

OCTOBER 2025 | ISSUE #10(2)

INTERNATIONAL JOURNAL OF PROFESSIONAL SCIENCE

.....

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL



SCIPRO.RU

ISSN 2542-1085

SOCIAL SCIENCES AND HUMANITIES

UDC 001
LBC 72

International Journal Of Professional Science: international scientific journal, Nizhny Novgorod, Russia: Scientific public organization “Professional science”, №10(2) - 2025. 120 p.

ISSN 2542-1085

International journal of Professional Science is the research and practice edition which includes the scientific articles of students, graduate students, postdoctoral students, doctoral candidates, research scientists of Russia, the countries of FSU, Europe and beyond, reflecting the processes and the changes occurring in the structure of present knowledge.

It is destined for teachers, graduate students, students and people who are interested in contemporary science.

All articles included in the collection have been peer-reviewed and published in the form in which they were presented by the authors. The authors are responsible for the content of their articles.

The information about the published articles is provided into the system of the Russian science citation index – RSCI under contract № 2819-10/2015K from 14.10.2015

The electronic version is freely available on the website <http://scipro.ru/ijps.html>

UDC 001

LBC 72



Editorial team

Chief Editor – Krasnova Natalya, PhD, assistant professor of accounting and auditing the Nizhny Novgorod State University of Architecture and Construction. (mail@nkrasnova.ru)

Zhanar Zhanpeisova — Kazakhstan, PhD

Khalmatova Barno Turdyhodzhaeva — Uzbekistan, MD, Professor, Head of the Tashkent Medical Academy

Tursunov Dilmurat Abdullazhanovich — Kyrgyzstan, PhD, Osh State University

Ekaterina Petkova, Ph.D Medical University — Plovdiv

Stoyan Papanov PhD, Department of Pharmacognosy and pharmaceutical chemistry, Faculty of Pharmacy, Medical University — Plovdiv

Materials printed from the originals filed with the organizing committee responsible for the accuracy of the information are the authors of articles

Editors N.A. Krasnova, 2025

Article writers, 2025

Scientific public organization
“Professional science”, 2025

Table of contents

INTRODUCTION.....	5
ENGINEERING APPLICATIONS.....	6
Budshchev I.S. «Phish Busters»: developing a game-trainer for recognizing social engineering	6
ENVIRONMENT AND ECOLOGY.....	14
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Semykin E.S., Dolbin I.D. Assessment of the impact of climate change in the North-East on the deformation of engineering structures	14
Khadbaatar B., Ganchimeg J., Gerelmaa J. Implementation of occupational health and safety management systems in the manufacturing industry.....	24
GEOLOGY AND GEOPHYSICS.....	36
Gavrilov S.V., Kharitonov A.L. Determination of the geographical location of hydrocarbon-promising zones based on the analysis of subduction geodynamic processes	36
MATHEMATICS.....	50
Konovalov G.G. The fundamental role of numbers in the structure of mathematical knowledge	50
SCIENTIFIC METHODS AND TECHNOLOGIES.....	63
Ignateva D. Start-up environment through the prism of government measures: interdisciplinary aspect.....	63
Shavelkova V.V. Modern approaches to teaching students engineering design using CAD systems	67
TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS.....	72
Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Y., Sharov P.E. Use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for high-precision topographic surveying in hard-to-reach areas	72
Cherednichenko V.S., Kashcheev K.O., Shiryayev A.D. Analysis of the effectiveness of hybrid hot water supply systems with simultaneous use of open and closed connection schemes	80
Konovalov G.G. Analysis of the principles of mandatory access control in modern information systems	89
Slavyanov A. Mobile Process Modules in Flexible Automated Production Lines.....	100
TRANSPORT AND MOBILITY.....	105
Sarantuya Yu., Ganchimeg J., Odgerel N., Sarantuya N. Method for optimizing train marshalling operations at a loading station.....	105
CONCLUSION.....	119

INTRODUCTION

Issue No. 10(2) of the International Journal of Professional Science brings together interdisciplinary research and applied developments that address contemporary challenges and practical needs in the scientific and industrial environment. The articles presented cover a wide range of topics, from engineering applications and technological solutions to environmental issues, geology, mathematics, and management. This comprehensive collection of materials allows us to explore the connections between theoretical approaches and their implementation in industrial, transportation, and socioeconomic contexts.

The "Engineering Applications" section opens with the study "Phish Busters," dedicated to the development of a simulation game for recognizing social engineering methods—a topic relevant to the cybersecurity of organizations and educational programs. In the "Environment and Ecology" section, articles examine specific audit risks in northern regions and the implementation of occupational health and safety management systems in the manufacturing industry, emphasizing the importance of sustainable and safe industrial development. The "Geology and Geophysics" section offers a methodology for identifying oil and gas potential zones based on the analysis of subduction geodynamic processes, relevant for exploration and resource planning.

In the Mathematics section, a publication on the fundamental role of numbers emphasizes the importance of basic theoretical concepts for the development of applied disciplines and educational programs. The "Scientific Methods and Technologies" topics touch on the impact of government measures on the startup environment and modern approaches to teaching engineering design using computer-aided design systems, which is important for developing a competitive workforce and technological infrastructure. The "Technological Developments" section showcases practical innovations: the use of unmanned aerial vehicles for high-precision topographic surveying, an analysis of the efficiency of hybrid water supply systems, research into mandatory access control principles, and mobile technological modules for flexible automated lines. The issue concludes with an applied paper in the field of transport and mobility—a method for optimizing train formation operations at a loading station, aimed at increasing the efficiency of logistics processes. The purpose of this issue is to present both fundamental and applied research that contributes to the development of professional science and practical solutions in industry, energy, ecology, and education. We hope that the materials in this issue will provide ideas for further interdisciplinary research, innovation, and the improvement of professional practices.

Sincerely,
Krasnova N.
Editor-in-Chief
International Journal Of Professional Science

ENGINEERING APPLICATIONS

UDC 37.016:004.056.5

Budshchev I.S. «Phish Busters»: developing a game-trainer for recognizing social engineering

«Phish Busters»: разработка игры-тренажера для распознавания социальной инженерии

Budushchev Ivan Sergeevich,

pupil, 8th “B” grade, MBEI SGE SCHOOL No. 38,
Ozersk, Chelyabinsk region, Russia

Scientific adviser: **Kravchuk S.**, Candidate in Art History, Head of the Arctic Design Laboratory,
Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin

Будущев Иван Сергеевич,

ученик 8 «В» класса, МБОУ СОШ №38 г. Озерска Челябинской обл.

Научный руководитель

Кравчук С.Г., к. искусствоведения, заведующая лабораторией арктического дизайна,
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Abstract. *The project aims to improve teenagers’ digital literacy by creating an interactive, quiz-style trainer that teaches recognition of social engineering in gaming environments. Its relevance is grounded in an analysis of global cyber-threat data for 2015-2024, which shows social engineering leading by frequency and impact in Russia. Using “vibe-coding” techniques, we built a prototype simulator in Roblox Studio to practice spotting fraudulent communication scenarios. A before-and-after evaluation recorded an increase in correct answers by 47% in the proportion of correct answers relative to baseline and a reduction in missed phishing cases to 0. The project demonstrates the effectiveness of gamification for teaching cybersecurity skills.*

Keywords: social engineering, digital literacy, gamification, Roblox, cybersecurity

Аннотация. Проект направлен на повышение цифровой грамотности подростков через создание интерактивного тренажера (игры-викторины), обучающего распознаванию социальной инженерии в игровой среде. Обоснованием актуальности разработки послужил анализ данных о мировых киберугрозах за 2015-2024 гг., показавший преобладание социальной инженерии по частоте и наносимому ущербу в России. С помощью инструментов «вайб-кодинга» разработан прототип-симулятор в Roblox Studio, предназначенный для отработки навыков распознавания мошеннических сценариев коммуникации. Оценка эффективности произведена с помощью теста «до и после», с зафиксированным ростом доли правильных ответов на 47% относительно исходного уровня и снижением числа ложных доверий до нуля. Проект демонстрирует эффективность геймификации к обучению навыкам кибербезопасности.

Ключевые слова: социальная инженерия, цифровая грамотность, геймификация, Roblox, кибербезопасность

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение: актуальность и обоснование проблемы

Современные подростки являются одной из наиболее активных и, как следствие, уязвимых групп пользователей в цифровом мире. В их повседневной жизни постоянно

присутствуют элементы и инструменты онлайн-среды: социальные сети, мессенджеры, а также онлайн-игры и околоигровые сообщества [1], [2]. В то время как большинство образовательных программ по кибербезопасности сосредоточены на технических аспектах (например, на том, что такое «цифровой след» или как создать надежный пароль) [3], современные кибератаки все чаще используют человеческий фактор [1], [2]. Злоумышленники не взламывают технические системы, они обманывают пользователей, запугивая удалением учетной записи, предлагая «бесплатные» бонусы или участие в «выгодных» розыгрышах.

