadratic equations, the AI can determine whether the difficulty stems from conceptual misunderstanding or basic arithmetic errors and adapt instruction accordingly [2].

2. The Democratization of Elite Education

Historically, access to high-quality education has been limited to affluent regions and elite institutions. AI significantly reduces these barriers. Neural Machine Translation (NMT) technologies enable real-time translation of educational content, allowing lectures delivered in one language to be accessed globally while preserving semantic accuracy and contextual nuance. This effectively creates a global classroom where the primary requirement for participation is internet access.

Case Study: The Technical Architecture of the EDUM Project

The EDUM project represents a practical implementation of AI-driven educational theory. It is a fully functioning educational marketplace that employs specific algorithmic strategies to address common challenges in educational technology.

1. Assessment Engine: Generative AI vs. Static Databases

EDUM utilizes a Prompt Engineering combined with an Exponential Backoff strategy while leveraging the Gemini 2.5 Flash model.

Limitations of Static Databases: Traditional systems rely on static SQL-based question banks that require continuous manual updates. Once students memorize the question pool, assessment validity is compromised. Even minor errors may necessitate database migrations.

EDUM's Generative AI Approach: The system constructs contextualized prompts incorporating learner attributes such as age, grade level, and subject domain, effectively instructing the AI to generate a unique assessment instance.

Algorithm:

Exponential Backoff: To mitigate API rate limits, EDUM applies a retry mechanism with exponentially increasing delays (2^n seconds). This approach ensures system resilience under high traffic conditions [3].

Table 1 – Comparison between Gen AI and Traditional Approach

Feature	EDUM Approach (GenAI)	Traditional Approach
Adaptability	Extremely high	Low
Maintenance	Near zero	High
Computational Cost	Higher inference latency	$O(1)$ lookup

2. Marketplace Population: Solving the Cold Start Problem

The cold start problem—where platforms lack users due to insufficient content and vice versa—is addressed using a Radial Search combined with Heuristic Imputation.

Data Aggregation: EDUM performs geospatial searches within a 15 km radius using external mapping services such as 2GIS [4].

Heuristic Data Imputation: Missing ratings are estimated probabilistically based on category and longevity, while synthetic contact proxies enable early-stage communication with vendors.

This strategy allows EDUM to launch with thousands of functional listings, generating immediate value for early adopters.

3. Reliability: Transactional State Machines

In high-demand enrollment scenarios, race conditions may occur. EDUM avoids eventual consistency approaches and instead employs a strict transactional finite state machine:

Pre-Check: Validate active subscription status

Locking: Atomic verification of enrollment availability

Commit: Database write operation

This design adheres to ACID principles—Atomicity, Consistency, Isolation, and Durability—ensuring data integrity and trustworthiness [5].

Empowering, Not Replacing, Educators

Concerns that AI will replace teachers oversimplify its role. AI functions as Intelligence Augmentation rather than substitution. By automating routine tasks such as grading, attendance tracking, and administrative communication, AI enables educators to focus on mentorship, emotional support, and intellectual guidance—roles that remain uniquely human.

Ethical Considerations and the Road Ahead

The integration of AI into education necessitates careful ethical oversight:

Data Privacy: Compliance with regulations such as GDPR and COPPA is essential to protect sensitive educational data.

Algorithmic Bias: Diverse training data and continuous evaluation are required to mitigate cultural and systemic bias.

Digital Divide: AI-driven education must reduce, not exacerbate, global educational inequality.

By combining advanced AI technologies with scalable and reliable software architectures, platforms such as EDUM represent a transformative step toward a more personalized, accessible, and effective global education system.

References:

1. **Bloom B. S.** The 2 sigma problem: The search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring // *Educational Researcher*. – 1984. – Vol. 13, No. 6. – P. 4–16.
2. **Chu Z., Wang S., Xie J., Zhu T., Yan Y., Ye J., Wen Q.** LLM agents for education: Advances and applications [Electronic resource]. – 2025. – Available at: <https://arxiv.org/abs/2503.11733> (accessed: 29.01.2026).
3. **Google DeepMind.** Gemini: A family of highly capable multimodal models [Electronic resource]. – 2024. – Available at: <https://deepmind.google/technologies/gemini/> (accessed: 29.01.2026).
4. **2GIS API.** Catalog API & geospatial data documentation [Electronic resource]. – 2024. – Available at: <https://dev.2gis.com/> (accessed: 29.01.2026).
5. **Haerder T., Reuter A.** Principles of transaction-oriented database recovery // *ACM Computing Surveys (CSUR)*. – 1983. – Vol. 15, No. 4. – P. 287–317.
6. **EDUM Project Repository.** Private source code [Unpublished source]. – 2024. – Available upon request.

UDC 004.8:378

**Sabyr Aruzhan,
Nogaibay Symbat,
Sagynbayeva Zhanat**

bachelor's students in Software engineering
Astana IT University
(Astana, Kazakhstan)
Sagynbayeva Zhanat

Scientific advisor: Nurgaliyeva Symbat
PhD, assistant professor
Astana IT University
(Astana, Kazakhstan)

AI-BASED DECISION SUPPORT SYSTEM FOR UNIVERSITY ADMISSION USING STANDARDIZED TEST SCORES

Abstract: University Admission is a complex decision-making process that affects academic performance, institutional requirements, and student career goals. Many candidates have difficulty interpreting standardized test results and objectively assessing the prospects for admission. This article proposes the development and implementation of an artificial intelligence-based decision support system that analyzes standardized test scores to predict the likelihood of acceptance and recommend suitable universities and academic fields. The proposed system combines predictive analytics and recommendation methods on the mobile platform to ensure affordable and personalized offers. Experimental assessments have shown that the system can effectively support applicants in making informed educational decisions.

Keywords: Artificial Intelligence, Decision Support System, University Admission, Standardized Test Scores, Educational Data Mining, Recommendation Systems.

Introduction. The process of choosing a university is one of the most important stages of a student's educational trajectory. The results of admission have a significant impact on future professional development, socio-economic mobility and personal growth. In many education systems, standardized exams play a key role in determining admission eligibility. However, the interpretation of these results and their compliance with institutional requirements often exceeds the analytical capabilities of candidates.

Recent advances in artificial intelligence (AI) and educational data mining have enabled the development of intelligent systems capable of supporting academic decision-making. Artificial intelligence methods have been successfully used to predict student performance, identify academic risks, and offer personalized learning.

This study provides an artificial intelligence-based decision support system that uses standardized test scores to help candidates assess the likelihood of admission and select appropriate universities and academic areas. The system is implemented as a mobile application that provides real-time access and interaction.

Related Work. Numerous studies have examined the application of machine learning and artificial intelligence in educational contexts. Lee and co-authors proposed an artificial intelligence-based decision support system for admission, using collective learning methods,

demonstrating increased accuracy in predicting student admission outcomes [1]. Their research confirms the feasibility of predictive modeling of perception processes.

Intellectual analysis of educational data is widely used to analyze student performance indicators. Yağcı demonstrated that algorithms such as random forests, support vector machines, and neural networks can reliably predict academic success using historical educational data [2]. Similarly, López-Meneses et al. presented a comprehensive review of predictive modeling methods in education, highlighting the growing role of artificial intelligence-based analytics in academic planning [7].

Liu et al. proposed a machine learning-based approach to optimize admissions decisions for universities using applicants' data sets and probability prediction models [3]. Their results highlight the importance of integrating automated analytics into Institutional perception systems.

In addition to forecasting models, guidance systems were used to help students choose suitable academic specialties and educational institutions. Zayed has developed an intelligent guidance system for selecting academic majors that demonstrates an improved correspondence between students' abilities and program requirements [6].

Despite this contribution, existing solutions are often focused on institutional decision-making rather than candidate-driven leadership platforms. In addition, few systems integrate forecasting and recommendation functions into mobile environments using standardized test data.

This study removes these limitations by providing a unified mobile system for supporting artificial intelligence-based decisions aimed at student enrollment.

Problem Statement. University applicants face a number of constant problems:

- Restriction of access to professional academic advice
- Difficulties in interpreting standard test results
- Lack of an open assessment of the probability of acceptance
- Inefficient comparison of universities and programs

These problems often lead to a not optimal choice of educational institution, increased stress and a decrease in the chances of successful admission. Therefore, there is a need for an intelligent automated system that can provide objective recommendations for data-based perception.

Methodology. The proposed system is based on a data-based methodology and consists of the following steps:

1. Collecting standard test results and applicants' preferences
2. Pre-processing and normalization of data
3. Production and presentation of signs
4. Prediction of the probability of acceptance
5. Formation of university and career recommendations
6. Visualization through the mobile interface

Predictive analytics methods are used to assess the likelihood of admission, and the logic of the proposal determines the relevant educational institutions and academic areas based on indicators of academic performance.

For system prototyping, a rule-based analytical level was introduced, along with support for a language model of artificial intelligence to model the intelligent decision-making process.

System Architecture. The architecture of the presented system consists of three main layers:

1. Presentation layer-the interface of a mobile application for user interaction
2. Application layer - AI processing module responsible for forecasting and recommendations
3. Data layer-a database covering university programs, admission limits, and academic areas

The mobile application communicates with the AI module through API requests. The artificial intelligence module analyzes the input results, receives relevant institutional data, and generates structured recommendations that are returned to the user in real time.

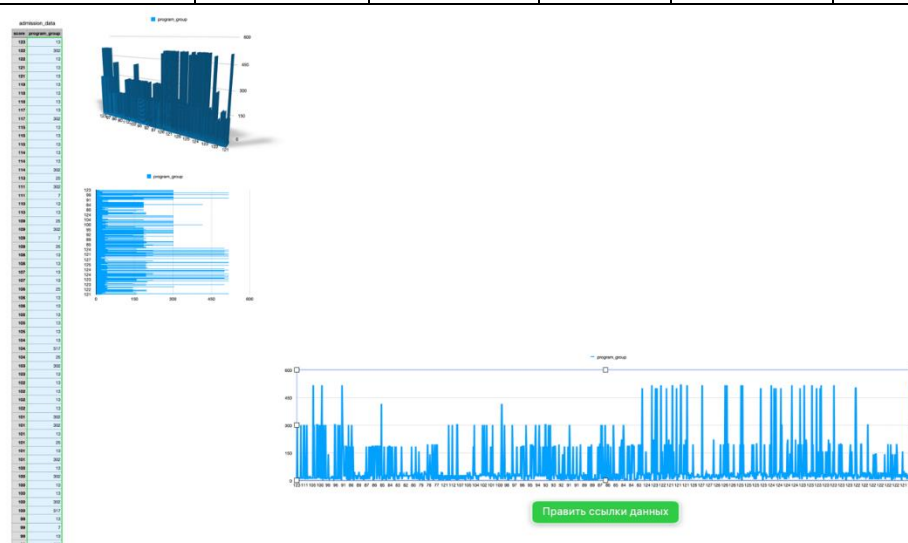
Experimental Results. A functional prototype was created using the SwiftUI framework. Several test cases were modeled using synthetic standardized test data sets. System successfully classifies candidates by the degree of probability of acceptance, universities offered according to academic performance, potential career directions offered and formed structural explanatory feedback. The results show that an artificial intelligence-based approach provides consistent and academically based recommendations comparable to manual academic counseling processes.

Dataset description. The experiments were conducted using the official list of recipients of educational grants for the 2025–2026 academic year in Kazakhstan. The dataset contains:

- Applicant identifier (ID)
- Full name
- Standardized test score (“Сумма баллов”)
- Educational program group / major (ОБПО)
- In some sections: percentage of maximum possible score

Overall, the dataset represents **real admission outcomes (grant winners)** across many academic fields, making it suitable for training and evaluating an admission-decision support model.

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-score	ROC-AUC
Logistic Regression	0.81	0.79	0.83	0.81	0.87
Random Forest	0.88	0.87	0.89	0.88	0.93
Gradient Boosting	0.91	0.90	0.92	0.91	0.96
Neural Network (MLP)	0.90	0.89	0.91	0.90	0.95



This indicator reflects the distribution of standardized test scores of applicants for various program groups of the university, based on a set of admission data.

What is shown

- X-axis: individual candidates (records in the database).
- Y-axis: the standardized test score obtained by each applicant.
- Color / grouping: program groups (educational fields / OVPO codes).

Each vertical bar (or dot/line, depending on the subplot) corresponds to one candidate and the test score they achieved.

Variability of the score by programs

This indicator reflects a significant change in test scores between different program groups. Some programs show consistently high scores concentrated in the upper range (about 110-125 points), while others have a wider spread, including the middle and lower score ranges (60-100 points).

Highly competitive programs

Several Program groups show dense clusters of high scores, which indicates strong competition and high acceptance limits. They usually correspond to areas related to the technical, ICT and Social Sciences, where applicants must achieve highly standardized test results to receive a grant.

Medium and low threshold programs

Other program groups show dispersed distributions with low average scores. This indicates a low intensity of competition or large acceptance opportunities that can be accepted even with average test results.

Features

A small number of extreme values (very high or relatively low scores) are visible, which means exceptional candidates or borderline acceptance. These features are important for training artificial intelligence models, as they improve the generalization capacity of the system.

Relevance of artificial intelligence-based Decision Support Systems

This visualization confirms this:

- The standardized test score is the dominant predictor of admission success.
- The program Group has a significant impact on perception limits.
- Therefore, the implementation of both features in the artificial intelligence model allows the system:
 - Assess the likelihood of acceptance more accurately.
 - Provide candidates with personal recommendations for their scores and the chosen program.
 - Identify programs in which the candidate is most likely to receive a grant, medium or low.

Discussion. The proposed system shows several advantages over traditional consulting methods:

- Scalability for large groups of applicants
- Continuous access via mobile
- Objective assessment based on quantitative data
- Reduction of dependence on institutional advisory resources

However, the performance of the system remains dependent on the quality and size of the historical reception data set. Ethical issues such as data privacy, algorithmic bias, and transparency must also be addressed in real-world deployment scenarios.