Особенностью атак, направленных на подростков, является то, что социальная инженерия здесь приобретает специфические формы, которые в большинстве случаев ускользают от внимания взрослых. В их основе – характерные для этой среды интересы, такие как желание получить «халяву» или обменяться редкими предметами в онлайн-играх. Это приводит к серьезным последствиям: краже персональных данных, аккаунтов, использованию личных компьютеров и мобильных устройств в преступных целях. Несмотря на то, что финансовый ущерб от таких атак несопоставимо меньше потерь от действий мошенников во «взрослом секторе», важно учесть, что сегодняшние подростки – это завтрашние взрослые, для которых цифровая среда уже является неотъемлемой частью их жизни. Поэтому навыки цифровой грамотности и умение распознавать уловки социальной инженерии необходимо формировать уже в раннем возрасте.

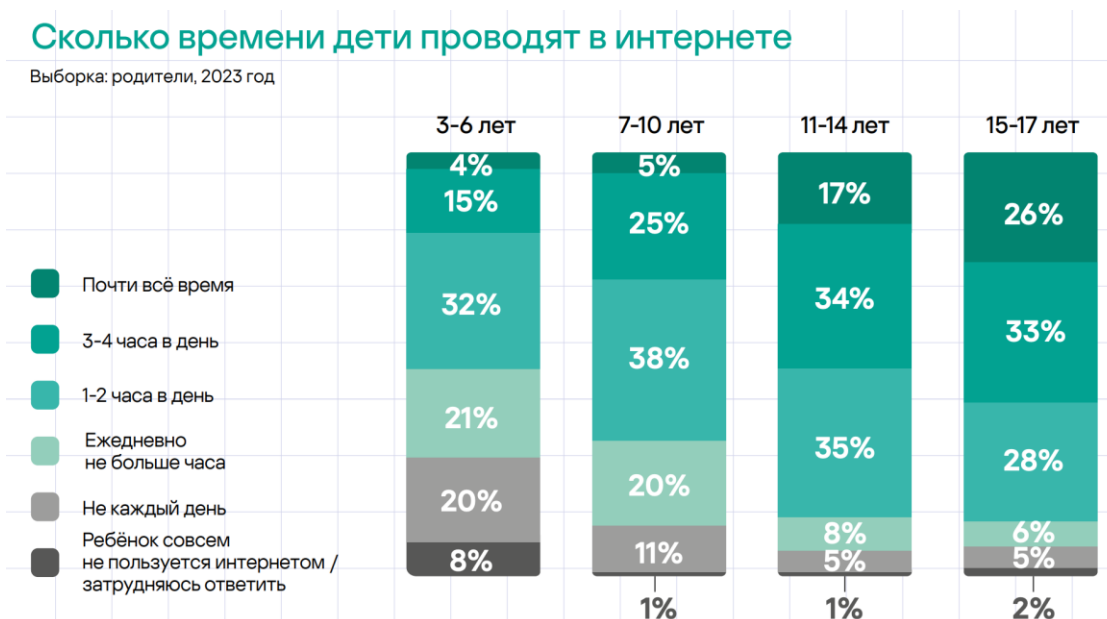


Рисунок 1. Сколько времени дети проводят в интернете. Источник: [1, с. 4]

Цель и задачи проекта

Цель проекта: разработать прототип интерактивного инструмента, который научит подростков эффективно распознавать ключевые признаки социальной инженерии в привычной им цифровой среде и понимать технические последствия своих действий.

Задачи проекта:

1. Найти и проанализировать реальные кейсы социальной инженерии, характерные для русскоязычных игровых сообществ (на основе скриншотов, публичных отчетов и разборов).
2. На основе собранных кейсов разработать интерактивный прототип-симулятор, предоставляющий мгновенную обратную связь и разъяснения.
3. Оценить эффективность разработанного тренажера путем проведения тестирования «до и после» среди представителей целевой группы.

Анализ и обзор существующей информации

Актуальность проекта подтверждается статистическими данными о поведении детей и подростков в сети. По данным отчетов «Лаборатории Касперского», в 2023 году 67% детей регулярно играли в мобильные или видеоигры, а половина из них проводила за играми не менее часа в день [1]. Эти цифры указывают на высокий уровень погружения целевой аудитории в игровую среду.

Уровень угроз также растет. В 2024 году число попыток атак на несовершеннолетних геймеров увеличилось на 30% по сравнению с предыдущим полугодием. По данным экспертов, более 132 тысяч детей-игроков стали жертвами фишинга и скама через популярные игры, где мошенники часто маскируются под игровые дополнения или «бесплатные бонусы» [2]. Помимо игровых угроз, также отмечается рост киберпреступности. Согласно данным МВД РФ, с 2020 по 2023 год число киберпреступлений, совершенных несовершеннолетними, выросло в 74 раза. Эти факты подчеркивают, что дети и подростки не только становятся жертвами, но и вовлекаются в преступные схемы, часто под предлогом легкого заработка [4].

Анализ данных о киберугрозах (2015-2024 гг.)

Погружение в тематику проекта началось с анализа датасета «Global Cybersecurity Threats 2015-2024», доступного на платформе машинного обучения Kaggle [5].

Статистический анализ 3000 записей позволил сделать следующие выводы:

- Глобальные тенденции: в мире по типам атак доминируют фишинг и вымогательство, что говорит о популярности методов, основанных на обмане человека (социальный инжиниринг или SE).

- Российский срез: Россия входит в топ-10 стран мира по абсолютному ущербу от SE-атак, опережая десятки других государств. За период 2015-2024 гг. из-за данного типа атак Россия потеряла более 1,76 млрд долларов – это больше, чем от других уязвимостей, что подчеркивает разрушительность этого направления и актуальность его распознавания и предупреждения.
- Почему это опасно: SE-атаки направлены не на технику и программное обеспечение, а на людей: прежде всего на психологически уязвимые группы – школьников, студентов, пенсионеров, родителей. При этом задействованы привычные и безопасные на первый взгляд каналы – телефон, почта, соцсети, мессенджеры. И жертвами становятся обычные пользователи, не подготовленные к таким сценариям.

Основная часть

Концепция и методология проекта

В основе проекта – принцип практико-ориентированного обучения, когда вместо скучной теории пользователям предлагается живой опыт, имитирующий реальные ситуации [6]. Сам проект представляет собой интерактивный симулятор-квиз (викторину), состоящий из набора карточек с реальными примерами фишинга из русскоязычного сегмента онлайн-игр.

Механизм обучения включает следующие этапы:

1. Пользователю показывается карточка с изображением потенциально опасного сообщения или сайта.
2. Пользователь за ограниченное время принимает решение об опасности/безопасности ситуации.
3. Сразу после выбора ответа пользователю предоставляется обратная связь с правильным ответом и кратким перечислением признаков обмана («красных флагов») или, наоборот, отсутствия риска.

Разработка прототипа-тренажера в Roblox Studio

Разработка прототипа велась в среде Roblox Studio. Эта платформа очень популярна среди подростков, что обеспечивает прямой доступ к целевой аудитории. Также Roblox Studio предоставляет простые инструменты, позволяющие быстро создать задуманный прототип без необходимости глубокого знания сложных языков программирования. Прототип представляет собой простой квиз-тренажер с кодом на языке Lua (Рис. 1).

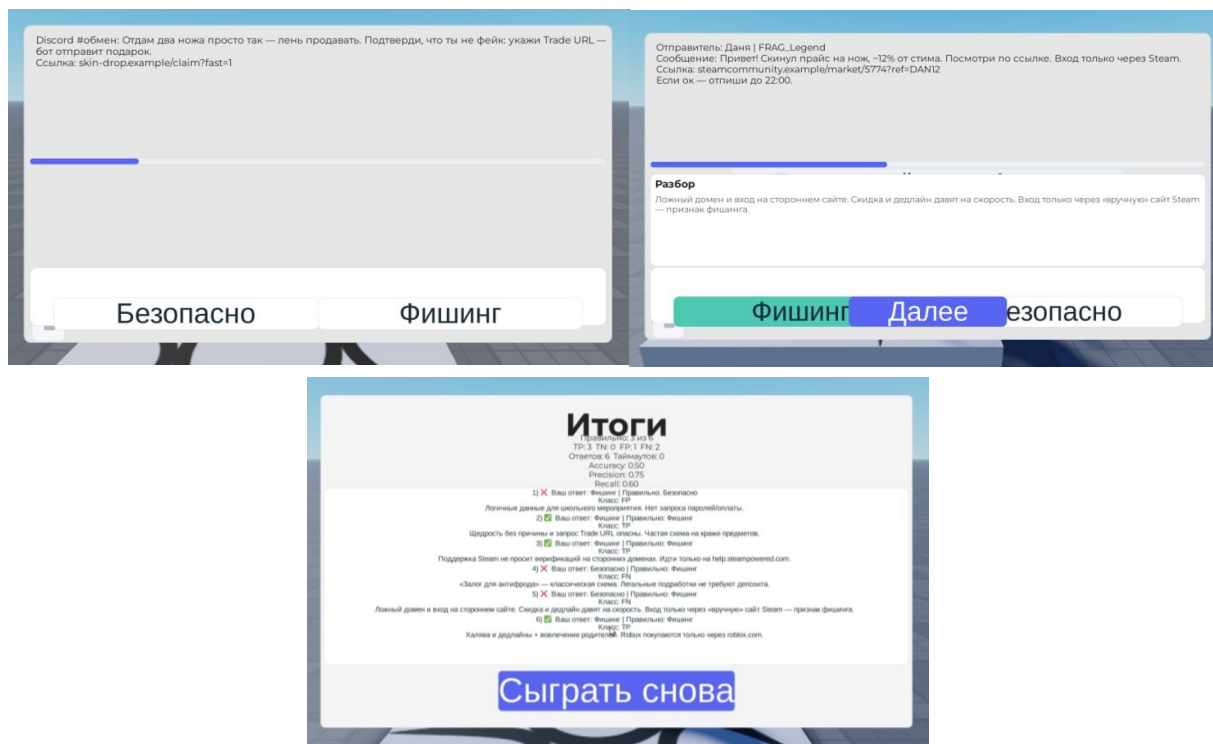


Рисунок 1. Слева направо: карточка с заданием, правильный ответ с разбором; внизу: экран итогов по окончании игры.

Методы

Идея проекта возникла из личного опыта автора, столкнувшегося с уловками мошенников в среде онлайн-игр. В процессе работы над проектом традиционные методы исследования (изучение источников, опубликованных в открытом доступе) сочетались с использованием инструментов искусственного интеллекта.

Статистическая обработка данных из датасета и результатов эксперимента с фокус-группой производилась с помощью языковой модели (LLM) ChatGPT o3 и инструмента Data Analyst. Программный код для прототипа-квиза создавался с использованием комбинации различных LLM-инструментов, включая Perplexity, ChatGPT 5 Thinking и Cursor. Такой подход позволил не бездумно делегировать работу, а осмысленно исследовать возможности ИИ для решения исследовательских и технических задач. Автор совместно с научным руководителем подбирал и корректировал промпты, самостоятельно проводил и документировал исследовательский эксперимент, что демонстрирует глубокое погружение в методологию создания научного проекта.

План работы по созданию игры

Контент для игры-симулятора был собран из открытых источников, таких как чаты игровых сообществ и тематические группы в социальных сетях.

Были учтены следующие риски:

- Все скриншоты были сделаны в безопасной веб-среде.
- Ссылки из примеров не открывались и не запускались.
- Все личные данные и псевдонимы пользователей были анонимизированы/изменены для обеспечения конфиденциальности.

Методика оценки эффективности

Для проверки обучающего эффекта проекта была разработана специальная методика оценки, основанная на «тесте до/после» с фокус-группой из 9 человек, представителей целевой аудитории (описание эксперимента и датасет в Приложении 1).

1. Предварительное тестирование («до»): Группе участников предлагается пройти тест, состоящий из 6 вопросов, похожих (но не идентичных) на вопросы тренажера.

2. Прохождение тренажера: участники проходят интерактивный симулятор.

3. Итоговое тестирование («после»): Участники повторно проходят аналогичный тест из 6 вопросов (отличных от теста «до» и от игры), после чего результаты сравниваются с первичными.

Результаты эксперимента

Полученные результаты продемонстрировали выраженный обучающий эффект (Таблица 1): средний балл фокус-группы вырос с 4,1 из 6 на предварительном тесте до 6,0 из 6 на итоговом, т.е. все участники верно решили все 6 новых заданий «после». Критически важные ошибки (пропуски случаев фишинга) полностью исчезли, при этом «ложных тревог» не прибавилось: и чувствительность к фишингу, и точность его распознавания достигли 100%. На этапе прохождения тренажера средняя точность составила 83% при естественном разбросе по участникам, что говорит о реалистичной сложности кейсов; после просмотра разборов навыки сразу перенеслись на новые примеры. Дополнительно наблюдалось небольшое ускорение принятия решений: среднее время ответа в тестах сократилось примерно с 10,5 до 10,0 секунд при сохранении лимита в 15 секунд. Проверка на неслучайность прироста показала, что улучшение объясняется именно тренировкой, а не удачей. В сумме это означает, что тренажер помогает не только распознавать мошеннические сценарии, но и делать это относительно спокойно и быстро, при этом не путая безопасные и опасные ситуации.

Таблица 1

Сводная таблица результатов. Пояснения: /6 — верных из 6; с — среднее время ответа (сек). Знаки Δ — прирост/изменение «после – до».

ID	ДО /6	ИГРА /6	ПОСЛЕ /6	Δ баллы	ДО, с	ПОСЛЕ с	Δ с
P01	5	5	6	+1	10.2	9.3	-0.9
P02	1	5	6	+5	12.0	10.7	-1.3
P03	4	6	6	+2	10.2	10.7	+0.5
P04	4	3	6	+2	9.3	9.7	+0.4
P05	4	6	6	+2	9.8	10.0	+0.2
P06	4	3	6	+2	10.2	9.7	-0.5
P07	4	6	6	+2	10.8	10.0	-0.8
P08	6	6	6	0	10.3	9.7	-0.6
P09	5	5	6	+1	11.5	10.0	-1.5
Среднее	4.1	5.0	6.0	+1.9	10.5	10.0	-0.5

Перспективы развития проекта

В дальнейшем планируется:

- улучшить пользовательский интерфейс, расширить набор кейсов (в том числе условно «похожие на фишинг, но безопасные» ситуации) и ввести уровни сложности с адаптацией под игрока;
- провести «отложенный тест» через 1,5-2 недели, чтобы проверить устойчивость полученных знаний;
- разработать специальный режим для учителей, где будет автоматический сбор результатов в таблицу и возможность экспорта отчетов;
- расширить возможности для игроков: более реалистичные карточки с заданиями (скриншоты «реальных» ситуаций), отслеживание прогресса, достижений, адаптации заданий (отслеживание изменений практик интернет-мошенничества), поддержка мобильных устройств и пр.

Заключение и выводы

Проект «Phish Busters» – это попытка актуального подхода к обучению подростков навыкам кибербезопасности с использованием игровой платформы. В ходе проекта был создан инструмент, доказавший свою эффективность.

Основные выводы:

- Социальная инженерия является одной из основных угроз для подростков, и текущие образовательные методики недостаточно эффективны в борьбе с ней.

- Геймификация в формате игрового симулятора-квиза доказала свою эффективность в повышении осознанности и навыков распознавания мошеннических схем.
- Разработанный прототип игры в Roblox Studio представляет собой масштабируемое решение, в которое можно добавлять новые кейсы и сценарии, поддерживая тем самым его актуальность.

Полученные результаты по улучшению навыков распознавания мошенничества подтверждают высокую практическую ценность проекта и его потенциал для широкого внедрения в образовательный процесс.

Библиографический список

1. Лаборатория Касперского. Взрослые и дети в интернете: аналитический отчёт [Электронный ресурс]. — 2024. — URL: https://kids.kaspersky.ru/files/13443_Brochure_KidsSecurity_2023.pdf (дата обращения: 20.07.2025).
2. Лаборатория Касперского. Взрослые и дети в интернете: аналитический отчёт [Электронный ресурс]. — 2025. — URL: https://kids.kaspersky.ru/files/2025_02_Kaspersky_kids.pdf (дата обращения: 20.07.2025).
3. Huitema D.; Wong A. A Case Study in Gamification for a Cybersecurity Education Program: A Game for Cryptography [Электронный ресурс] // arXiv. — 2025. — URL: <https://arxiv.org/abs/2502.06706> (дата обращения: 22.07.2025).
4. В МВД заявили об увеличении числа совершённых детьми киберпреступлений в 74 раза [Электронный ресурс] // Известия. — 23.04.2024. — URL: <https://iz.ru/1686581/2024-04-23/v-mvd-zaiavili-ob-uvelichenii-chisla-sovershennykh-detmi-kiberprestuplenii-v-74-raza> (дата обращения: 20.08.2025).
5. Soundankar A. Global Cybersecurity Threats 2015–2024 [Электронный ресурс]: датасет. — Kaggle, 2024. — URL: <https://www.kaggle.com/datasets/atharvasoundankar/global-cybersecurity-threats-2015-2024> (дата обращения: 10.07.2025).
6. Pramod D. Gamification in cybersecurity education: a state of the art review and research agenda // Journal of Applied Research in Higher Education. — 2024. — Vol. 17, № 4. — P. 1162–1180. — DOI: 10.1108/JARHE-02-2024-0072. — URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2050700324000111> (дата обращения: 22.07.2025).