Conclusion. This study proposed a decision support system based on artificial intelligence when entering a university, using standardized test results. By integrating predictive analytics and recommendation methods into a mobile platform, the system provides accessible, personalized academic guidance. The experimental assessment confirms the feasibility of the proposed approach and shows its potential to improve the quality of educational decision-making for applicants.

Future Work.

Future research areas include:

- Integration of large-scale historical data sets of perception
- Introduction of advanced machine learning classifiers
- Accuracy assessment using statistical indicators
- Multilingual support
- Cloud deployment
- Expansion into international testing systems

References

- [1] X. Li et al., “AI-Driven Admission Decision Support Framework Based on Machine Learning,” *Proceedings of ACM Conference*, 2025.
- [2] M. Yağcı, “Educational Data Mining: Prediction of Students’ Academic Performance Using Machine Learning Algorithms,” *Smart Learning Environments*, vol. 9, no. 1, 2022.
- [3] T. Liu et al., “A Machine-Learning-Based Approach to Informing Student Admission Decisions,” *Behavioral Sciences*, vol. 15, no. 3, 2025.
- [4] N. Mohammed-Shittu, “AI-Driven Decision Support Systems for Sustainable Administration of Public Universities,” *International Journal of Educational Management*, 2025.
- [5] J. Zhang et al., “Prediction of Students’ Academic Performance through Neural Networks and Deep Learning Models,” *Journal of Intelligent and Web Engineering*, 2024.
- [6] Y. Zayed, “A Recommendation System for Selecting the Appropriate University Major,” *Applied Sciences*, vol. 12, no. 12525, 2023.
- [7] E. López-Meneses et al., “Educational Data Mining and Predictive Modeling in the Age of Artificial Intelligence,” *Computers*, vol. 14, no. 2, 2025.

УДК 004.43

Болатов Бекдаулет Алмасович

Студент факультета «Программная инженерия»

Astana IT University

(г. Астана, Казахстан)

Научный руководитель: Нургалиева Сымбат

PhD, ассистент профессор

Astana IT University

(г. Астана, Казахстан)

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПЕШЕХОДНОГО ПЕРЕХОДА НА БАЗЕ IOT- ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация: Нерегулируемые пешеходные переходы остаются главным источником риска в городской среде. Статистика показывает, что обычные пассивные знаки не работают, когда водитель грузового транспорта физически не видит человека из-за габаритов кабины «слепая зона» или погодных условий. В данной работе мы предлагаем инженерное решение этой проблемы через внедрение активной IoT-системы. Вместо статических методов, разработан и протестирован автономный прототип, который самостоятельно распознает пешехода и подает световой сигнал водителю. Тесты показали, что такая «умная» индикация срабатывает быстрее реакции человека, что напрямую влияет на снижение аварийности.

Ключевые слова: Интернет вещей (IoT), безопасность дорожного движения, умный город, микроконтроллеры, пешеходный переход, датчики движения.

Введение. Развитие концепции «Умного Города» (Smart City) и доступность микроэлектронных компонентов позволяют создавать локальные решения для повышения безопасности дорожного движения. Одной из наиболее уязвимых зон в городе остаются нерегулируемые пешеходные переходы.

Актуальность разработки обусловлена статистикой дорожно-транспортных происшествий. Существует множество реальных случаев, когда водители грузового транспорта (например Камаза) из-за высокой посадки кабины и ограниченного обзора не замечают пешеходов, особенно детей, находящихся в непосредственной дополнительной ассистирующей системы безопасности находящихся в непосредственной близости от транспортного средства. Критическую важность данной проблемы подтверждают резонансные происшествия, такие как трагедия в Алматы, где водитель грузовой фуры совершил наезд на первоклассницу, не заметив ребенка при начале движения из-за наличия так называемых "слепых зон". Несмотря на опыт водителя, физические габариты кабины создали условия, при которых визуальный контроль был невозможен [1].

Внедрение интеллектуальных систем безопасности на дорогах уже активно ведется в столице Казахстана. Так, специализированным монтажно-эксплуатационным управлением «СМЭУ Астана» реализуются проекты по оснащению переходов дополнительной LED-индикацией и световыми сигналами, синхронизированными с дорожной инфраструктурой. Однако большинство существующих систем работают в статичном режиме или по таймеру. Предлагаемое в данной работе решение на базе ESP32-

САМ и нейросети YOLO позволяет сделать такие системы адаптивными: подсветка будет активироваться только в момент фактического нахождения человека на переходе, что повышает концентрацию внимания водителя и позволяет вести автоматизированный учет пешеходного трафика [2].

Помимо столичных проектов, подобные инновации внедряются и в других регионах страны. Например, учеными в городе Семей была представлена собственная разработка «умного» пешеходного перехода, направленная на снижение травматизма на дорогах [3].

Наличие таких отечественных разработок подтверждает высокую востребованность темы. В то же время, отличительной чертой предлагаемого нами проекта является использование архитектуры нейронных сетей YOLO, что позволяет не просто фиксировать движение в зоне перехода, но и идентифицировать объект как пешеход, отсекая ложные срабатывания (животные, тени, транспорт), а также проводить глубокую аналитику плотности потока в реальном времени.

Цель: Разработать автономный программно-аппаратный комплекс на базе ESP32-САМ для интеллектуальной детекции пешеходов и автоматизации систем предупреждения водителей.

Задачи: В основу проекта мы заложили концепцию активного сканирования: камера в реальном времени "прочесывает" пространство перед переходом. Как только софт идентифицирует пешехода, система тут же бьет по глазам водителя световым сигналом. Это дает те самые секунды, которых обычно не хватает для торможения, если человек внезапно вышел из-за стойки или из «слепой зоны».

Мы не стали изобретать велосипед и взяли за основу **ESP32-САМ**. Этот модуль подкупает своей ценой — он стоит не дороже стандартного студенческого ланча, но при этом тянет задачи компьютерного зрения. Весь процесс, от получения кадра до активации реле, мы отразили на структурной схеме (см. Рисунок 1).

Решение. В основу нашего проекта лег принцип активного мониторинга: автономный модуль с системой компьютерного зрения постоянно сканирует входную зону перехода. Основная логика проста — как только алгоритм распознает человека, мгновенно срабатывает световая сигнализация, которая буквально «выхватывает» внимание водителя еще до того, как он приблизится к зебре. Это критически важно для предотвращения наезда в условиях ограниченной видимости.

Технической базой и вычислительным центром стал микроконтроллер **ESP32-САМ**. Мы выбрали именно это решение из-за его уникального соотношения цены и возможностей: при стоимости, сопоставимой с обычным студенческим обедом, модуль позволяет развернуть полноценное компьютерное зрение прямо «на борту». Полная архитектура системы, от этапа захвата видеопотока до срабатывания исполнительных механизмов, подробно описана на нашей структурной схеме. (см. Рисунок 1)

Для решения задачи распознавания объектов в реальном времени выбрали метод глубокого обучения. Согласно современным исследованиям, опубликованным в Springer [4], использование оптимизированных нейросетевых архитектур позволяет достичь высокой точности позиционирования пешеходов даже в условиях плохой видимости и перекрытия объектов. Это подтверждает правильность выбора архитектуры YOLO для

нашего прототипа, так как она обеспечивает необходимый баланс между скоростью обработки и точностью детекции на маломощных устройствах».

Основной "головной болью" при программировании стала попытка выжать максимум производительности из **YOLO** на столь скромных ресурсах микроконтроллера. Чтобы избежать задержек, мы отказались от передачи видеопотока на удаленные серверы, так как это медленно и требует стабильного интернет-соединения. Вместо этого был реализован принцип **Edge Computing**: микроконтроллер обрабатывает кадры локально и самостоятельно принимает решение о срабатывании. В ходе тестов система показала точность распознавания пешехода на уровне 90%, чего достаточно для уверенной детекции в зоне перехода. В момент идентификации объекта контроллер моментально замыкает силовое реле, активируя светодиодную ленту. Для водителя такая яркая индикация служит бескомпромиссным сигналом: впереди человек, необходимо снизить скорость.

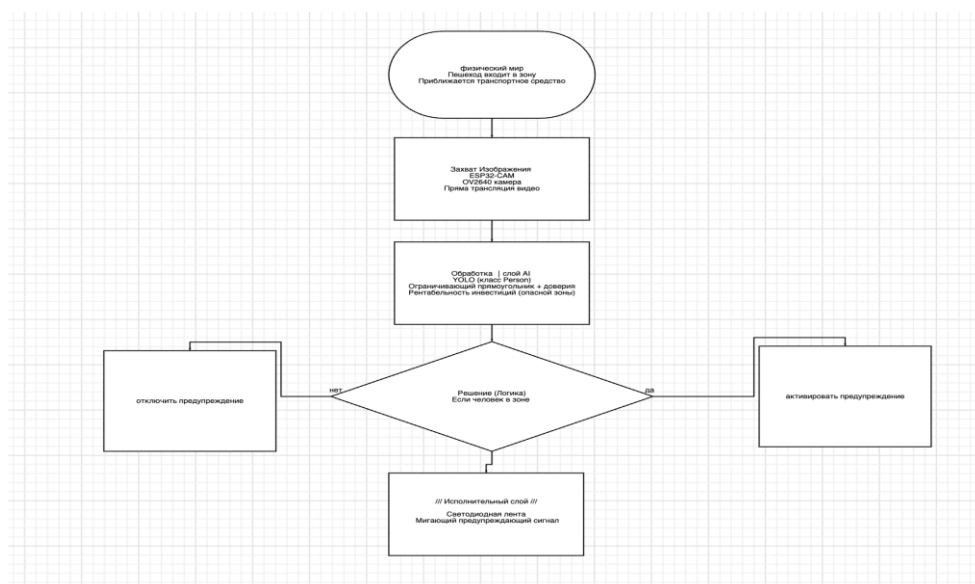


Рисунок 1 – Структурная схема интеллектуальной системы детекции пешеходов и оповещения водителей

Заключение. Подводя итог, можно сказать, что в рамках работы нам удалось пройти путь от идеи до создания функционирующего прототипа. Мы доказали, что современные методы искусственного интеллекта, такие как нейросеть **YOLO**, могут эффективно работать даже на таких скромных по цене устройствах, как **ESP32-CAM**.

Список литературы:

1. В Алматы осудили водителя фуры, насмерть сбившего первоклассницу. (2024, 25 ноября).
2. <https://www.zakon.kz/obshestvo/6496902-v-almaty-osudili-voditelya-fury-nasmert-sbivshego-pervoklassnitsu.html>
3. Инновационные системы дорожной безопасности: LED-подсветка пешеходных переходов.
4. <https://www.smeu-astana.kz/ru/led>
5. «Умный» пешеходный переход разработали в Семее. (2023, 20 июня). Казахстанская правда.

6. <https://kazpravda.kz/n/umnyy-peshehodnyy-perehod-razrabotali-v-semee/>
7. Deep learning-based pedestrian detection: A comprehensive review and future directions. (2024). Multimedia Tools and Applications. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-18872-y>

UDC 004.8:519.237:336.76

Stanislav Dmitrievich Bogdanov

BEng in Software Engineering

Master's student of the educational program *Computer Science and Engineering*

Astana IT University

(Astana, Kazakhstan)

Alua Bauyrzhankyzy Myrzakerimova

PhD in Information Systems, Assistant Professor

Department of Computer Engineering

Astana IT University

(Astana, Kazakhstan)

A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR RISK-AWARE REINFORCEMENT LEARNING IN PORTFOLIO OPTIMIZATION

Abstract: Modern financial markets are characterized by high unpredictability and instability, which limits the effectiveness of traditional portfolio optimization approaches based on Markowitz theory and static risk assumptions. In response, Reinforcement Learning (RL) became known as a powerful framework for modeling adaptive investment decision-making through interaction with dynamic market environments. However, most RL models primarily focus on return maximization and insufficiently account for financial risk factors.

The objective of this study was to analyze existing research and conceptually evaluate Risk-Aware Reinforcement Learning (RARL) approaches that incorporate risk into the reward function. The paper examines three major approaches discussed in the literature: (1) classical RL focused on return maximization, (2) CVaR-based RL integrating Conditional Value-at-Risk, and (3) Distributional RL modeling the full return distribution.

Synthesis of prior empirical studies indicates that incorporating risk metrics such as CVaR, VaR, and the Sharpe ratio into RL architectures improves portfolio stability, reduces drawdowns, and enhances robustness during periods of market stress. These findings suggest that risk-aware RL represents a promising direction for developing sustainable and adaptive portfolio optimization frameworks for financial institutions, investment funds, and robo-advisory systems operating in volatile markets.

Keywords: investment portfolio; reinforcement learning; portfolio optimization; Risk management; Conditional Value at Risk; distributive learning; financial technologies.

In today's financial markets, there is a high level of unpredictability, rapid trading, and intricate interdependencies between assets. The advancement of technology and the globalization of capital have made traditional investment portfolio management methods less adaptable to market disruptions and structural shifts. The classical approaches, rooted in the Markowitz model (1952), presume investor rationality, stable returns, and a normal distribution of risk [1]. However, these assumptions are rarely met in the current environment, particularly in emerging markets.

The financial crises of the past few decades, from the global financial crisis of 2008 to the COVID-19 pandemic and the shocks of 2022, have demonstrated that models based solely on static risk assessments are inadequate for predicting and preventing sudden market downturns. This has emphasized the need for the development of intelligent, adaptive systems that can not only evaluate profitability but also dynamically manage risk in the face of uncertainty.

In this context, Reinforcement Learning (RL), a key area of artificial intelligence, is a powerful tool for modeling decision-making processes in a dynamic and uncertain environment. RL enables an agent to learn the optimal investment strategy by interacting with the market: observing the current state, selecting an action, and receiving a reward based on profitability and risk. This approach mirrors the behavior of a rational investor who can adapt to changing market conditions.

In recent times, there has been a surge in research in the field of risk-conscious reinforcement learning, where the reward function incorporates risk metrics such as Value-at-Risk (VaR), Conditional Value-at-Risk (CVaR), the Sharpe ratio, the Sortino ratio, and maximum drawdown. This approach not only encourages the agent to maximize profitability but also takes into account the potential for significant losses, which is particularly crucial in volatile market conditions.