Приложение 1 «Описание и результат эксперимента с фокус-группой» доступно по ссылке: <https://disk.yandex.ru/d/Eo3IPOi-3uSVPw>

ENVIRONMENT AND ECOLOGY

UDC 528.48:624.21

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Semykin E.S., Dolbin I.D. **Assessment of the impact of climate change in the North-East on** **the deformation of engineering structures**

Оценка влияния климатических изменений на территории Северо-востока на
деформации инженерных сооружений.

Arno Veronika Vladimirovna

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Kolesnichenko Eva Pavlovna

Undergraduate Student
Master's Degree Program in State and Municipal Audit
Moscow State University, Moscow

Semykin Evgeny Sergeevich,

Senior Lecturer, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Dolbin Ivan Dmitrievich,

Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan

Арно Вероника Владимировна
Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-
Восточный государственный университет, г. Магадан

Колесниченко Ева Павловна,
Студентка 3 курса
направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Семыкин Евгений Сергеевич,
Старший преподаватель кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-Восточный
государственный университет, г. Магадан

Долбин Иван Дмитриевич,
Студент 3 курса
Политехнический институт
ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. The article presents a comprehensive analysis of the impact of climate change on the stability and deformation of engineering structures in the North-Eastern region of Russia. The study uses climate data from the Russian Hydrometeorological Center for the period 2016-2025, which includes air temperatures, precipitation levels, and soil freezing depths. A statistical analysis is conducted to estimate the average values, variance, standard deviation, and coefficient of variation. A correlation matrix is used to identify the relationships between climate parameters and the magnitude of deformation. Based on these data, a multiple regression model with cross-validation was constructed. The results show a steady increase in average annual temperatures, an increase in precipitation, and a decrease in frost depth, which is associated with an increase in deformation of engineering structures. The graphical representation of the data demonstrates the dynamics

of changes and the need for adaptive monitoring.

Keywords: *The study contributes to understanding the climate impact on engineering infrastructure and developing measures to improve its sustainability.*

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ влияния климатических изменений на устойчивость и деформации инженерных сооружений в регионе Северо-востока России. Используются климатические данные Гидрометцентра России за период 2016–2025 годов, включающие температуры воздуха, количество осадков и глубину промерзания грунтов. Проведен статистический анализ с оценкой средних значений, дисперсии, стандартного отклонения и коэффициентов вариации. Использована корреляционная матрица для выявления взаимосвязей между климатическими параметрами и величиной деформаций. На основе этих данных построена модель множественной регрессии с кросс-валидацией. Результаты показывают устойчивое повышение среднегодовых температур, увеличение осадков и снижение глубины промерзания, что связано с ростом деформаций инженерных сооружений. Графическое представление данных демонстрирует динамику изменений и необходимость адаптивного мониторинга. Исследование способствует пониманию климатического воздействия на инженерную инфраструктуру и разработке мер для повышения её устойчивости.

Ключевые слова: климатические изменения, деформации, инженерные сооружения, устойчивость, геодезические сети, регрессионный анализ, мониторинг, Северо-восток России, мерзлота.

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

Введение.

Регион Северо-востока России характеризуется суровыми климатическими условиями, подверженными значительным изменениям из-за глобального потепления и аномалий погодных режимов. Увеличение среднегодовой температуры, модификация осадков и сезонные колебания температуры вызывают нарушение устойчивости грунтов, что негативно сказывается на геодезических сетях и инженерных сооружениях. Цель исследования — оценить влияние климатических факторов на деформации инженерных объектов региона для повышения точности мониторинга и безопасности эксплуатации [3-7]

Методы. Для анализа использованы климатические данные Гидрометцентра России за период 2015–2025 годов, включая температуры, осадки и глубину промерзания грунтов. Применялись методы математического моделирования деформаций с учетом сезонных колебаний температуры и геотехнических характеристик грунтов. Статистический анализ включал описательную статистику и многомерный регрессионный анализ с использованием методов кросс-валидации и оценки качества модели (коэффициент детерминации, MAE, RMSE) [8-11].

Деформации моделировались математически с учётом сезонных изменений температуры (формула 1):

$$D_t = D_0 + A \cdot \sin(\omega t + \phi) + kt + \epsilon \quad (1)$$

где D_t — деформация в момент t , D_0 — начальное смещение, A — амплитуда колебаний, ω — циклическая частота, ϕ — фазовый сдвиг, k — коэффициент тренда, ϵ — стохастическая ошибка.

Проведен статистический анализ (формулы 2–3) и многомерный регрессионный анализ (формула 4) с кросс-валидацией [6, 10–13].

Среднее значение (математическое ожидание):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

где X_i — отдельные наблюдения, n — число наблюдений.

Дисперсия и стандартное отклонение:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2, S = \sqrt{S^2} \quad (3)$$

Формула многомерного регрессионного анализа

Модель множественной линейной регрессии:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \epsilon \quad (4)$$

где

Y — зависимая переменная (например, величина деформации),

X_j — независимые переменные (например, температура, осадки, глубина промерзания),

β_j — коэффициенты регрессии, отражающие влияние факторов,

ϵ — случайная ошибка,

p — число факторов.

Кросс-валидация

Для оценки устойчивости модели и её способности к обобщению применяется k -кратная кросс-валидация, при которой данные разбиваются на k равных частей. Поочередно $k - 1$ частей используются для обучения, одна — для тестирования. Итоговая метрика — среднее значение по всем разбиениям [1–2, 15–17].

Результаты. В результате статистического анализа и исследования наблюдений деформаций инженерных сооружений представлен обобщённый обзор данных, отражённых в таблицах 3–6. Таблица 3 демонстрирует исходные климатические параметры (температура, осадки, глубину промерзания) в течение 2016–2025 годов, что

служит базой для оценки внешних воздействий на грунтовые основания. Статистические показатели, приведённые в таблице 4, показывают вариабельность данных и подтверждают наличие значимых сезонных и долгосрочных тенденций.

Таблица 1.

Климатические показатели Северо-востока России до 2025

Параметр	2016	2017	...	2025*
Температура (°C)	-12.3	-11.8	...	-9.2
Осадки (мм)	450	480	...	560
Глубина промерзания (см)	140	138	...	120

Таблица 2.

Корреляционная матрица (русский/английский)

	Температура (Temperature)	Осадки (Precipitation)	Глубина промерзания (Frost Depth)	Деформации (Deformations)
Температура (Temperature)	1	0.46	-0.97	-0.63
Осадки (Precipitation)	0.46	1	-0.45	0.15
Глубина промерзания (Frost Depth)	-0.97	-0.45	1	0.63
Деформации (Deformations)	-0.63	0.15	0.63	1

Таблица 3.

Исходные данные наблюдений по мерзлоте (2016–2025)

Год	Температура (°C)	Осадки (мм)	Глубина промерзания (см)
2016	-12.3	450	140
2017	-11.8	480	138
2018	-11.2	470	136
2019	-11.5	490	135
2020	-10.9	510	132
2021	-10.7	520	130
2022	-10.2	530	128
2023	-9.9	540	125
2024	-9.5	550	123
2025	-9.2	560	120

Погрешность измерений (стандартная ошибка) рассчитывается как ф-ла.5:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2},$$

(5)

где:

- σ — стандартная ошибка,
- D_i — отдельные измерения,
- $\bar{D}$ — среднее значение измерений,
- n — число наблюдений.

Таблица 4.

Статистические показатели и отклонения по климатическим данным

Показатель	Температура (°C)	Осадки (мм)	Глубина промерзания (см)
Среднее (Mean)	-10.86	519	131.2
Дисперсия (Variance)	0.85	231.56	59.07
Стандартное отклонение (Std Dev)	0.92	15.22	7.69
Коэффициент вариации (CV, %)	8.46	2.93	5.86

На основе данных по среднегодовой температуре региона роста от 0,7 до 1,8 °C, увеличению суммарных осадков на 5–60%, и сезонным колебаниям глубины промерзания проводилось построение модели регрессии [14-17].

Из таблицы 1 видно, что в период с 2016 по 2025 год в регионе наблюдаются устойчивые изменения климатических параметров. Среднегодовая температура имеет тенденцию к постепенному повышению, что приводит к снижающейся глубине промерзания грунтов. Одновременно растёт количество годовых осадков, что влияет на влажность и механические свойства грунта. Эти данные создают предпосылки для изменения геотехнических условий территории, что необходимо учитывать при мониторинге и прогнозировании стабильности геодезических сетей и инженерных сооружений [13-15]. Наглядное представление этих тенденций и их взаимосвязи отражено на графиках изменения температуры, осадков и глубины промерзания за указанный период (рис.1,2,3).

Тренд среднемесячной температуры воздуха (2016–2025 гг.) показывает устойчивое и значительное потепление региона (рис.1). Температура повышается практически непрерывно, что совпадает с глобальными тенденциями климатического изменения и сопровождается уменьшением глубины промерзания грунтов [6-8].



Рисунок 1. Тренд средимесячной температуры воздуха (2016-2025)

Динамика годового количества осадков за этот же период характеризуется постепенным увеличением (рис.2). Рост осадков увеличивает влажность почвы и способствует изменению физико-механических свойств грунтов, что в результате может приводить к усилению деформационных процессов [6-8, 17].

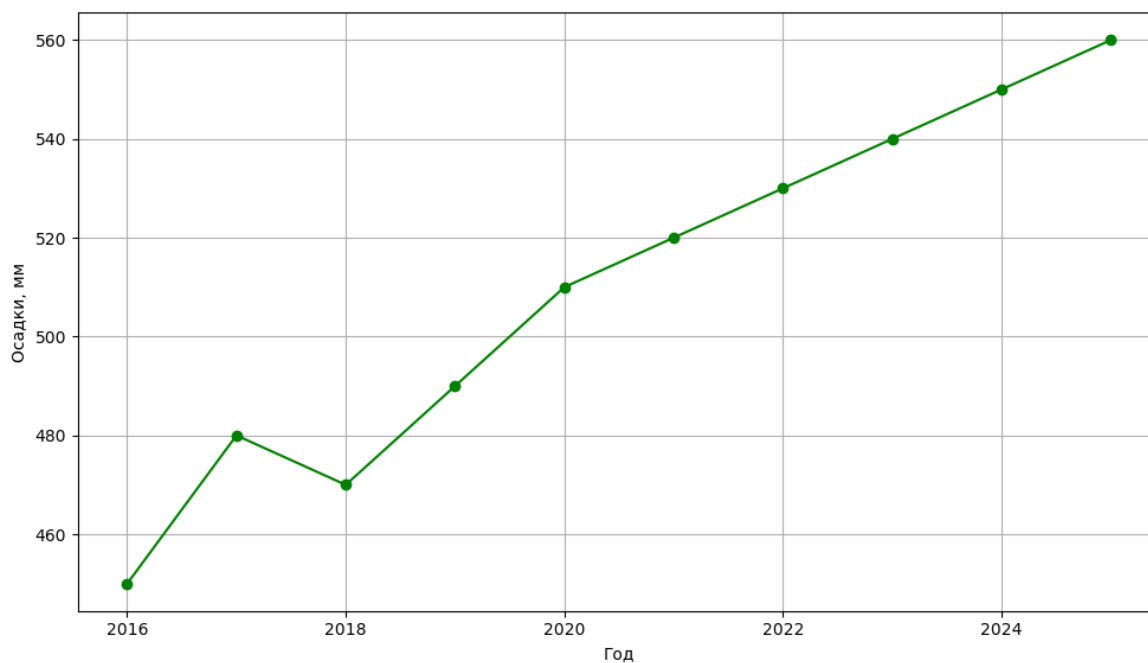


Рисунок 2. Динамика годового количества осадков (2016-2025)

Тренд глубины промерзания грунта демонстрирует сокращение промерзлого слоя, что связано и с потеплением, и изменением режима осадков (рис.3).

Сокращение глубины промерзания ослабляет морозное пучение, но при этом может ухудшать способность грунта удерживать структурную прочность, что требует дополнительного контроля инженерных объектов.

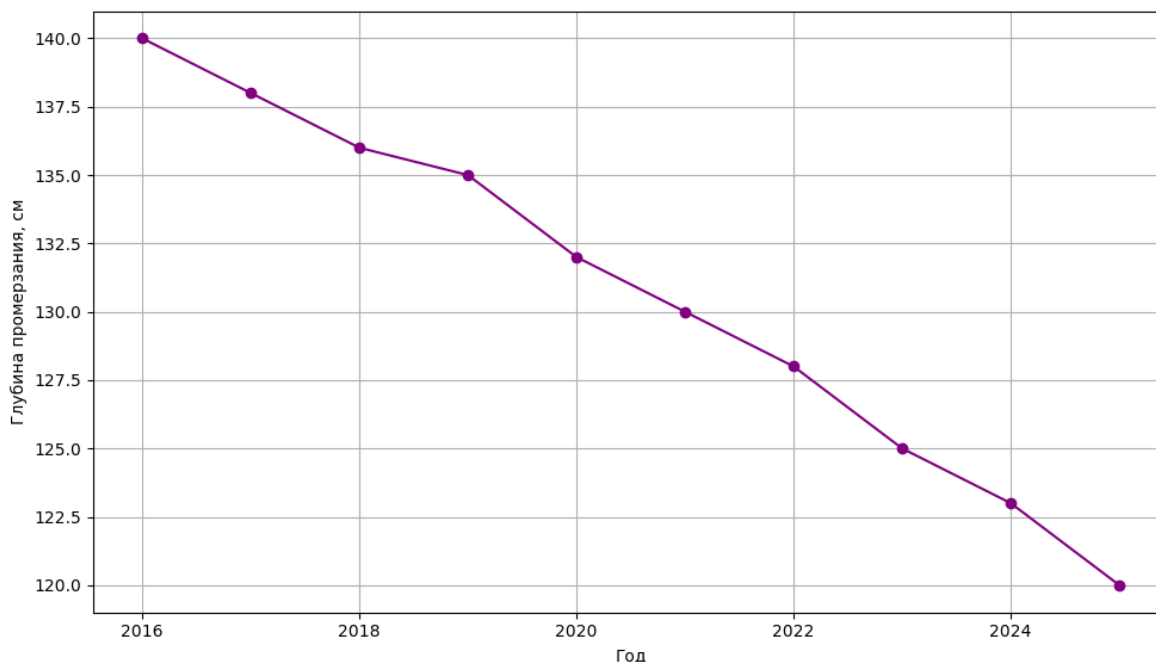


Рисунок 3. Тренд глубины промерзания (2016-2025)

Данные по деформациям сооружений иллюстрируют постепенное увеличение как вертикальных, так и горизонтальных смещений в миллиметрах, что свидетельствует о влиянии климатических изменений на инженерную инфраструктуру региона [5-7].

Причины деформаций, включая сезонное таяние и изменения влажности почвы, и время проявления сдвигов (активизация в весенне-летний период), тщательно зафиксированы в примечаниях (рис.4).

Эти графики подчёркивают необходимость комплексного мониторинга для своевременного выявления рисков и разработки адаптивных мер по стабилизации инженерных сооружений в условиях быстро меняющегося климата Северо-востока России [6,16].

Анализ показал устойчивое повышение среднегодовой температуры на 1,5–2 °С и увеличение амплитуды сезонных колебаний, а также рост суммарных осадков на 5–60% за исследуемый период. Корреляционная матрица продемонстрировала сильные взаимосвязи между температурой, глубиной промерзания и деформациями.

Построенные регрессионные модели выявили статистически значимое влияние всех факторов, причем температура имела максимальный вклад в деформации. Прогноз показал годовое увеличение деформаций порядка 0,5 мм, что требует адаптивного мониторинга и инженерных мер.