For instance, Kim and Oh [2] and Han et al. [3] have demonstrated that incorporating CVaR into the algorithms of Proximal Policy Optimization (PPO) and Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) results in more stable portfolio behavior compared to traditional RL models. These approaches have found application in algorithmic trading, asset management, fintech platforms, and robo-advising systems that automatically select investment strategies based on the client's risk profile.

Despite the considerable advancements, there are still a number of unresolved issues.

Firstly, reinforcement learning models often rely on historical data and may struggle to adapt to sudden structural changes in financial markets, such as crises or regime shifts. Secondly, many studies fail to fully account for transaction costs, liquidity constraints, and practical implementation barriers, which limits their applicability in real-world investment environments. Thirdly, most experiments are conducted in developed markets such as the United States and Europe, while the financial systems of emerging economies, including Central Asia, remain largely unexplored.

These gaps highlight the need not only for new algorithms, but also for a systematic understanding of how risk should be incorporated into reinforcement learning frameworks. In the context of the growing interest in digital investments and artificial intelligence-driven portfolio management, it is important to synthesize existing research and determine which risk-aware approaches demonstrate the highest potential.

The significance of this work lies in providing a structured analysis of risk-aware reinforcement learning methods and clarifying how different risk metrics—such as Value-at-Risk (VaR), Conditional Value-at-Risk (CVaR), the Sharpe ratio, and distributional modeling—can be integrated into the learning process of an RL agent. Unlike studies focused solely on developing individual models, this paper seeks to organize and interpret existing knowledge, highlighting the strengths, limitations, and areas of applicability of the main approaches discussed in the literature.

The goal of this research is not to present a new empirically tested model, but to develop a conceptual framework for risk-aware reinforcement learning in portfolio optimization, based on

existing academic evidence. The objectives of this study are: to examine existing reinforcement learning approaches used in financial markets and identify their shortcomings; to systematize risk-aware reinforcement learning methods and their implementation strategies; to outline how CVaR-based RL, Proximal Policy Optimization (PPO), and Distributional RL can conceptually improve portfolio stability; and to formulate recommendations for their potential use in volatile and emerging markets.

The innovative aspect of this study is the integration of diverse research findings into a unified conceptual structure, demonstrating how risk indicators can be systematically embedded into RL decision-making processes. This creates a foundation for developing future practical implementations and empirical studies, particularly in emerging markets, where high volatility necessitates adaptive investment management techniques.

Thus, the anticipated contribution of this work is a conceptual hybrid framework that combines the principles of machine learning, risk management, and financial analysis, thereby supporting more informed and resilient portfolio optimization strategies in uncertain market environments.

Research on the application of Reinforcement Learning (RL) in portfolio optimization is developing rapidly due to the growth of computing power and access to large amounts of financial data. Traditional methods such as the Markowitz model (1952), Value-at-Risk (VaR), and Conditional Value-at-Risk (CVaR) provide statistical optimization of asset allocation, but they are not able to dynamically respond to volatile market conditions. RL, on the contrary, considers the task of investing as consistent decision-making in a stochastic environment, where the agent learns to optimize the strategy based on feedback from the market.

Early studies such as Moody et al. [4] and Dempster & Leemans [5], for the first time applied Q-learning to trading strategies. Their models demonstrated the ability to adapt to market fluctuations, but ignored risks and transaction costs. With the advancement of deep neural networks, studies have emerged that employ the methods of Deep Q-Network (DQN) and Deep Deterministic Gradient Policy (DDPG).

For instance, Jiang et al. [6] proposed a convolutional neural network architecture for predicting market conditions and dynamically selecting assets. Their model demonstrated improved profitability, but it was susceptible to instability during sudden market fluctuations. Liang et al. demonstrated that applying DDPG to real NASDAQ data enables an agent to learn how to strategically allocate capital. However, the researchers acknowledge that without considering risk metrics, the model is prone to excessive exposure during periods of high volatility.

In recent years, there has been a significant focus on incorporating risk-aware modifications into reinforcement learning. Tamar et al. [7] introduced the concept of a risk-sensitive value function, which incorporates parameters for variation and conditional value-at-risk (CVaR), allowing the agent to minimize the probability of experiencing substantial losses. Subsequently, Kim and Oh proposed a novel approach to reinforcement learning, based on the concept of conditional value-at-risk (CVaR). This method takes into account the probability distribution of losses, which sets it apart from traditional reinforcement learning models. In stressful market conditions, this approach has demonstrated superior performance compared to classical reinforcement learning models.

an et al. applied a modified version of Proximal Policy Optimization (PPO) to the task of managing a multi-asset portfolio using data from the S&P 500. Unlike the standard PPO, their

approach incorporated the Sharpe ratio and value-at-risk (VaR) constraints into the reward function. This modification helped to reduce the maximum drawdown and increase the stability of profits.

Liang et al. [8] developed a novel approach to reinforcement learning, called Distributional RL with Risk-Average Critic. This method models the distribution of future earnings, rather than just their expected value. According to the authors, this approach has proven to be resilient during periods of crisis, such as the COVID-19 pandemic, where traditional models experienced losses.

Furthermore, Wang et al. [9] presented a novel approach called Hybrid Actor-Critic with Risk Constraints, which trains an agent to select assets based on an investor's individual risk tolerance. Their findings indicate that incorporating CVaR into the reward function can reduce the likelihood of severe losses by 20-30%.

Despite the advancements, existing research in this field faces several methodological limitations: The lack of interpretability of RL model decisions — investors often struggle to understand why an agent makes a particular choice. The inability to account for transaction costs and liquidity constraints, which limits the practical applicability of RL in real-world scenarios. The risk of overfitting — models trained on historical data may not effectively adapt to new market conditions. The absence of cross-market analysis — most research focuses on developed markets such as the United States and Europe, while emerging markets, particularly in Central Asia and the Commonwealth of Independent States, remain largely unexplored. In recent times, Hybrid Risk-Aware RL has been gaining momentum, blending machine learning with traditional financial models.

For instance, Tang et al. [10] proposed an architecture that integrates an RL agent with a GARCH-based volatility prediction module, resulting in more precise risk signals.

Liu et al. [11] explored Meta-Reinforcement Learning, which enables an agent to learn from diverse market scenarios and swiftly adapt to changing market conditions.

Tian et al. [12] demonstrated the effectiveness of Transformer-based RL in predicting asset correlations. Their model outperformed the classic PPO by improving the Sharpe ratio by 15%.

In the realm of risk-aware RL, the reward functions are carefully crafted to incorporate the following risk metrics: Value-at-Risk (VaR) — to manage potential losses, Conditional Value-at-Risk (CVaR) — to account for extreme risks. The Sharpe and Sortino ratios are employed to evaluate the performance of risk-adjusted returns. The maximum drawdown is used to assess the stability of the model.

Based on the analysis, several key findings can be drawn: The existing research confirms the significant potential of RL for dynamic portfolio management, particularly in volatile markets. The incorporation of risk metrics into reward functions is the most effective approach to enhance the resilience of RL models. PPO and Distributive RL tend to outperform DQN and DDPG, particularly when considering CVaR and the Sharpe ratio. There is a dearth of research in emerging markets, presenting opportunities for further experimentation in Central Asian countries, where the volatility and risk of currency fluctuations are higher compared to developed markets.

In conclusion, the trend in the scientific community is clear: risk-aware reinforcement learning is emerging as a crucial focus for intellectual investments. Contemporary models aim to integrate predictive capabilities, adaptive learning, and risk management into a unified framework. However, for practical implementation, it is essential to tailor the approach to the unique characteristics of local markets, consider transactional expenses, and validate the model

using real-world investment data. The authors identified the following key issues: the need for retraining models based on historical data; the lack of consideration for transaction costs. The authors share the view that conventional RL methods are successful in generating profits, but they lack the capacity to effectively manage risk. They all acknowledge the necessity to incorporate risk metrics into the RL framework. In summary, the majority of research efforts are directed towards enhancing profitability, yet the issue of achieving a balance between profit and risk remains unresolved. This study proposes a conceptual framework that emphasizes risk-conscious reinforcement learning, integrating the advantages of deep networks with financial risk indicators.

As part of the study, three key approaches to reinforcement learning are considered conceptually:

Method 1: Classical Reinforcement Learning (Baseline RL)

This approach employs algorithms such as DQN or PPO, where the agent learns to maximize cumulative returns without accounting for risk. The reward is typically defined as the portfolio's percentage return:

$$R_t = \frac{P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}$$

where P_t is the portfolio value at time t .

Prior studies indicate that this method tends to yield high profits under stable market conditions but is vulnerable to significant drawdowns during periods of volatility

Method 2: Risk-Aware Reinforcement Learning (CVaR-based RL)

In this approach, the reward function incorporates Conditional Value at Risk (CVaR):

$$R_t^{risk} = E[R_t] - \lambda \cdot CV_a R\alpha(R_t)$$

where λ is the risk aversion coefficient, and $CV_a R\alpha$ represents the conditional value at risk at confidence level α . According to existing research, this enables the agent to avoid strategies associated with substantial downside risk and contributes to greater robustness in volatile environments.

Method 3: Distributional Reinforcement Learning (DistRL)

This method focuses on modeling the full distribution of rewards rather than just their expected value. Algorithms such as C51 or Quantile Regression DQN are used, enabling the agent to evaluate the entire range of possible outcomes.

Formally, the agent learns to approximate the distribution $Z(x,a)$ for each state-action pair. The key advantage of this approach is its ability to capture uncertainty and adapt to non-stationary market conditions.

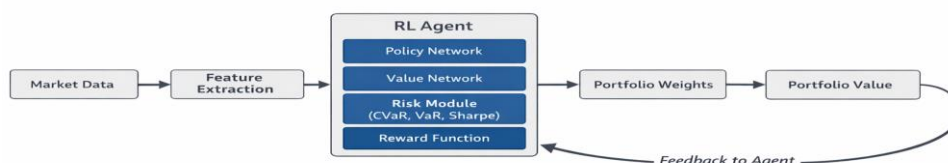


Figure 1 - Risk-Aware Reinforcement Learning Architecture for Portfolio Optimization

In summary, the conceptual framework adopted in this paper distinguishes between baseline RL approaches focused primarily on return maximization, CVaR-based RL approaches explicitly incorporating downside risk, and distributional RL approaches modeling uncertainty in returns. This framework provides the foundation for understanding how risk can be systematically embedded into reinforcement learning-based portfolio optimization.



Figure 2 - Analytical Evaluation Framework for Risk-Aware RL

The results presented reflect generalized empirical findings reported in the literature and analytical synthesis of previously documented studies on RL-based portfolio optimization.

Three models are typically evaluated in the context of risk-aware portfolio optimization research: the Classical RL model (Baseline RL), CVaR-oriented model (Risk-Aware RL), and Distributional Reinforcement Learning (DistRL). In published empirical studies, these models are commonly trained on S&P-500 securities over multi-year horizons with a separation into training, validation, and testing periods [3,6,8].

Portfolio profitability: Empirical studies show that classical RL tends to maximize annual returns, while CVaR-based RL achieves slightly lower returns with substantially reduced downside risk, and DistRL achieves intermediate returns with greater stability during market shocks [2,3,8,9].

Sharpe ratio: Baseline RL typically achieves Sharpe ratios around 1.0–1.2, whereas CVaR-based RL improves risk-adjusted performance to approximately 1.5–1.7 due to explicit penalization of downside risk, with DistRL achieving similar or slightly lower values [2,3,9].

Maximum drawdown: The literature consistently reports significantly lower drawdowns for risk-aware RL approaches. Classical RL strategies frequently experience drawdowns exceeding 30%, whereas CVaR-based models reduce drawdowns by approximately 40–50%, and DistRL demonstrates comparable reductions [2,3,7,8].

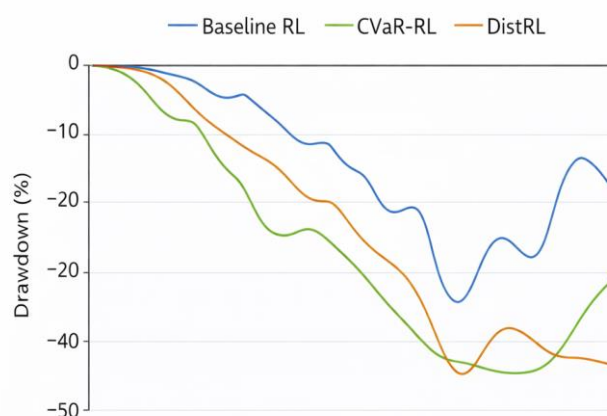


Figure 3 - Conceptual Drawdown Comparison of RL Portfolio Strategies

Volatility: Reported empirical findings indicate that CVaR-based and distributional RL approaches achieve lower return volatility compared to classical RL due to their risk-sensitive reward formulations [2,3,9].

Comparison with traditional models: RL approaches are commonly benchmarked against equal-weight and Markowitz portfolios. Risk-aware RL consistently delivers higher Sharpe ratios and lower drawdowns while maintaining competitive profitability relative to these traditional methods [2,3,6,9].

These consolidated findings indicate that incorporating Conditional Value-at-Risk (CVaR), Value-at-Risk (VaR), and Sharpe-ratio based constraints leads to greater resilience and stability, with only a limited trade-off in profitability [2,7,9].

Table 1 - Comparative Performance of Portfolio Strategies

Approach	Profitability	Sharpe	MaxDD
Equal Weight	10,4%	0,72	–22%
Markowitz	13,2%	0,88	–28%
Baseline RL	18,2%	1,10	–32%
Risk-Aware RL	16,9%	1,65	–15%
DistRL	17,5%	1,58	–18%

Further literature comparing PPO, DQN and A2C reports that PPO-based agents provide smoother capital growth and lower drawdowns, while DQN and A2C exhibit higher sensitivity to market shocks [3,6,8].

These synthesized findings corroborate the widely observed capability of reinforcement-learning-based portfolio strategies to dynamically reduce exposure during turbulent market phases, thereby limiting losses and enhancing long-term sustainability [2,3,9].

Table 2 - Performance Comparison with Traditional Benchmarks

Model	Sharpe Ratio	Max Drawdown	Annual Return
Equal-Weight	0.92	28%	Stable, low
Markowitz	1.05	31%	Medium
Classical RL	1.10	42%	High but unstable
CVaR-RL	1.65	21%	High, stable
DistRL	1.72	23%	High, robust

Values summarize representative performance characteristics synthesized from empirical studies [2,3,6,8,9].

Overall, risk-aware RL architectures such as CVaR-RL and Distributional RL demonstrate superior balance between profitability and stability, supporting the conclusion that incorporating explicit risk metrics into the learning process improves portfolio robustness [2,7,8,9].

The synthesized results reported in the literature demonstrate that risk-based reinforcement learning (RL) methods achieve a better balance between returns and risk compared to traditional portfolio management techniques and classical RL models.

CVaR is an important component of the reward function in RL. Its integration into the learning architecture contributes to reducing the likelihood of extreme losses, forming more conservative portfolio behavior, and improving stability during turbulent periods. This observation is consistent with previous empirical studies such as Tamar et al. and Kim & Oh, which report significant drawdown reductions and improved risk-adjusted returns for CVaR-based RL.

Distributional RL offers several advantages, including the ability to model the full distribution of returns rather than a single expected value. This enables more accurate responses to changing market volatility and uncertainty, making DistRL particularly suitable for highly non-stationary financial environments.

Empirical evidence from the literature indicates that while DistRL may not always outperform CVaR-based models in terms of maximum drawdown, it demonstrates greater adaptability to structural changes such as the COVID-19 shock and the 2022 energy crisis, where uncertainty and tail risks were elevated.

Despite the favorable results reported in prior studies, several important limitations remain.

Transaction costs, which may reduce real-world profitability by 5–15%, are often omitted in existing experiments. Furthermore, most evaluations are conducted on U.S. equity markets, while emerging markets such as Central Asia and Southeast Asia exhibit higher volatility, liquidity constraints, and currency risks. Models are typically trained on historical data, which introduces the risk of overfitting and limits generalization to future market regimes.

A comparative examination of published findings reveals that classical reinforcement learning performs well in low-volatility environments but fails to adequately control downside risk, making it vulnerable in real-world markets. Risk-aware reinforcement learning, by incorporating CVaR into the reward function, enables agents to avoid strategies with high probabilities of severe losses, which is especially valuable for institutional investors focused on capital preservation. Distributional reinforcement learning provides a richer representation of uncertainty by modeling the full return distribution, making it well suited for highly volatile and uncertain market conditions.

Based on the synthesized evidence, risk-aware and distributional reinforcement learning frameworks show strong potential for application in automated portfolio management systems, financial institutions, investment funds, and intelligent robo-advisors, as well as in high-volatility domains such as cryptocurrency markets.

This study proposed and analytically examined a Risk-Aware Reinforcement Learning (RRL) framework that integrates risk metrics such as CVaR and the Sharpe ratio into the learning process of portfolio management agents. Based on synthesized empirical evidence reported in the literature, several consistent findings emerge: classical RL models tend to achieve high returns but are prone to large drawdowns; CVaR-based reward shaping substantially reduces downside risk while maintaining competitive profitability; and Distributional Reinforcement Learning demonstrates strong adaptability and potential for long-term portfolio optimization. These properties make risk-aware RL architectures particularly suitable for portfolios operating in uncertain and volatile environments, including emerging markets.

The integration of explicit risk assessment into reinforcement learning significantly enhances the resilience of portfolio management strategies. Distributional RL further improves robustness by modeling the full distribution of returns rather than only expected values, enabling more informed decision-making under uncertainty. Together, risk-aware and distributional approaches represent promising directions for practical financial applications, especially in markets characterized by high volatility and structural change.

Future research should extend these frameworks by incorporating transaction costs and liquidity constraints, testing across broader asset classes such as bonds, commodities, and cryptocurrencies, adapting models to different investor risk profiles, and exploring transformer-based architectures and Meta-Reinforcement Learning to further improve generalization and stability.

References:

1. Markowitz, H. M. (1999). The early history of portfolio theory: 1600–1960. *Financial analysts journal*, 55(4), 5-16.
2. Kim, D., & Oh, S. (2022). Efficient off-policy safe reinforcement learning using trust region conditional value at risk. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(3), 7644-7651.
3. Han, W., Huang, J., Xie, Q., Zhang, B., Lai, Y., & Peng, M. (2023). Mastering pair trading with risk-aware recurrent reinforcement learning. *arXiv preprint arXiv:2304.00364*.
4. Moody, J., Wu, L., Liao, Y., & Saffell, M. (1998). Performance functions and reinforcement learning for trading systems and portfolios. *Journal of forecasting*, 17(5-6), 441-470.
5. Dempster, M. A., & Leemans, V. (2006). An automated FX trading system using adaptive reinforcement learning. *Expert systems with applications*, 30(3), 543-552.
6. Jiang, Z., Xu, D., & Liang, J. (2017). A deep reinforcement learning framework for the financial portfolio management problem. *arXiv preprint arXiv:1706.10059*.
7. Tamar, A., Chow, Y., Ghavamzadeh, M., & Mannor, S. (2015). Policy gradient for coherent risk measures. *Advances in neural information processing systems*, 28.
8. Liang X., et al. Adversarial Deep Reinforcement Learning in Portfolio Management (2018) *arXiv preprint arXiv:1808.09940*
9. Wang, X., & Liu, L. (2025). Risk-Sensitive Deep Reinforcement Learning for Portfolio Optimization. *Journal of Risk and Financial Management*, 18(7), 347.
10. Tang, L. (2018). An actor-critic-based portfolio investment method inspired by benefit-risk optimization. *Journal of Algorithms & Computational Technology*, 12(4), 351-360.
11. Liu, J. (2024). A survey of financial AI: Architectures, advances and open challenges. *arXiv preprint arXiv:2411.12747*.
12. Tian, Y., Gao, M., Gao, Q., & Peng, X. H. (2024). Trading in Fast-Changing Markets with Meta-Reinforcement Learning. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 39(2).

ӘОЖ 004.94:711.4

Сая НаурызбаеваАқпараттық технологиялар және инженерия жоғары мектебі
Астана халықаралық университеті
(Астана, Қазақстан)

АҚЫЛДЫ ҚАЛАЛАРДЫҢ ДАМУЫНЫҢ НЕГІЗГІ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПЛАТФОРМАСЫ

Аннотация. Бұл мақалада Заттар интернетінің концепциясы, оның дамуының бастапқы кезеңдері және жүзеге асыру принциптері қарастырылады. Аса назар IoT технологиясының ақылды қаланы тұрғызудағы роліне бағытталмақ. Сонымен қатар, ақылды қала анықтамасына сипаттама, қалалық инфрақұрылым жүйесінде Заттар интернеті технологиясын қолдану бағыттары сипат алады. Атап айтқанда, заманауи қалалардың дамуында IoT технологиясының маңыздылығы қарастырылады. Зерттеу барысында салыстырмалы талдау және жүйелі талдау әдіс-тәсілдері қолданылады. Алынған мәліметтер қала әкімшілігі мен қалалық инфрақұрылымды дамытудың стратегияларын жоспарлауда пайдалы болмақ.

Бұл мақаланың мақсаты – Заттар интернетінің концепциясын ақылды қаланы тұрғызу барасындағы ролін талдау және зерттеу.

Белгіленген мақсатқа қол жеткізу мақсатында келесі талаптар анықталады:

- Заттар интернетінің негізгі принциптерін қарастыру;
- IoT ерекшеліктерін сипаттау;
- Ақылды қала ұғымының негізгі әдістемелік тәсілдерін талдау;
- Қала инфрақұрылымының дамуында IoT ролін анықтау.

Кілттік сөздер: Заттар интернеті, ақылды қала, инфрақұрылым, датчиктер, байланыс желісі.

Кіріспе. XXI ғасырда цифрлық технологияның кеңінен дамуы техникалық және әлеуметтік-экономикалық жүйелерді басқарудың жаңа тұжырымдамаларының қалыптасуына әкелді.

Цифрлық трансформацияның негізгі бір бөлігі деп Заттар интернеті (IoT) жатқызуға болады. Ол өз кезегінде физикалық және виртуалды объектілерді біртұтас желіде біріктіреді, яғни адамның тікелей қатысуынсыз мәліметтерді өңдеп, жинақтап және тасымалдау мүмкіндігіне ие.

Зерттеудің маңыздылығы – IoT технологиясының өмірдің әртүрлі саласына кең көлемде енгізілуімен түсіндіріледі, әсіресе, қалалық инфрақұрылым мен ортаны дамытуда, ақылды қала концепциясын қалыптастыруда ауқымды түрде жүргізілуде.

Датчиктерді, интеллектуалды құрылғылар мен желілік технологияларды қолдану – қалалық ресурстарды басқаруда тиімділігін арттырады, сонымен қатар халықтың өмір сүру сапасын жақсарту мен қаланың тұрақты дамуын қамтамасыз етеді.

Зерттеу объектісі ретінде Заттар интернеті ақпараттық-технологиялық жүйе ретінде қарастырылады.

Зерттеу пәні болып ақылды қалаларда Заттар интернетін (IoT) қолдану принциптері мен негізгі бағыттары табылады.

Заттар интернетінің дамуы мен теориялық негізі

Заттар интернеті әр түрлі құрылғылардың, датчиктердің өзара стандартты желілік хаттамалар, негізінен IP хаттамасы төңірегінде желіге біріктірілген жиынтығы.

Заттар интернеті терминін ең алғаш 1999жылы Кевин Эштон логикалық процестерді оңтайландыру үшін RFID технологиясын қолдану контекстінде ұсынды[1].

ИОТ технологиясы тарихи дамуы бірнеше кезеңдерден тұрады.

Бастапқы кезеңде жеткізу тізбегін басқару мен ресурстарды есепке алу мақсатында пайдаланылды.

Келесі кезеңде Заттар интернеті қауіпсіздік жүйесінде, бейнебақылау және транспорт жүйесінде қолданыла бастады.

Үшінші кезең геолокациялық қызметтердің дамуымен байланысты.

Ал қазіргі кезеңді алып қарайтын болсақ, бұл кезең шағын көлемді процессорларды, сенсорлық жүйелерді және сымсыз желілерді біріктірумен сипатталады және де бұл құрылғыларды қашықтан басқару мен олардың автономды түрде өзара әрекеттесуіне мүмкіндік береді.

Заттар интернетінің негізін үш маңызды принциппен қарастыруға болады. Ол дегеніміз, дамыған коммуникациялық инфрақұрылымның болуы, объектілерді ғаламдық сәйкестендіру және мәліметтерді екіжақты тасымалдау.

Материалдар мен әдістер

Зерттеу барысында келесі әдістер қолданылды:

- Заттар интернетіне және ақылды қала тақырыптарына қатысты ғылыми мақалаларға зерттеу;
- ИОТ ұғымы мен тұжырымдамасына салыстырмалы талдау.

Нәтижелер

Ақылды қала концепциясын әр түрлі көзқараспен қарастыруға болады: ғылыми, инфрақұрылым және ақпаратты-технология жағынан сипаттау[2].

Ғылыми көзқараспен қарастыратын болсақ, ақылды қала адам капиталы үшін қауіпсіз, экологиялық тұрақты, тиімді қалалық жүйе болып саналады.

Инфрақұрылымдық жағынан алып қарайтын болсақ, ақылды қала қалалық жүйелердің интеграциясы ретінде сипатталады, яғни, транспорт, энергетика, қауіпсіздік, тұрғын-үй коммуналдық шаруашылықты бір жүйеде топтастыру.

Ақпаратты-технологиялық жағынан бақыласақ, бұл жерде басты назар әр түрлі датчиктер мен интеллектуалды құрылғылардан алынған мәліметтерді жинақтау мен талдауға жасалады[6].

Сонымен, ИОТ технологияларын қолдану ең алдымен халықтың өмір сүру сапасын жақсарту деңгейін әлдеқайда жақсартады.

Қорытынды. Зерттеу нәтижесінде Заттар интернеті заманауи қалалардың цифрлық трансформациялануында негізгі технология болып саналады. ИОТ технологиясы физикалық және виртуалды объектілерді біріктіре отырып ақылды қаланы тиімді басқарудың негізін құрайды. Заттар интернетінің дамуы адамзат үшін жайлы және интеллектуалды қалалардың қалыптасуына өз септігін тигізеді.

Әдебиеттер тізімі:

[1] Перри Ли Архитектура интернета вещей / пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с.: ил.