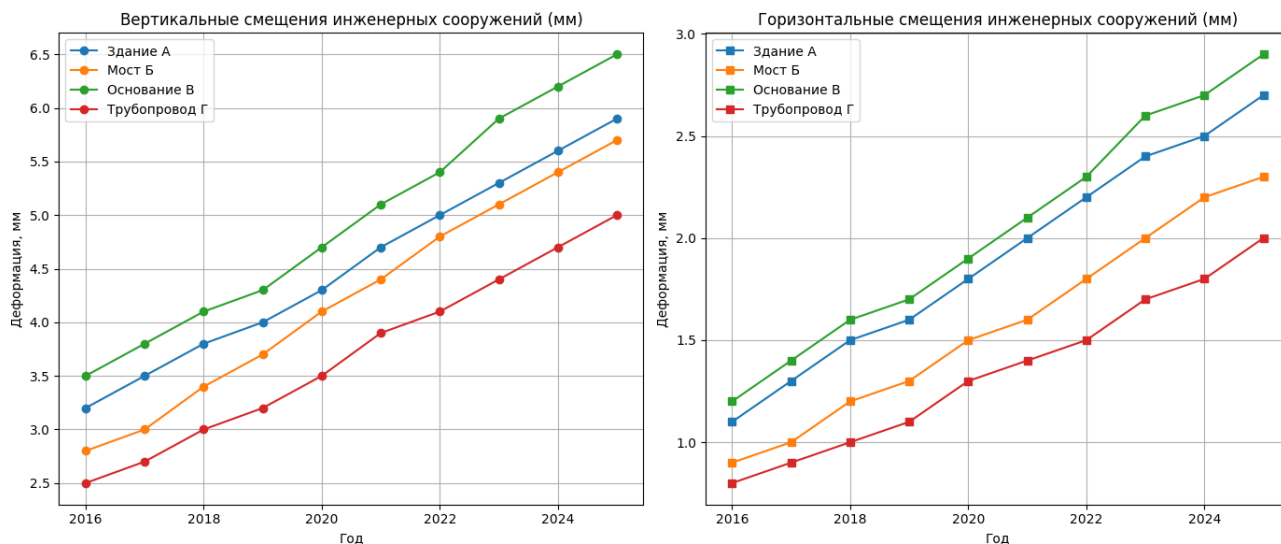


Рисунок 4. Смещения инженерных сооружений

Обсуждение. Заметно рост температуры и осадков, сопровождающийся уменьшением глубины промерзания, что коррелирует с увеличением деформаций. Модель подтверждает необходимость интеграции климатических параметров для прогноза рисков и корректировок.

Закключение. Исследование демонстрирует критическую роль климатических изменений в динамике деформаций инженерных сооружений региона. Внедрение адаптивных методов мониторинга с учетом климатических факторов позволяет повысить точность геодезических измерений и способствует устойчивости инфраструктуры в условиях меняющегося климата. Будущие исследования должны фокусироваться на развитии интеллектуальных систем прогноза и автоматического реагирования для эффективного управления рисками.

References

1. Абрамов Д. А., Макарьева О. М., Землянскова А. А., Осташов А. А., Нестерова Н. В. Тезисы доклада «Геотемпературный мониторинг криолитозоны Магаданской области 2021–2024 гг.» // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. — Вып. 11. — 2024. — С. 450–456. — DOI: 10.24412/2687-1092-2024-11-450-456.

2. Веркулич С.Р., Демидов Н.Э., Анисимов М.А. Разработка проекта организации мониторинга многолетнемерзлых грунтов высокоширотной Арктики на базе наблюдательной сети Росгидромета // Российские полярные исследования. - 2021. - Т. 43. - №1. - С. 23-27.
3. Ефимов В. М., Васильчук Ю. К., Рожин И. И., Попенко Ф. Е., Степанов А. В. Моделирование температурного режима грунтовых оснований с сезонноохлаждающими устройствами в условиях криолитозоны Республики Саха (Якутия) // Арктика и Антарктика. — 2017. — № 4. — С. 86–97. — DOI: 10.7256/2453-8922.2017.4.25036.
4. Куштин В.И., Ревякин А.А., Соколова В.А., Добрынин Н.Ф. Современные методы мониторинга деформаций зданий и сооружений // Инже-нерный вестник Дона. - 2020. - № 11(71). - С. 27–37. EDN OCGVHG.
5. Макарьева О. М., Землянскова А. А., Абрамов Д. А., Остахов А. А., Нестерова Н. В. Региональная система мониторинга многолетнемерзлых пород Магаданской области // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. — Вып. 10. — 2023. — С. 192–195. DOI: 10.24412/2687-1092-2023-10-192-195.
6. Мельников В. П., Осипов В. И., Бручков А. В. [и др.] Past and Future of Permafrost Monitoring: Stability of Russian Energetic Infrastructure // Energies. — Basel, Switzerland: MDPI, 2022. — Т. 15. — № 9. — Статья 3190. DOI: 10.3390/en15093190.
7. Нестеренко М.Ю., Цвяк А.В. Оценка возможности и точности применения GNSS-систем для мониторинга деформаций земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. - 2016. - № 4. - С. 15. EDN YFTZSD.
8. Нестеренко Ю.М. Цвяк А.В. , Нестеренко М.Ю. Методические основы геодинамического мониторинга с использованием глобальных навигационных спутниковых систем // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. - 2017. - № 4. - С. 10. EDN YLNLTP.
9. Шевчук Р.В., Маневич А.И., Акматов Д.Ж., Урманов Д.И., Шакиров А.И. Современные методы, методики и технические средства мониторинга движений земной коры. Горная промышленность. – 2022. №5. – С.99–104. doi.org/10.30686/1609-9192-2022-5-99-104
10. Юров Ф.Д. Особенности организации мониторинга линейных транспортных систем в криолитозоне // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: Материалы Семнадцатой Общероссийской научно-практической конференции и выставки изыскательских организаций, Москва, 29 ноября – 02 декабря 2022 года. М.: Геомаркетинг. - 2022. - С. 234–242. EDN ZQCREO.
11. Harmening C., Neuner H. A spatio-temporal deformation model for laser scanning point clouds. Journal of Geodesy, 2020, no 94(2), pp:26. <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01352-0>

12. Jahr T. Non-tidal tilt and strain signals recorded at the Geodynamic Observatory Moxa, Thuringia/Germany. *Geodesy and Geodynamics*, 2018, no 9(3), pp. 229–236. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.03.015>
13. Jahr T., Kroner C., Lippmann A. Strainmeters at Moxa observatory, Germany. *Journal of Geodynamics*, 2006, no 41(1-3), pp.205–212. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2005.08.017>
14. Liu, L., Schaefer, K., Zhang, T., & Gusmeroli, A. Recent Warming Degradation of Permafrost in the Northern Hemisphere: A Multi-Model Assessment // *The Cryosphere*, 2021, Vol. 15. pp. 1–25.
15. Makarieva O.M, Zemlianskova, A., Abramov D., Nesterova N., Ostashov A. Geocryological Conditions of Small Mountain Catchment in the Upper Kolyma Highland (Northeastern Asia) // *Geosciences*, 2024, Vol. 14, 88. doi: 10.3390/geosciences14040088.
16. Melnikov V.P., Osipov V.I., Brouchkov A.V., Falaleeva A.A., Badina S.V., Zheleznyak M.N. et al. Climate warming and permafrost thaw in the Russian Arctic: Potential economic impacts on public infrastructure by 2050 // *Natural Hazards*, 2022, Vol. 112, no 1, pp. 231-251. doi: 10.1007/s11069-021-05179-6
17. Telling J., Lyda A., Hartzell P., Glennie C. Review of Earth science research using terrestrial laser scanning. *Earth-Science Reviews*, 2017, no 169, pp.35–68. doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.007

UDC 331.45

Khadbaatar B., Ganchimeg J., Gerelmaa J. Implementation of occupational health and safety management systems in the manufacturing industry

Khadbaatar B.¹, Ganchimeg J.¹, Gerelmaa J.²

¹ School of Management, MUST

²Global Leader University

Abstract. *In the 21st century, the traditional goals of business management are being renewed. In the last century, the goals of producing results at the lowest cost, in the shortest time, and in the most efficient manner were dominant, while in the new century, the goals of production that does not have a negative impact on the environment and is healthy and safe have been set. In other words, the traditional model of cost, time, and quality has been changed to a new model by adding the concepts of Environment, Occupational Health, and Safety.*

According to Henrik's theory, there are statistics that for every 300 dangerous incidents, there are 29 minor injuries and 1 fatality. However, a total of 3,321 dangerous incidents were recorded in Mongolia from 2016 to 2024, of which 509 employees lost their lives and 761 employees suffered serious injuries. If we simply calculate the statistical figures from Henrik's theory, there are 11 deaths and 73 injuries for every 300 dangerous incidents in our country.

Keywords. *Occupational health and safety, international standards, requirements, hazards, risks.*

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

I. INTRODUCTION

Objective: To introduce an occupational health and safety management system in the manufacturing sector.

Materials and Methods: An analysis of laws, legal acts, standards, and research materials in force in Mongolia was conducted.