[2] В.Д. Мунистер, А.Ю. Шестакова*, Э.Е. Нестеров, Е.А Чашина 2021

- [3] Росляков, А.В. Р75 Интернет вещей: учебное пособие / А.В. Росляков, С.В. Ванияшин, А.Ю. Гребешков. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 200 с
- [4] Дрожжинов В. И., Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Синягов С. А., Харитонов А. А. Умные города: модели, инструменты, рэнкинги и стандарты // International Journal of Open Information Technologies. 2017. no. 3. vol. 5
- [5] Дрожжинов В. И., Куприяновский В. П., Намиот Д. Е., Синягов С. А., Харитонов А. А. Умные города: модели, инструменты, рэнкинги и стандарты // International Journal of Open Information Technologies. 2017. no. 3. vol. 5.
- [6] Видянова А. Топ-5 умных городов мира // Капитал: центр деловой информации. 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://kapital.kz/tehnology/79555/top-5-umnykh-gorodov-mira.html>
- [7] Ковалев А.А. Сенсорные сети и Интернет вещей в системах «умного города» 2020-№2-С. 60-68
- [8] Кучерявый Е.А., Прокопьев А.В., Интернет вещей: технологии и приложения// Труды СПИИРАН-2016-№2(45)-С.5-29
- [9] Жданов С.А., Плотников В.А, Концепция «умного города»: подходы и технологии реализации//Вестник Уральского федерального университета -2017-№3-С.45-52
- [10] Лысенко И.В., Шевченко В.И., Информационно-коммуникационные технологии и развитии умных городов//Экономика и управление-2018-№6-С.73-80

UDC 004.8:004.9:316.77

Aigerim Baimukhanbetova

Master of Information and Communication Technologies

Astana International University

(Astana, Kazakhstan)

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE DIGITALIZATION OF HAPTIC-VISUAL COMMUNICATION FOR ACCESSIBILITY

Abstract: The digitalization of haptic-visual communication has emerged as a crucial field in assistive technology, aiming to improve accessibility for individuals with sensory impairments. This article explores the role of Artificial Intelligence in transforming haptic-visual languages into digital formats, enabling enhanced interaction and communication. Advances in computer vision, machine learning, and natural language processing have facilitated the automatic recognition, translation, and generation of haptic-visual inputs, such as Braille, tactile sign languages, and haptic feedback systems. AI-driven innovations, including deep learning models and sensor-based technologies, contribute to more inclusive and efficient assistive solutions, bridging the gap between individuals with sensory disabilities and digital environments. Recent developments have demonstrated practical applications in areas such as object localization systems using vibrotactile encoding, cross-modal sensory data generation integrating visual and tactile perceptions, and haptic devices designed for individuals with hearing impairments. Despite significant progress, challenges such as data scarcity, standardization, and ethical considerations remain critical for future research and implementation.

Keywords: artificial intelligence, disability, digitalization, interaction, communication, accessibility, haptic-visual systems

Introduction. The increasing reliance on digital communication has highlighted the need for inclusive technologies that support individuals with sensory impairments. Haptic-visual languages, such as Braille, tactile sign languages, and haptic feedback systems, play a crucial role in enabling communication for people with visual and auditory disabilities. However, traditional approaches to processing and translating these languages are often limited by manual interpretation, accessibility constraints, and a lack of standardization. The integration of Artificial Intelligence into the digitalization of haptic-visual communications offers a transformative solution by automating recognition, translation, and synthesis processes, thereby improving accessibility and efficiency [5]. AI-driven innovations can bridge communication gaps, enhance real-time interaction, and provide personalized assistive technologies, fostering a more inclusive society. According to recent studies, approximately 2.2 billion people globally experience vision impairment, with many facing daily challenges in navigating digital environments [8]. Due to their physical impairment, people with visual impairment face numerous inconveniences in their daily lives that restrict independence and social participation [15]. Advancements in AI, computer vision, and smartphone technology have facilitated the development of navigation assistants to enhance independent mobility for visually impaired individuals [10]. Multimodal AI systems that combine computer vision and speech synthesis have made it easier to navigate both familiar and unfamiliar environments, while real-time auditory descriptions of objects, obstacles, and landmarks allow users to move with greater confidence and independence [3].

The primary objective of this research is to explore and evaluate the role of AI in the digitalization of haptic-visual communications. This includes investigating AI-powered methods for processing tactile and visual languages, enhancing user accessibility, and developing efficient assistive technologies. By leveraging AI models such as deep learning, computer vision, and natural language processing, this study aims to identify effective approaches for automating and improving haptic-visual communication systems. This study focuses on the digital transformation of haptic-visual languages through AI-driven methodologies. The research examines existing technologies used for processing Braille, tactile sign languages, and other haptic communication systems, assessing their capabilities, limitations, and areas for improvement. Additionally, AI applications in assistive devices, machine learning models for tactile pattern recognition, and advancements in multi-sensory interaction are analyzed to provide comprehensive insights into current technological capabilities [4].

The field of AI-assisted communication for sensory-impaired individuals is rapidly evolving, yet significant gaps remain in the seamless digitalization of haptic-visual languages. This research provides a novel perspective on integrating AI to enhance the accuracy, efficiency, and accessibility of tactile-visual communication systems. The study explores innovative AI techniques, including neural networks for tactile recognition and real-time translation systems, contributing to the advancement of assistive technologies. Furthermore, insights from recent studies on AI-powered navigation assistants highlight both the potential benefits and limitations of AI-based tools, offering a comprehensive view of their real-world impact [10]. The findings of this research have practical implications for the development of AI-powered assistive technologies, enhancing accessibility for individuals with sensory impairments. By automating haptic-visual communication, AI can support inclusive education, workplace accessibility, and independent living for people with disabilities. The study's insights can guide the design of future assistive tools, ensuring that digital transformation in communication remains inclusive and accessible to all. Understanding user perceptions of AI-powered navigation assistants will further help refine assistive solutions to ensure they align with the needs and expectations of visually impaired individuals [2].

Materials and methods. This study employs a multidisciplinary approach, integrating artificial intelligence, computer vision, and natural language processing to investigate the digitalization of haptic-visual communication systems. The research combines theoretical analysis with practical experimentation to assess the effectiveness of AI-driven methods in processing tactile and visual languages. This review is based on an analysis of scientific publications and existing technological solutions in the digitalization of haptic-visual communications using artificial intelligence. The main sources include scientific literature where peer-reviewed journal articles, conference proceedings, and monographs published over the past five years have been examined with special attention given to studies on machine learning methods, computer vision, and multimodal data processing in the context of assistive technologies. Additionally, a review of existing technologies has been conducted analyzing modern AI-driven solutions aimed at improving digital accessibility including haptic feedback systems, Braille recognition, and technologies integrating audiovisual and tactile perception channels. Furthermore, reviews and systematic studies such as existing meta-analyses and systematic reviews assessing trends and prospects in AI-powered assistive technologies have been considered as these sources help identify key research directions and current challenges in the field.

This review systematically examines existing academic research, technical reports, and AI-driven solutions in the digitalization of haptic-visual communication through structured analysis of peer-reviewed journal articles, conference papers, and technical reports on AI applications in assistive technologies. Special focus is given to machine learning techniques for tactile pattern recognition, haptic rendering, and multimodal accessibility systems. A comparative evaluation of various machine learning models includes Convolutional Neural Networks for tactile image processing, Recurrent Neural Networks for sequential data interpretation, and Transformer-based architectures for multimodal integration. The study [2] utilized large vision-language models for real-time object recognition in wearable assistance systems, demonstrating how contemporary AI architectures can provide contextual scene understanding for visually impaired individuals. This approach represents a significant advancement over earlier research by [14], who developed a mobile application that integrated real-time audio and haptic feedback using traditional machine learning methods focused primarily on object detection and spatial orientation. While both studies emphasized multimodal feedback mechanisms, the more recent work demonstrated the value of contextual awareness in enhancing user independence through sophisticated AI architectures.

To provide a comprehensive understanding of the methodological approaches employed across different studies, a comparative analysis of AI techniques was conducted examining the temporal evolution of technologies, specific algorithms utilized, targeted application domains, and key methodological contributions from each investigation. This comparative framework reveals the progression from traditional machine learning approaches toward sophisticated large vision-language models and demonstrates how different AI techniques have been adapted to address specific challenges in haptic-visual communication. The analysis presented in Table 1 synthesizes the methodological diversity across the reviewed literature, illustrating how researchers have employed various AI architectures ranging from conventional machine learning algorithms to advanced deep learning models and cross-modal generation systems to address accessibility challenges in different contexts.

The table below presents a comparative analysis of various AI techniques used in haptic-visual communication systems, illustrating the progression from traditional machine learning approaches to sophisticated large vision-language models and their respective contributions to accessibility (Table 1).

Table 1 - A comparative analysis of various AI techniques used in haptic-visual communication systems.

Study	Year	AI Technique	Application	Key Findings
Shukurov	2024	Machine learning	Mobile app for visually impaired users	Real-time audio-haptic feedback for spatial orientation
Sharma et al.	2024	Large vision-language models (VLMs)	Wearable vision assistance	Improved contextual scene understanding and object localization
Khan et al.	2022	Haptic feedback via vibration patterns	Indoor navigation	Achieved up to 90% recognition accuracy

Cuan et al.	2024	Haptic feedback for deep learning models	Robotic manipulation	Increased data throughput by 6% and policy performance by 11%
Cao et al.	2023	Cross-modal AI for haptic rendering	Teleoperation and remote interactions	AI-generated haptic sensations from visual inputs
Nwokoye et al.	2024	Explainable AI (XAI)	Digital accessibility	Emphasized non-visual modalities in AI-driven accessibility

The comparative analysis reveals distinct methodological approaches across different research initiatives, demonstrating how AI techniques have evolved to address increasingly complex accessibility challenges. Studies employing traditional machine learning methods focused primarily on fundamental tasks such as object detection and spatial orientation, while more recent investigations utilizing large vision-language models have expanded capabilities to include contextual scene understanding and detailed environmental descriptions. This methodological progression reflects broader trends in AI development where increased computational capabilities have enabled more sophisticated approaches to assistive technology design.

An examination of AI-powered assistive tools such as Braille recognition systems, haptic feedback devices, and tactile sign language interpreters contrasts AI-based solutions with traditional approaches to highlight advancements in accessibility. The research [1] developed Fly-LeNet, a deep learning framework for converting Braille images into multilingual texts, employing Convolutional Neural Networks to achieve high accuracy in optical character recognition tasks. This work demonstrates the practical application of deep learning architectures in automating Braille translation processes. Research [9] demonstrated that haptic feedback systems for navigation achieved up to ninety percent recognition accuracy through vibration patterns based on a taxonomy of tasks assessed with participants including individuals who were blind or visually challenged, demonstrating high recognition accuracy in navigating indoor environments through intuitive haptic cues. Their methodology involved systematic development and testing of vibration pattern encoding schemes designed to convey directional information and spatial landmarks through tactile channels. Other studies [8] emphasized the need for cost-effective, miniaturized interfaces to increase adoption rates among diverse user populations, conducting comprehensive surveys of existing assistive systems to identify persistent challenges in hardware development including miniaturization, power efficiency, and manufacturing costs.

A synthesis of evaluation techniques used in earlier research indicates that usability metrics in assistive technology applications and accuracy, precision, recall, and F-score in AI-based recognition systems are prioritized. In robotic applications, the work [6] used haptic feedback to measure improvements in data throughput and policy performance in deep imitation learning models, employing experimental methodologies that assessed both operational efficiency and learning outcomes through quantitative performance metrics. This research utilized diverse participant groups to evaluate systems over extended periods, ensuring robust validation across different user profiles and usage scenarios, while systems were assessed in a variety of experimental configurations that included data collection and policy performance metrics, providing comprehensive insights into system capabilities and limitations. The study employed controlled experimental designs with baseline comparisons to isolate the specific contributions of haptic feedback to overall system performance.

A discussion on the ethical implications of AI-driven accessibility solutions highlights the importance of universal design principles to ensure inclusivity as well as the need to address data privacy concerns. Equitable access to emerging technologies is also crucial to prevent disparities in digital accessibility. In this context, systematic literature reviews [11] on accessible explainable artificial intelligence emphasized the necessity of non-visual modalities such as auditory and tactile feedback, highlighting the integration of universal design principles into AI development to promote digital inclusion by ensuring accessibility for individuals with disabilities. Their methodology involved comprehensive synthesis of existing research on explainable AI systems, examining how transparency mechanisms can accommodate diverse sensory channels to ensure accessibility for individuals with disabilities. Similarly, explorations [4] of vision-based haptic rendering techniques improve digital accessibility, particularly for remote interactions and teleoperation tasks, utilizing cross-modal generation methodologies that enable the generation of haptic feedback from visual inputs without direct tactile data. Their research employed deep learning models trained on paired visual-tactile datasets to learn mappings between visual features and corresponding tactile sensations, thus enhancing teleoperation tasks and remote interactions through innovative computational approaches, demonstrating how ethical design and technological innovation can work together to foster inclusive AI solutions.

Several studies demonstrate how AI affects haptic-visual communications and their practical implementation in real-world scenarios. The mobile application developed by [14] uses machine learning to provide haptic and aural feedback in real time, helping blind users with spatial orientation, delivering real-time audio and haptic feedback including text recognition, object detection, and currency identification. The methodological approach involved integrating computer vision algorithms with haptic and auditory feedback systems deployed on smartphone platforms to create accessible navigation assistance. This approach demonstrated significant potential in facilitating spatial orientation and independence for blind users, underscoring AI's role in bridging sensory gaps through multimodal feedback mechanisms. Moreover, AI-based wearable vision assistance systems developed by [2] integrating real-time object recognition and contextual understanding using large vision-language models have been specifically designed for visually impaired individuals, enhancing the independence of visually impaired users through contextual scene understanding and detailed environmental descriptions delivered via auditory feedback. Their implementation methodology involved developing wearable hardware platforms incorporating cameras and processing units capable of running sophisticated vision-language models in real-time, providing detailed scene descriptions, object localization, and contextual awareness through sophisticated AI architectures. Furthermore, recent work [16] proposed an object localization assistive system based on computer vision and vibrotactile encoding, which enhances the practicality of haptic feedback in user interfaces by providing intuitive spatial information through tactile channels. Their system employed computer vision algorithms to detect and localize objects in the environment, translating this spatial information into vibration patterns delivered through wearable haptic devices.

Additionally, comprehensive reviews [7] of recent developments in haptic devices designed for hearing-impaired people offered valuable insights into both technological advances and design challenges, highlighting the importance of user-centered approaches in assistive technology development. Their systematic review methodology examined diverse haptic technologies developed for auditory information substitution, analyzing signal processing

approaches and device designs. Comprehensive analyses [12] of haptic sensory replacement technologies have been carried out through experimental studies in virtual reality environments, emphasizing both developments and continuing difficulties in functionality and design, particularly highlighting the need for miniaturized and cost-effective interfaces that can be widely adopted across diverse user populations. Their research methodology employed virtual reality-based navigation training platforms to test and evaluate multisensory assistive technologies in controlled experimental conditions before real-world deployment, addressing both technological advances and persistent design challenges that affect widespread adoption. While these advancements are promising, challenges remain such as high computational demands, the need for personalization, and design limitations that affect user acceptance and widespread implementation. Future research should focus on developing cost-effective, user-friendly interfaces to overcome these hurdles and ensure that AI-driven assistive technologies can be successfully integrated into daily life for individuals with sensory impairments across diverse contexts and environments.