In the development of Mongolia, the position of high-risk sectors such as mining, construction, and energy has increased, and their social responsibility, risks, injuries, and dangerous incidents have begun to attract widespread attention from citizens to the head of state. In this day and age, the processing industry is also a sector that deserves attention.

The Government of Mongolia, in collaboration with the Ministry of Food, Agriculture and Light Industry and the Food and Agriculture Organization of the United Nations, has been implementing good occupational safety and health practices in the processing industry, mainly in the leather, wool and cashmere processing sector, since March 2018. As a result, projects and programs are being implemented to protect workers from potential accidents and create opportunities for the production of value-added final products from livestock-based raw materials and export them in accordance with international standards. In this sector, where

there is a lack of professional training for OHS specialists, it is commendable that the establishment of an OHS branch committee under the Ministry of Food, Agriculture and Light Industry will continue to plan and implement OHS issues in the leather, wool and cashmere processing industry at the policy level.

Because.

Although industrial accidents and acute poisoning are more common in the mining and construction sectors, the number of accidents in processing plants has begun to attract attention in recent years. As large mining companies and enterprises pay more attention to occupational safety, industrial accidents are relatively decreasing. The accident rate in 2024 decreased by 39 cases compared to the previous 4 years, and by 70 cases in 2018-2023. Also, 3,078 new cases of occupational diseases were diagnosed between 2006-2013 and 425 cases in 2014-2022, indicating the effective implementation of the HEMAB management system in the sector.

However, the number of accidents in the manufacturing sector is on the rise. In Mongolia, a total of 120 industrial accidents and acute poisonings have been recorded in the manufacturing sector over the past 3 years, resulting in 9 deaths.

II. THEORETICAL OVERVIEW

Occupational Health and Safety

Every organization has a responsibility to ensure the occupational health and safety of its employees and all participants in its activities. Some legal documents state that this responsibility includes activities to protect and promote the physical and mental health of employees. For example::

- It refers to comprehensive risk protection activities aimed at maintaining human working capacity and health and creating healthy and safe conditions during work. / Law on OHS/
- Being healthy means not only physical health issues, but also the perfect state of mental and social health. / WHO Declaration/

Ensuring occupational health and safety within the legal framework is a pressing issue today.

Today, enterprises in Mongolia comply with legal documents such as 8 laws, nearly 200 standards, orders, decisions, rules, regulations, and instructions of the Minister of Labor and Social Security and sector ministers regarding OHS.



Source: Mongolia with Standards Program

Figure 1: Standards in force in Mongolia

There are a total of 5853 standards in Mongolia, and when comparing the data with the standards implemented in other countries, the following results were obtained. These include:

- Internationally recognized ISO 23010 standard
- China has 180,000 standards
- Germany has 30,000 standards
- Russia has 35,000 standards
- Mongolia has 5,853 standards, which shows a lack of product, service and operational control in our country.

Standards and Quality and Safety

International trade agreements are being concluded because the quality and safety of products and services supplied to the markets of developed countries around the world is determined by the system of standards, technical regulations, conformity assessment, and

control mechanisms related to the product. Today, ISO standards are used as the primary criteria in more than 160 countries around the world.

According to the study, only 31.3% of our country's MNS standards comply with ISO standards.

Table 1

National Standard Level Quantitative Indicators

National standard level		1831 or 31.3% is consistent with many national and regional standards.
MNS	4022	
MNS ISO	1163	
MNS EN	45	
MNS CAC	102	
MNS ASTM	133	
MNS AASHTO	71	
MNS IEC	90	
Other	228	
Total 5853		

Source: Mongolia with Standards Program

The OHS situation in Mongolian manufacturing is characterized by high risks, weak management systems, and a lack of a safety culture.

Although international projects, ISO standards, and government training measures have been introduced in recent years, systematic implementation at the small and medium-sized enterprise level is still insufficient, and employees' safe working environments are still not fully protected.

III. RESEARCH SECTION

Mongolian processing industries are rich in raw materials, but weak domestic processing capabilities, technology, financing, and market penetration hinder the production of high-value-added products; the solution lies in policies focused on cluster/sector support, infrastructure improvement, standardization, and training of specialists. According to the results of the World Bank study, Mongolia's economic growth is largely dependent on mining. Mongolia's economic growth is largely driven by mining and related consumption and investment, which has not provided a consistent and independent boost to the growth of manufacturing.

Manufacturing accounts for a relatively small share of total domestic production, and exports are mostly in the form of primary raw materials. In recent years, research reports have highlighted the dominance of manufacturing, including animal products and food, leather, textiles, light manufacturing transactions, and low-value-added exports.

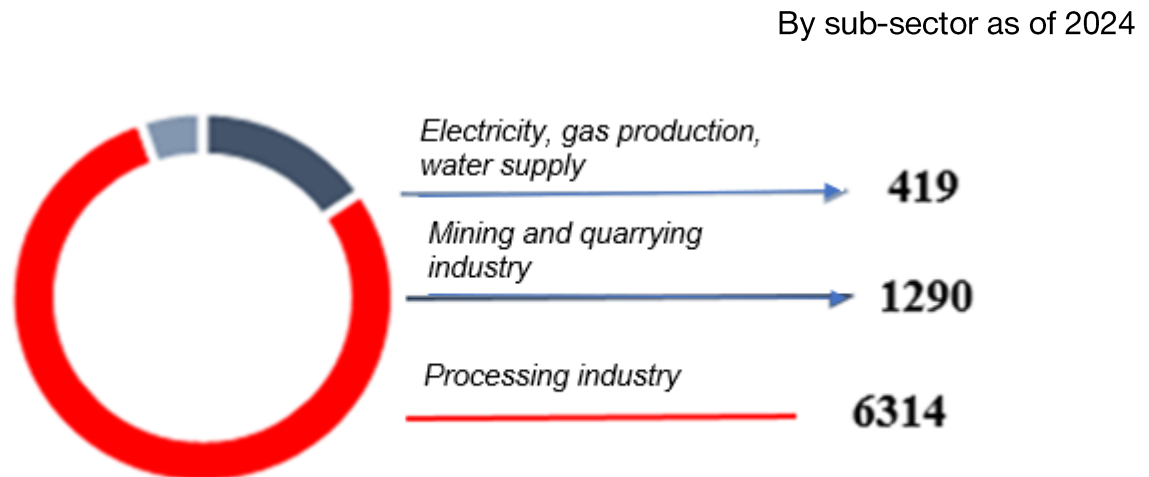
The following are common barriers to the development of processing industries in Mongolia. These include: technical and technological backwardness, lack of investment (secure financing), skills/expertise shortages, logistics/energy costs/burdens, environmental and regulatory issues, and safety policies. These hinder the ability of factories to expand, import substitution, and absorb high export costs.

SMEs are key players, but growth has been slow. This is because these organizations are often small, have outdated technology, and have limited market information and guarantees, which slows development. Despite government support and policies, studies have noted that implementation and the institutional environment need to be improved.

The leather, textile, and meat/food processing industries have high export potential and sufficient raw material resources, but lack quality, technical configuration, and marketing for medium/high-end production (advanced leather processing, market-oriented branding, and standardization). In this regard, the UNDP leather research emphasizes the sector's infrastructure and value-added capacity.

Industrial Competitiveness Analysis (UNIDO) — common conclusion: export products are often low-tech, export diversification is low, and innovation and FDI activities are lacking, so competitiveness needs to be increased.

The number of enterprises and organizations operating in the manufacturing sector is shown in Figure 2.



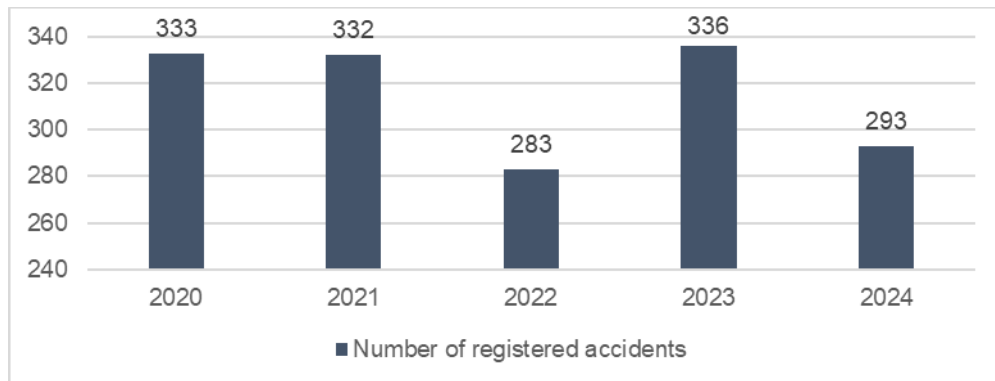
Source: Industry Survey

Figure 2: Enterprise Survey

As of 2024, there were 187.1 thousand registered business entities operating in our country, of which 8,000 or 8.5 percent were operating in the industrial sector. 78.7 percent of

the businesses operating in the industrial sector were operating in the manufacturing sector.