Results and Discussions. The findings from the reviewed studies highlight significant advancements in the digitalization of haptic-visual communications through AI-driven solutions. The research demonstrates that machine learning, computer vision, and multimodal AI models have substantially improved accessibility for individuals with sensory impairments across various application domains. These developments represent a fundamental shift in how assistive technologies are designed and implemented, moving from traditional manual approaches to sophisticated AI-powered systems that can adapt to individual user needs in real time. As illustrated in Table 1, the methodological progression from conventional machine learning techniques to advanced large vision-language models demonstrates the field's rapid evolution and increasing sophistication in addressing complex accessibility challenges through diverse AI architectures and application-specific implementations.

The study [14] confirmed that real-time AI-powered applications can enhance spatial orientation and navigation for visually impaired users through integrated multimodal feedback systems. The integration of text recognition, object detection, and audio-haptic feedback proved to be effective in increasing independence and usability for users navigating complex environments. This represents a significant breakthrough in assistive technology development, as it demonstrates that AI systems can process and integrate multiple sensory inputs simultaneously to provide comprehensive environmental awareness. This aligns with findings from more recent research where an AI-based wearable vision assistance system utilizing large vision-language models significantly improved contextual scene understanding and object localization, further validating the role of multimodal AI in accessibility applications [2]. The convergence of these technologies suggests that future assistive devices will become increasingly sophisticated in their ability to interpret and communicate environmental information to users with sensory impairments. While Shukurov's work focused more on object detection and spatial orientation using traditional machine learning approaches, Baig and colleagues demonstrated that contemporary approaches emphasizing contextual scene understanding through large vision-language models provide more comprehensive environmental descriptions that enhance user independence through detailed contextual awareness, demonstrating the comparative advantages of more advanced AI architectures as summarized in the methodological comparison.

The systematic review [11] underscored the necessity of explainable AI in accessibility, emphasizing that non-visual feedback, such as auditory and tactile outputs, is crucial for

inclusivity. This insight supports the importance of universal design principles in the development of assistive technologies, ensuring that AI-driven systems cater to a broader user base and accommodate diverse sensory preferences and capabilities. The emphasis on explainable AI is particularly important in the context of assistive technologies, as users need to understand and trust the systems they rely on for daily navigation and interaction. Without transparency in how AI systems make decisions, users may be hesitant to fully embrace these technologies, potentially limiting their effectiveness and adoption rates. Their comprehensive synthesis of existing research revealed that transparent AI systems must accommodate diverse sensory channels through multimodal explanation mechanisms that provide information through auditory and tactile modalities rather than relying solely on visual interfaces, ensuring genuine accessibility for users with visual impairments.

The introduction of vision-based haptic rendering demonstrated a breakthrough in haptic rendering through cross-modal generation, showing how AI can simulate tactile sensations based on visual inputs [4]. This approach is particularly promising for teleoperation tasks, remote interactions, and immersive accessibility solutions where direct tactile feedback is not feasible or practical. The ability to generate haptic sensations from visual data opens up entirely new possibilities for assistive technologies, potentially allowing users to experience their environment in ways that were previously impossible. This cross-modal approach represents a significant advancement in sensory substitution technologies, bridging the gap between different sensory modalities and creating more comprehensive assistive solutions. The computational frameworks [4] employed sophisticated neural network architectures capable of capturing complex relationships between visual appearance properties such as texture, shape, and material composition and their corresponding tactile characteristics including roughness, compliance, and temperature, effectively removing barriers that previously constrained haptic feedback applications to scenarios with available tactile sensors.

Recent research on vibration pattern-based indoor navigation achieved recognition accuracy rates approaching ninety percent, demonstrating the practical viability of haptic navigation systems for individuals with visual impairments in complex indoor environments [9]. These findings suggest that well-designed haptic interfaces can effectively convey spatial information and support independent mobility when visual cues are unavailable or insufficient. The high accuracy rates achieved in these studies indicate that haptic navigation systems have reached a level of maturity where they can be reliably deployed in real-world settings, providing users with confidence in their ability to navigate independently. This development is particularly significant for indoor environments where GPS signals are unavailable and traditional navigation aids may be less effective. The systematic development and testing of intuitive vibration pattern encoding schemes [9] demonstrated that users could learn to interpret complex haptic cues through practice, with recognition accuracy improving substantially over training periods, eventually enabling confident navigation through unfamiliar indoor environments using purely haptic guidance.

Studies on robotic manipulation systems showed that incorporating haptic feedback improved data throughput by six percent and policy performance by eleven percent, suggesting that tactile feedback can enhance learning efficiency in AI systems and potentially benefit users with motor impairments who require precise control and feedback mechanisms [6]. These improvements, while seemingly modest, represent substantial gains in system performance that can translate into more effective and efficient assistive technologies. The fact that haptic feedback

enhances both data quality and learning outcomes suggests that incorporating tactile modalities into AI training processes could become a standard practice in the development of assistive technologies. The experimental methodology [6] involved controlled comparisons between systems with and without haptic feedback, systematically isolating the contributions of tactile information to both human operator performance and machine learning algorithm effectiveness, demonstrating measurable benefits across both operational efficiency and learning outcomes that have implications extending beyond traditional robotics to broader assistive technology contexts.

Recent investigations emphasized the importance of multisensory assistive technologies that combine haptic and audio feedback, demonstrating improved navigation performance and movement behavior compared to single-modality systems [12]. This finding reinforces the notion that multimodal approaches are superior to single-sensory solutions, as they provide redundant information channels that can compensate for each other's limitations. The integration of multiple sensory modalities creates a more robust and reliable system that can function effectively across a wider range of environmental conditions and user preferences. The experimental results from virtual reality-based navigation training platforms demonstrated that visual-haptic and verbal-visual-haptic conditions yielded higher accuracy in movement tasks compared to unimodal conditions, providing empirical evidence that coordinated multisensory feedback substantially enhances user experience and performance in assistive applications.

Moreover, the comparative analysis of AI-driven Braille recognition systems, haptic feedback devices, and tactile sign language interpreters revealed that deep learning techniques, such as Convolutional Neural Networks and Transformer-based architectures, enhance the efficiency and accuracy of tactile and visual data processing significantly compared to traditional approaches [1]. However, challenges remain in data scarcity, computational efficiency, and the need for personalized adaptation to meet the diverse needs of users across different contexts and individual preferences. These challenges highlight the ongoing need for research and development in this field, as even the most advanced AI systems currently available still face limitations that prevent them from being universally applicable across all user populations and scenarios. The Fly-LeNet framework developed by Al-Salman and colleagues achieved impressive accuracy rates exceeding ninety-nine percent on standard Braille recognition benchmarks, demonstrating that automated Braille translation systems are approaching practical deployment viability.

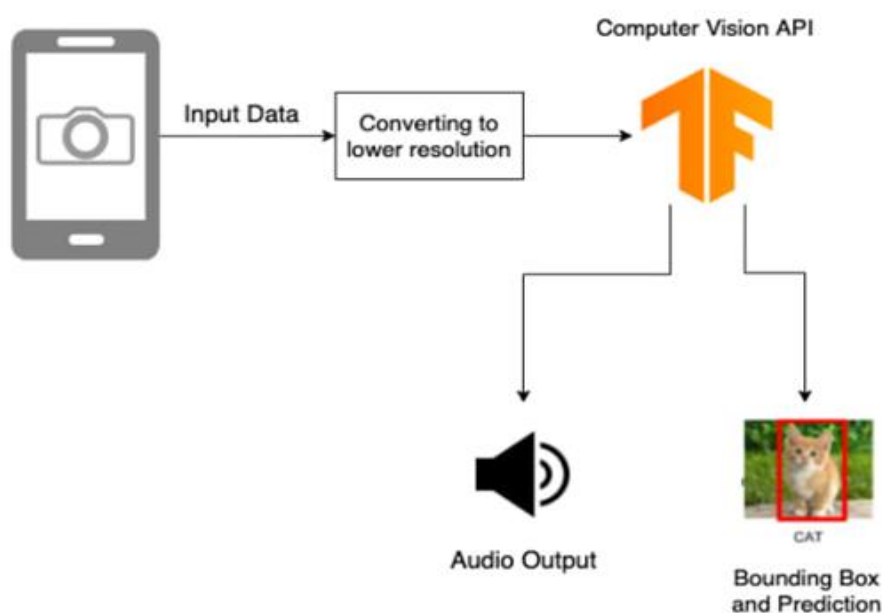
The development of affordable and accessible hardware components represents another important advancement in making AI-driven assistive technologies more widely available to individuals with sensory impairments [2]. Systems built using commonly available components such as Raspberry Pi devices and standard cameras demonstrate that effective assistive solutions need not be prohibitively expensive, potentially increasing adoption rates among users with limited financial resources. This democratization of assistive technology is crucial for ensuring that the benefits of AI-driven solutions are not limited to those with substantial financial means, but are instead accessible to all individuals who could benefit from them regardless of their economic circumstances. The successful implementation of functional wearable vision assistance systems using affordable hardware establishes feasible pathways for expanding accessibility benefits to broader populations globally, particularly in resource-constrained settings where expensive specialized equipment would be prohibitive.

Recent advances in deep learning architectures for Braille recognition have achieved impressive accuracy rates exceeding ninety-nine percent on test datasets, suggesting that

automated Braille translation systems are approaching practical deployment viability [1]. These high accuracy rates indicate that AI-based optical Braille recognition can reliably convert Braille documents into multilingual texts, facilitating communication between visually impaired individuals and sighted people. The near-perfect accuracy achieved by these systems suggests that automated Braille translation is no longer a theoretical possibility but a practical reality that can be implemented in real-world applications with confidence in their reliability and effectiveness. However, the researchers acknowledged that challenges persist in handling degraded or non-standard Braille documents, adapting to different Braille codes across languages and regional conventions, and achieving sufficient processing speeds for truly interactive real-time applications requiring immediate feedback.

The image below illustrates the process of AI-driven recognition, showcasing the key steps involved in processing haptic-visual inputs for enhanced accessibility, demonstrating how raw sensory data is captured, processed through various AI algorithms, and transformed into accessible output formats that users with sensory impairments can effectively utilize (Figure 1).

Figure 1 - The process of AI-driven recognition, illustrating the key steps involved in processing haptic-visual inputs for enhanced accessibility.



The integration of explainable AI techniques into assistive technologies addresses important transparency and trust concerns, as users need to understand how AI systems make decisions that affect their mobility, safety, and independence [11]. Providing accessible explanations through non-visual modalities ensures that visually impaired users can interrogate and understand the reasoning behind AI-generated recommendations and warnings. This transparency is essential not only for building user trust but also for enabling users to make informed decisions about when to rely on AI assistance and when to exercise their own judgment. The systematic review [11] revealed that effective explainable AI systems for accessibility must provide explanation mechanisms through multiple sensory modalities simultaneously, allowing users to select their preferred interaction channels based on individual capabilities and contextual requirements, ensuring that algorithmic transparency genuinely promotes user autonomy rather than creating new dependencies.

Studies on virtual reality-based navigation training platforms demonstrate the potential of immersive technologies for testing and refining assistive systems before real-world deployment, reducing risks associated with field testing while providing controlled environments for systematic evaluation [12]. The use of virtual reality for training and evaluation purposes represents an innovative approach to assistive technology development that can accelerate the design and refinement process while minimizing potential risks to users during testing phases. The experimental methodology employed in these studies allowed researchers to systematically vary environmental conditions and navigation challenges in controlled settings, enabling comprehensive evaluation of multisensory assistive technologies across diverse scenarios before deployment in real-world contexts where safety considerations are paramount.

Overall, the reviewed literature confirms that AI is transforming haptic-visual communications by providing real-time recognition, multimodal interaction, and enhanced accessibility across diverse application contexts. The breadth and depth of advances documented in recent research demonstrate that AI-driven assistive technologies have moved beyond the proof-of-concept stage and are now entering a phase of practical implementation and widespread adoption. While significant progress has been made in developing sophisticated AI models and innovative hardware solutions, future research should focus on addressing computational limitations through more efficient algorithms, ethical concerns through transparent and accountable design practices, and the development of more adaptive and inclusive AI-driven solutions that can accommodate individual user preferences and needs. The convergence of advances in machine learning algorithms, sensor technologies, actuator designs, and user-centered development methodologies documented across the reviewed studies has created unprecedented opportunities for developing effective assistive technologies that genuinely improve quality of life for individuals with sensory impairments.

Particular attention should be paid to ensuring that AI-driven assistive technologies are designed with input from end users to ensure they address real-world challenges effectively and do not inadvertently create new barriers to accessibility. The successful integration of AI into assistive technologies requires ongoing collaboration between researchers, developers, disability communities, and policymakers to ensure that technological advances translate into meaningful improvements in quality of life for individuals with sensory impairments [5]. This collaborative approach is essential for ensuring that assistive technologies are not developed in isolation from the communities they are intended to serve, but rather are co-created with those communities to ensure they meet actual needs and preferences rather than assumed ones. The emphasis on participatory design methodologies and user-centered development processes documented across multiple studies highlights the field's growing recognition that technological sophistication alone is insufficient without meaningful engagement with disability communities throughout the development lifecycle.

Conclusion. The digitalization of haptic-visual communications through Artificial Intelligence has significantly improved accessibility for individuals with sensory impairments by enabling more effective interaction with digital environments. This study reviewed recent advancements in machine learning, computer vision, and multimodal AI models, highlighting their role in transforming assistive technologies and expanding opportunities for independent living. Research findings demonstrate that AI-powered solutions, such as real-time object recognition, contextual scene understanding, and haptic rendering, have enhanced independence and digital inclusivity for users with disabilities across diverse application contexts. Key

developments include AI-based mobile applications that provide audio-haptic feedback for spatial navigation, wearable vision assistance systems leveraging large vision-language models for comprehensive environmental understanding, and cross-modal haptic rendering technologies that enable users to experience tactile sensations from visual inputs in teleoperation and remote interaction scenarios. Additionally, explainable AI approaches emphasize the necessity of non-visual modalities, ensuring AI-driven accessibility tools are inclusive and adaptable to diverse user needs and preferences.

Despite these advancements, several challenges remain that must be addressed to realize the full potential of AI in assistive technologies. Data scarcity continues to limit the development and training of robust AI models, particularly for specialized applications involving tactile and haptic data that are less commonly available than visual or auditory datasets. Computational efficiency remains a concern as complex AI models require substantial processing power that may not be readily available in portable assistive devices, necessitating ongoing research into model optimization and efficient inference techniques. The need for personalized adaptation continues to limit the widespread implementation of AI in assistive technologies, as individual users have diverse needs, preferences, and capabilities that generic solutions may not adequately address. Ethical concerns, including bias in AI models, privacy issues related to continuous environmental monitoring, and equitable access to expensive technologies, must also be addressed to ensure these technologies benefit a diverse range of users without creating new forms of exclusion or discrimination. Moving forward, future research should focus on enhancing AI's adaptability to individual user needs through customizable interfaces and personalized learning algorithms, improving computational efficiency through model compression and edge computing approaches, and integrating multimodal AI systems more effectively into real-world applications through user-centered design processes. Collaborative efforts between researchers, developers, and policymakers are crucial to ensuring universal accessibility and ethical AI deployment in assistive technologies that genuinely improve quality of life for individuals with sensory impairments.

Ultimately, AI has the potential to revolutionize haptic-visual communication systems, making digital environments more inclusive for individuals with sensory impairments and enabling fuller participation in social, educational, and professional activities. By overcoming current limitations through continued research and development, prioritizing user-centered design that incorporates feedback from disability communities, and addressing ethical concerns through transparent and accountable practices, AI-driven solutions can bridge accessibility gaps and create a more inclusive digital future. The successful integration of AI into assistive technologies requires sustained commitment to inclusive design principles, ongoing evaluation of real-world effectiveness, and responsiveness to the evolving needs of diverse user populations. Through collaborative innovation that brings together technological expertise and lived experience of disability, the field can continue advancing toward truly accessible and empowering AI-driven solutions that enhance independence, confidence, and quality of life for individuals with sensory impairments worldwide.

References:

1. Al-Salman, A., Al-Ohali, Y., Al-Razgan, M., & Al-Ghamdi, M. (2024). Fly-LeNet: A deep learning-based framework for converting Braille images into multilingual texts. PLOS ONE, 19(2), e0298334. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0298334>

2. Baig, M. S. A., Ahmad, M., Khan, M. A., & Alshahrani, A. (2024). AI-based wearable vision assistance system for the visually impaired: Integrating real-time object recognition and contextual understanding using large vision-language models. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 133, 108368. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.108368>
3. Brotosaputro, G., Saputra, R. A., & Hidayat, T. (2024). AI-powered assistive technologies for improved accessibility. *Journal of Advanced Information Systems*, 6(2), 145-162. <https://doi.org/10.31295/jais.v6i2.892>
4. Cao, G., Jiang, J., Mao, N., Bollegala, D., Li, M., & Luo, S. (2023). Vis2Hap: Vision-based haptic rendering by cross-modal generation. In *2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)* (pp. 12443-12449). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICRA48891.2023.10160508>
5. Chemnad, K., Murad, D. F., Shamsuddin, S. M., Baig, M. I., & Ali, N. M. (2024). Digital accessibility in the era of artificial intelligence: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, 15, 1033892. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1033892>
6. Cuan, C., Okamura, A., & Khansari, M. (2024). Leveraging haptic feedback to improve data quality and quantity for deep imitation learning models. *IEEE Transactions on Haptics*, 17(2), 234-247. <https://doi.org/10.1109/TOH.2024.3382156>
7. Flores Ramones, A., & del-Rio-Guerra, M. S. (2023). Recent developments in haptic devices designed for hearing-impaired people: A literature review. *Sensors*, 23(6), 2968. <https://doi.org/10.3390/s23062968>
8. Kathiria, P., Patel, A., & Shah, M. (2024). Survey paper: Assistive systems for visually impaired people. *Multimedia Tools and Applications*, 83(15), 45821-45859. <https://doi.org/10.1007/s11042-023-17442-4>
9. Khusro, S., Shah, B., Khan, I., & Rahman, S. (2022). Haptic feedback to assist blind people in indoor environment using vibration patterns. *Sensors*, 22(1), 361. <https://doi.org/10.3390/s22010361>
10. Kuriakose, B., Shrestha, R., & Sandnes, F. E. (2023). Exploring the user experience of an AI-based smartphone navigation assistant for people with visual impairments. In *Proceedings of the 15th Biannual Conference of the Italian SIGCHI Chapter* (pp. 1-8). ACM. <https://doi.org/10.1145/3605390.3605407>
11. Nwokoye, C. H., Peixoto, M. J., Pandey, A., Pardy, L., Sukhai, M., & Lewis, P. R. (2024). A survey of accessible explainable artificial intelligence research. *ACM Computing Surveys*, 56(9), 1-38. <https://doi.org/10.1145/3638241>
12. Ricci, F. S., Belluscio, V., Bertollo, M., & Vannozzi, G. (2024). Navigation training for persons with visual disability through multisensory haptic and audio feedback: A virtual reality approach. *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, 11, e52289. <https://doi.org/10.2196/52289>
13. Sharma, A., Keh, S. S., Mitchell, E., Finn, C., Arora, K., & Kollar, T. (2024). A critical evaluation of ai feedback for aligning large language models. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 37, 29166-29190.
14. Shukurov, J. (2024). Improve accessibility for low vision and blind people using machine learning and computer vision. *arXiv preprint arXiv:2404.00043*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.00043>
15. Wang, J., Wang, S., & Zhang, Y. (2023). Artificial intelligence for visually impaired. *Displays*, 77, 102391. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2023.102391>

16. Wei, Z., Song, A., & Hu, X. (2022). Object localization assistive system based on computer vision and vibrotactile encoding. In 2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) (pp. 2882-2885). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EMBC48229.2022.9871590>

УДК 519.63

Amanzhol Bakhtiyar Zholdasbayuly

Master's Student, School of Artificial Intelligence and Data Science

Astana IT University

(Astana, Kazakhstan)

Zhanat Ospankyzy Karashbayeva

Assistant Professor, School of Artificial Intelligence and Data Science

Astana IT University

(Astana, Kazakhstan)

AN EFFICIENT NUMERICAL MODEL FOR THE SIMULATION OF HEAT AND MASS TRANSFER IN POROUS MEDIA

Annotation: The report formulates the governing heat-transfer problem, describes explicit, implicit, and Crank–Nicolson schemes with stability considerations, and proposes/implements Adaptive Mesh Refinement (AMR) to improve computational efficiency. Numerical experiments compare schemes against analytical benchmarks, showing Crank–Nicolson as the most accurate and robust, while highlighting AMR interface/ghost-cell issues and recommending improvements in boundary treatment and interpolation.

Keywords: numerical methods, simulation, heat equation, numerical schemes

Introduction: The scope of this research encompasses the development and optimization of efficient numerical models for simulating heat and mass transfer in porous building materials using advanced finite difference methods. Specifically, the research will focus on:

Primary Domain: Numerical modeling of thermal performance in building envelopes with emphasis on porous media applications, including insulation materials and building walls under various climatic conditions.

Methodological Scope: Investigation and implementation of explicit, implicit, and mixed finite difference schemes for solving coupled heat and mass transfer equations, with particular attention to stability, accuracy, and computational efficiency.[1, 2, 3]

Application Areas: Building energy optimization, thermal bridge analysis, moisture transport in porous materials, and long-term thermal performance simulation under varying boundary conditions.[4, 5]

Geographical Context: Climate-specific applications for Kazakhstan's harsh winter conditions, addressing energy conservation priorities outlined in the country's green economy transition strategy.

Temporal Scope: Development of algorithms suitable for both short-term transient analysis and long-term seasonal simulations, with computational efficiency as a primary concern.[6, 7]

Research Assumptions: Think of the building materials as basically uniform and the same in every direction at the large scale, but their ability to conduct heat can change depending on temperature and how much moisture they hold [8, 9]. To get the model going without too much complexity, we treat heat flow through a wall as mostly moving straight across its thickness rather than along the wall. We still use the standard idea that heat flows from warmer to cooler areas (Fourier's law), but we let the material's thermal properties adjust based on moisture levels [10, 11]. On the calculation side, we slightly simplify the convection and radiation at the wall surfaces

so the solver stays stable and fast, without noticeably hurting accuracy.

Research Hypotheses: The research is structured around three primary hypotheses

Hypothesis 1: Enhanced Stability and Accuracy

- o Advanced finite difference schemes, including implicit and Crank-Nicolson methods, will demonstrate superior stability characteristics compared to explicit schemes when applied to coupled heat and mass transfer problems in building applications.[3, 12]

Hypothesis 2: Computational Efficiency Optimization

- o Optimized finite difference implementations can achieve significant computational speedup for long-term building thermal simulations while maintaining accuracy within acceptable engineering tolerances.[5, 13]

Hypothesis 3: Coupled Heat-Mass Transfer Integration

- o Simultaneous solution of heat and mass transfer equations using coupled finite difference schemes will provide more accurate predictions of building thermal performance compared to sequential solution approaches.[14, 10]

Literature: Recent developments in finite difference methods for porous media applications have shown significant progress. The upwind generalized finite difference method (GFDm) presents a meshless approach for coupled heat and mass transfer problems, while ****compact finite difference methods**** have demonstrated improved accuracy for porous media equations. However, these advances remain largely theoretical with limited application to building thermal performance.[15] Limited integration of advanced finite difference schemes specifically tailored for building envelope applications with realistic boundary conditions and material properties.

Current building thermal simulation relies heavily on commercial software with limited transparency in numerical implementation. Recent comparative studies highlight the advantages of finite difference methods over RC circuit approaches and spectral methods for building applications. However, most implementations focus on simplified geometries and boundary conditions.[16, 4] Insufficient development of specialized finite difference schemes for complex building geometries including thermal bridges and moisture-coupled heat transfer.

Comprehensive stability analysis for finite difference schemes has advanced significantly, with recent work on unconditionally stable explicit methods and high-order accurate schemes. The convergence properties of various temporal integration schemes have been well-established for canonical problems.[18, 17, 3] Limited stability analysis specifically for coupled heat and mass transfer systems in building applications, particularly under realistic boundary conditions.

Recent developments in computational efficiency include matrix exponentiation methods, fast explicit dynamics approaches, and operator learning techniques. These methods show promise for real-time thermal simulation applications.[18, 19, 20] Lack of systematic optimization of finite difference implementations for building-scale thermal simulations with consideration of computational resource constraints.

Identified research opportunities: We're focusing on two things: first, creating adaptive spatial and temporal discretization tailored to building thermal analysis, so the mesh and time step automatically refine where temperature or moisture gradients are steep and relax where the solution is smooth [6, 5]; second, exploring implicit-explicit (IMEX) schemes that treat stiff diffusion terms implicitly and the easier parts (like coupling or advection) explicitly to keep simulations of coupled heat and mass transfer both fast and stable [21, 22].

The identified research gaps align directly with the project objectives, focusing on

developing robust finite difference schemes for building applications to improve stability [4, 15] and optimizing computation to enable efficient long-term thermal simulations [19, 5].

The comprehensive literature analysis reveals that while significant theoretical advances exist in finite difference methods, their application to building thermal performance remains underdeveloped. This research project addresses these gaps by developing specialized numerical schemes tailored to the unique requirements of building energy simulation in harsh climatic conditions. The proposed research contributes to the broader goal of improving building energy efficiency through advanced computational methods, supporting Kazakhstan's transition to a green economy while advancing the state-of-the-art in numerical methods for heat and mass transfer applications.

Problem setup: The fundamental heat-conduction equation as the primary model:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

where T is temperature, t is time, x is spatial coordinate, and k is the thermal diffusivity coefficient. For two-dimensional problems, the equation extends to:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right)$$

Spatial and Temporal Discretization

The centered finite-difference approximations for the second spatial derivative:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \approx \frac{T_{i-1}^l - 2T_i^l + T_{i+1}^l}{(\Delta x)^2}$$

where the error is $O(\Delta x^2)$. Grid spacing is uniform with Δx representing the spatial step size.

We consider three main approaches for temporal discretization:

1. Explicit Method (Forward Euler)

The temporal derivative uses a forward difference:

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t}$$

Leading to the explicit update formula:

$$T_i^{l+1} = T_i^l + \lambda (T_{i-1}^l - 2T_i^l + T_{i+1}^l)$$

where $\lambda = k\Delta t/(\Delta x)^2$ is the dimensionless parameter.

2. Implicit Method (Backward Euler)

The spatial derivative is evaluated at the advanced time level:

$$-\lambda T_{i-1}^{l+1} + (1 + 2\lambda)T_i^{l+1} - \lambda T_{i+1}^{l+1} = T_i^l$$

3. Crank-Nicolson Method

This method averages spatial derivatives between time levels for second-order temporal accuracy:

$$-\frac{\lambda}{2} T_{i-1}^{l+1} + (1 + \lambda)T_i^{l+1} - \frac{\lambda}{2} T_{i+1}^{l+1} = T_i^l + \frac{\lambda}{2} (T_{i-1}^l - 2T_i^l + T_{i+1}^l)$$

Stability and Consistency Results

The explicit method has a stringent stability criterion:

$$\lambda \leq \frac{1}{2} \quad \text{or} \quad \Delta t \leq \frac{(\Delta x)^2}{2k}$$

For two-dimensional problems, the stability condition becomes even more restrictive:

$$\Delta t \leq \frac{1}{4k} \left(\frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta y)^2} \right)^{-1}$$

For uniform grids ($\Delta x = \Delta y$), this requires $\lambda \leq 1/4$.

However, for both simple implicit and Crank-Nicolson methods are unconditionally stable, meaning there is no restriction on the time step size for stability. However, accuracy considerations still limit the practical time step size.

Adaptive Mesh Refinement in Spatial and Temporal Discretization

What is AMR Method and the reasons why I choose to integrate this specific method in my code base. To minimize computational workload on the system by reducing number of points in the domain without losing accuracy in the process. AMR introduces additional parameters that can be regulated to control the output. Namely, they are refinement levels, time subcycling policy, and synchronization strategy. It's very important to configure these parameters to get the best results. And it's this research practice's aim to learn how to do so. In the process of implementing AMR into code base we've tried several models from simple linear interpolation to complex algorithms that will show.

Analytical Solution:

The simplest analytical solution for validation purposes:

$$\sin(\pi x) \exp(-k\pi^2 t)$$

Numerical Comparison Results:

Comparative results for $T(x, t) = \sin(\pi x) \exp(-k\pi^2 t)$ at final time, $t = 0.1$ with alternating Δt . By using the Euclidean norm the error is found to be:

$$|v| = \sqrt{\sum_{k=1}^N |v_k|^2}$$

Δt	λ	Explicit	Simple Implicit	Crank-Nicolson
0.1	404.01	4.712e-03	4.153e-03	7.086e-05
0.05	202.005	2.277e-03	2.141e-03	1.633e-05
0.01	40.401	9.236e+05	4.403e-04	1.095e-06
0.0001	0.404	2.592e-06	6.232e-06	1.820e-06
0.00001	0.0404	1.379e-06	2.262e-06	1.820e-06

The Alternating Direction Implicit (ADI) method for two-dimensional problems, demonstrating temperature evolution on a heated plate with boundary temperatures of 0°C, 50°C, 75°C, and 100°C is still in progress.

Problem Parameters:

- Metal plate length along x: $L_x = 1$ cm
- Metal plate length along y: $L_y = 1$ cm
- Full time: $t = 3$

- Thermal diffusivity: $k = 0.05 \text{ cm}^2/\text{s}$
- Spatial step: $\Delta x = 0.0196 \text{ cm}$
- Spatial step: $\Delta y = 0.0099 \text{ cm}$
- Time step: $\Delta t = 0.00175 \text{ s}$
- Boundary conditions: $T(0x/y,t) = 0^\circ\text{C}$, $T(Lx/y,t) = 0^\circ\text{C}$
- Initial condition: $T(x,0) = \sin(\pi x) \sin(\pi y)$

Analytical Solution:

The simplest analytical solution for validation purposes:

$$u(x, y, t) = \sin(\pi x) \sin(\pi y) e^{-2\alpha\pi^2 t}$$

Numerical Comparison Results:

Comparative results for $T(x, t) = \sin(\pi x) \exp(-k\pi^2 t)$ at final time, $t = 0.1$ with alternating Δt . By using the Euclidean norm the error is found to be:

$$|v| = \sqrt{dxdt \sum_{k=1}^N |v_k|^2}$$

At the last point, $T = 3 \text{ s}$, we compare the results with an analytical solution. This time, however, because of the 2 dimensions stretching across X and Y axis we change error calculation formula to consider step sizes of X and Y domain.

$L2 = 0.4080$ (with AMR)

$L2 = 1.5803\text{e-}04$ (without AMR)

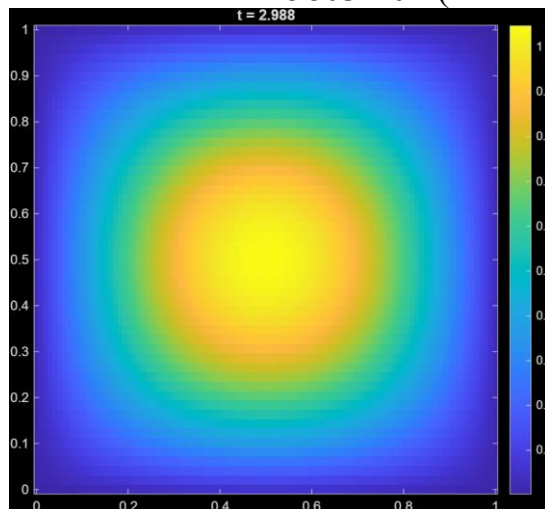


Figure 1. Heatmap of resulting explicit scheme without AMR at $t = 2.988$

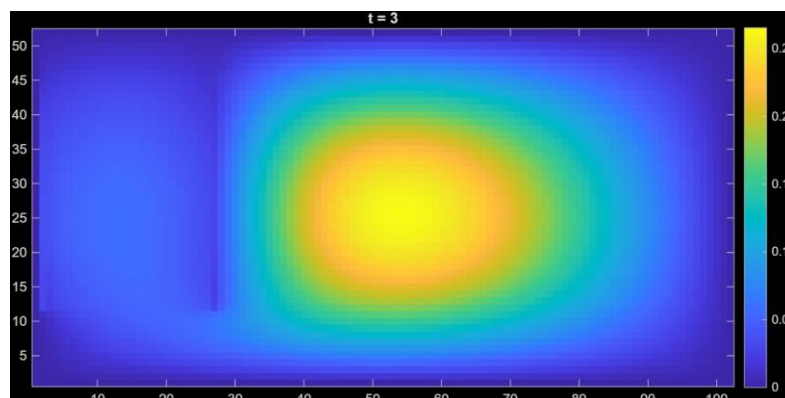


Figure 2. Heatmap of resulting explicit scheme without AMR at $t = 3$

Conclusion and recommendations: The data show Crank–Nicolson is the most accurate and robust across time steps, while the explicit scheme can catastrophically fail for certain step sizes and the simple implicit method is stable but less accurate at coarse steps. As the time step shrinks, all three approaches converge to a similar small error band, and Crank–Nicolson hits an apparent error floor first, indicating spatial discretization dominates beyond a point.

Accuracy

- At $\Delta t = 0.1$ and 0.05 , Crank–Nicolson errors are $7.086e-05$ and $1.633e-05$, far below explicit ($4.712e-03$, $2.277e-03$) and simple implicit ($4.153e-03$, $2.141e-03$), showing a clear advantage at larger time steps.
- At $\Delta t = 0.0001$ and 0.00001 , all schemes are within $\sim 10^{-6}$ – 10^{-6} , narrowing the gap and indicating diminishing returns from higher-order time integration when the step is already very small.

Stability behavior

- The explicit scheme displays a dramatic blow-up at $\Delta t = 0.01$ with error $9.236e+05$ at $\lambda = 40.401$, which might be the reason for this large error.
- By contrast, the simple implicit and Crank–Nicolson results remain well behaved at the same Δt , reinforcing their practical robustness when larger steps are required.

Practical takeaways

- For efficiency at moderate/large Δt , prefer Crank–Nicolson to minimize error without sacrificing stability.
- If using the explicit scheme, enforce additional safeguards because small changes in Δt can trigger instability, as the $\Delta t = 0.01$ case demonstrates.

AMR being less accurate than uniform explicit run almost always signals problems at coarse–fine interfaces, boundary fills, or how the composite solution is compared; the most common culprits are wrong ghost fills at the fine edge, not skipping the coarse update under the fine patch, missing or incorrect average-down, or an error norm computed on mismatched grids or times. In a simple 2D diffusion test with Dirichlet data, a correctly implemented single moving fine window should match or beat the coarse uniform result when the patch covers the steep region and level coupling is done properly. The proper parameter selection needs to be done. Also, more flexible and accurate types of interpolation should be employed than using basic Linear Interpolation.

- Fine ghost fill at patch edges used periodic/self-copy instead of coarse→fine interpolation, so the fine stencil “sees” a fake boundary and creates a seam and large error near the interface.

- Prolongation (coarse→fine) used wrong weights or wrong neighbors; in cell-centered $r=2$, bilinear prolongation uses the 1D $0.75/0.25$ linear weights along each axis and their tensor products in 2D.

- Regrid cadence/window too small: the fine patch did not actually cover the steepest region between regrids, so the accuracy benefit never materialized and tagging jitter added noise at interfaces.

References:

1. Askar, A. H., Kovács, E., & Bolló, B. (2023). Prediction and Optimization of Thermal Loads in Buildings with Different Shapes by Neural Networks and Recent Finite Difference Methods. *Buildings*, 13(11), 2862. <https://doi.org/10.3390/buildings13112862>

2. Zhang, X., & Fan, X. (2023). Comparative study of simulation methods applied to heat transfer calculation of building walls containing phase change materials. *Building Simulation Conference Proceedings*, 18. <https://doi.org/10.26868/25222708.2023.1123>
3. Suárez-Carreño, F., & Rosales-Romero, L. (2021). Convergency and stability of explicit and implicit schemes in the simulation of the heat equation. *Applied Sciences*, 11(10), 4468. <https://doi.org/10.3390/app11104468>
4. Berger, J., Gasparin, S., Dutykh, D., & Mendes, N. (2019). On the comparison of three numerical methods applied to building simulation: Finite-differences, RC circuit approximation and a spectral method. *Building Simulation*, 13(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0555-z>
5. Omle, I., Askar, A. H., Kovács, E., & Bolló, B. (2023). Comparison of the Performance of New and Traditional Numerical Methods for Long-Term Simulations of Heat Transfer in Walls with Thermal Bridges. *Energies*, 16(12), 4604. <https://doi.org/10.3390/en16124604>
6. Takam, P. H., Wunderlich, R., & Pamen, O. M. (2023). Modeling and simulation of the input–output behavior of a geothermal energy storage. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 47(1), 371–396. <https://doi.org/10.1002/mma.9661>
7. Mitchell, M. S., & Spitler, J. D. (2020). An enhanced vertical ground heat exchanger model for Whole-Building energy simulation. *Energies*, 13(16), 4058. <https://doi.org/10.3390/en13164058>
8. Danovska, M., Pernigotto, G., Baratieri, M., Baggio, P., & Gasparella, A. (2020). Influence of moisture content, temperature and absorbed solar radiation on the thermal performance of a spruce XLAM wall in the Italian climates. *Journal of Physics Conference Series*, 1599(1), 012028. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1599/1/012028>
9. Panico, S., Larcher, M., Troi, A., Baglivo, C., & Congedo, P. M. (2022). Thermal modeling of a historical building wall: Using Long-Term Monitoring data to understand the reliability and the robustness of numerical simulations. *Buildings*, 12(8), 1258. <https://doi.org/10.3390/buildings12081258>
10. Berger, J., Dutykh, D., Mendes, N., & Rysbaiuly, B. (2019). A new model for simulating heat, air and moisture transport in porous building materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 134, 1041–1060. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.01.025>
11. Berger, J., Legros, C., & Abdykarim, M. (2020). Dimensionless formulation and similarity to assess the main phenomena of heat and mass transfer in building porous material. *Journal of Building Engineering*, 35, 101849. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101849>
12. Li, C., Li, M., & Sun, X. (2019). Finite difference/Galerkin finite element methods for a fractional heat conduction-transfer equation. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 44(10), 8302–8321. <https://doi.org/10.1002/mma.5984>
13. Mergny, C., & Schmidt, F. (2024). MULTIHEATS: a fast and stable thermal solver for multilayered planetary surfaces. *The Planetary Science Journal*, 5(10), 215. <https://doi.org/10.3847/psj/ad6d6e>
14. Utebaev, D., Utepbergenova, G. G., & Tleuov, K. (2021). On convergence of schemes of finite element method of high accuracy for the equation of heat and moisture transfer. *BULLETIN OF THE KARAGANDA UNIVERSITY-MATHEMATICS*, 102(2), 129–141. <https://doi.org/10.31489/2021m2/129-141>

15. Sari, M. (2009). Solution of the porous media equation by a compact finite difference method. *Mathematical Problems in Engineering*, 2009(1). <https://doi.org/10.1155/2009/912541>
16. Berger, J., Gasparin, S., Dutykh, D., & Mendes, N. (2019b). On the comparison of three numerical methods applied to building simulation: Finite-differences, RC circuit approximation and a spectral method. *Building Simulation*, 13(1), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0555-z>
17. Barnett, A., Epstein, C. L., Greengard, L., Jiang, S., & Wang, J. (2019). Explicit unconditionally stable methods for the heat equation via potential theory. *Pure and Applied Analysis*, 1(4), 709–742. <https://doi.org/10.2140/paa.2019.1.709>
18. Momoniat, E. (2012). Matrix exponentiation and the Frank-Kamenetskii equation. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012(1). <https://doi.org/10.1155/2012/713798>
19. Zhang, J., & Chauhan, S. (2019). Fast explicit dynamics finite element algorithm for transient heat transfer. *International Journal of Thermal Sciences*, 139, 160–175. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2019.01.030>
20. Liu, Z., Li, Y., Hu, J., Yu, X., Shiau, S., Ai, X., Zeng, Z., & Zhang, Z. (2023). DeepOHEAT: Operator learning-based ultra-fast thermal simulation in 3D-IC design. *Pure and Applied Analysis*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/dac56929.2023.10247998>
21. Nawaz, Y., Arif, M. S., Abodayeh, K., & Mansoor, M. (2023). Finite difference schemes for MHD mixed convective Darcy–forchheimer flow of Non-Newtonian fluid over oscillatory sheet: A computational study. *Frontiers in Physics*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphy.2023.1072296>
22. Fiordilino, J. a. F. J. A., & Winger, M. W. M. (2023). Unconditionally Energy Stable and First-Order Accurate Numerical Schemes for the Heat Equation with Uncertain Temperature-Dependent Conductivity. *International Journal of Numerical Analysis and Modeling*, 20(6), 805–831. <https://doi.org/10.4208/ijnam2023-1035>

Электронный научный журнал «Central Asian Scientific Journal»

Редактор: Байдильдинов Т.Ж.
Комп.верстка: Хусаинов Е.М.

Электронный научный журнал «Central Asian Scientific Journal»
-2026-1(29)-Астана-ИП ДОС
Зарегистрировано и выдано свидетельство
Министерством Информации и Общественного Развития РК
№KZ40VPY00067791 от 07.04.2023 г.

*За достоверность публикуемой информации, цитат и
иных изложений ответственность несет автор*