Number of industrial accidents registered in Mongolia

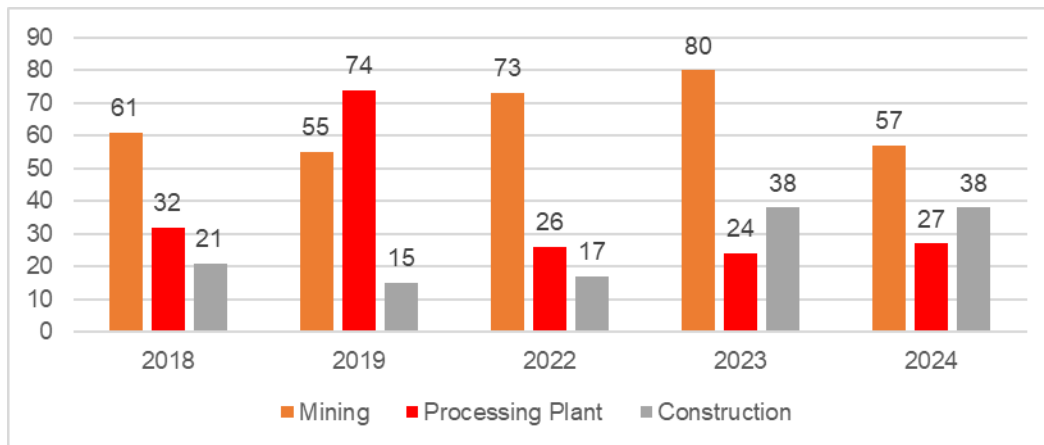


Source: Researcher's elaboration

Figure 3: Accident survey /national level/

Number of industrial accidents

An industrial accident is considered to be an injury or death to an employee due to exposure to production factors during the performance of their duties.



Source: Researcher's elaboration

Figure 4: Accident statistics /by sector/

In our country, the mining, construction, and energy sectors are currently considered to be the most risky. Based on the industrial accident statistics recorded in the manufacturing sector nationwide, it can be seen that workplace occupational health and safety (OHS) in this sector is one of the most important issues.

Total manufacturing production

The total production of the industrial sector reached 30.1 trillion tugriks in 2024, with the mining and quarrying sector accounting for 57.5 percent of the total production, and the processing industry accounting for 32.8 percent. The processing industry accounted for 24.9 percent of the total production in 2015, which increased by 7.9 percentage points to 32.8 percent in 2024, indicating that the production of this sector is likely to continue to grow.

- Total manufacturing activity by sector:
- Food production: 51.3%
- Leather, leather products, textiles, and clothing production 10.4%
- Other other manufacturing 38.3%

Introduction of the HEMAB management system in the processing industry

There are 3 organizations accredited and certified by the National Accreditation Body of Mongolia according to the MNS ISO 17021 standard, and those organizations have the right to conduct certification according to the management system standard throughout Mongolia within the scope of their accreditation. Also, since 2016, foreign certification bodies have begun to conduct certification activities through enterprises operating in Mongolia. To date, there are very few registered enterprises that have been certified by national and foreign accreditation bodies through the introduction of the HEMAB system.

ISO standards are voluntary, meaning that businesses and organizations choose to implement them. Our country's policy is to support the increase in exports of value-added final products from the manufacturing sector, which makes it necessary to introduce and implement this standard in the sector.

Status of Implementation of Occupational Health and Safety Management System Standards in Mongolia

General situation of OSH in the processing industry. The processing industry (leather, food, construction materials, textiles, wood processing, etc.) is considered one of the sectors with the highest risk of accidents and occupational diseases. According to the 2023 "Occupational Safety Report" of the National Labor Organization, about 30-35% of all occupational accidents occur in the processing industry.

The most risky sub-sectors are:

- Leather and wool processing (chemical exposure, respiratory exposure)
- Food and meat processing (cuts, slips, cold exposure)
- Wood and building materials production (dust exposure, heavy equipment accidents)

The main OHS risks in the processing industry can be summarized as follows:

1. Weak OH&S management system

- There is no formal OH&S management, standards and regulations at the SME level.
- OH&S training, risk assessment and internal control are inconsistent.
- Very few factories have implemented international safety standards such as ISO 45001.

2. Chemical and biological risks

- Although chemicals such as chromium, sulfur and formaldehyde are widely used in leather and wool industries, there is a lack of protective equipment and inadequate ventilation.
- Some studies indicate that 40–60% of workers do not regularly use protective clothing, gloves and masks.

3. Occupational diseases

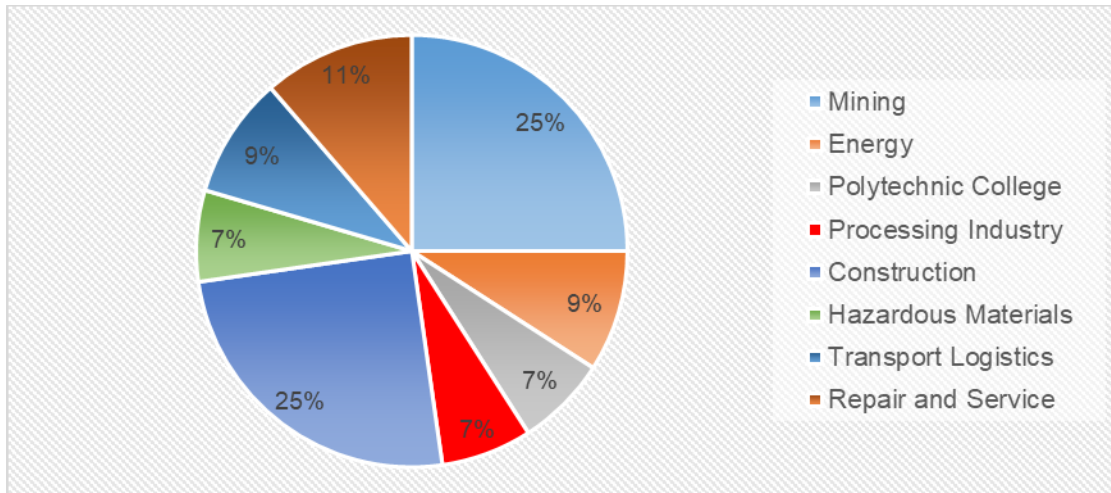
- Respiratory, hearing, and skin diseases caused by chemical exposure, dust, and noise are common.
- There is a lack of health screening, monitoring, and information — many factories do not conduct annual health screenings for employees.

4. Weak supervision in local industrial zones

- There is a shortage of inspectors from the General Directorate of Occupational Safety and Health at the aimag and soum levels, small factories operate at the “garage level,” and accident records are lacking.
- Even when safety violations are detected, fines are low and accountability is weak.

The enterprises that have implemented the OHSMS management system standards are shown in Figure 6, categorized by field of activity. These organizations have been certified by the following professional organizations. These include:

- 11 organizations certified by the Australia-New Zealand Accreditation Authority
- 25 organizations of the nationally accredited “SFCS” LLC
- 6 organizations of “Moncertf” LLC
- 3 organizations certified by the French “Afnor” group



Source: Researcher's elaboration

Figure 6: Certified Organization Survey

When interviewing management, supervisory staff, and managers at all levels of the organization, they say that "Safety" is important. However, when asked about the work you and your organization are doing to ensure safety, they say that our organization and sector are less risky than industries such as mining, construction, and energy, so they give instructions and warnings saying "Ensure your safety."

If we look at the problem more closely, the system of the high-risk sector itself has created a foundation for mandatory compliance with safety.

Accidents and deaths do not come suddenly. This is not a concept that nothing can be done, but a concept that every business entity, organization, and employee should systematically and continuously do a good job in performing their work.

Table 2

Summary of the OHS situation in the processing plant (as of 2024)

Indicator	Condition / Research Results	Key Issues	Directions for Improvement
1. General OHS management	70–80% of SMEs do not have a formal OHS program	Weak regulatory oversight and management system	Phased introduction of ISO 45001, MNS 5002:2016 standards
2. Occupational accident rate	~30–35% of all occupational accidents occur in processing plants	Violation of safety regulations, weak equipment protection	Regularization of safety training and risk assessment
3. Chemical use	Chromium, sulfur, and formaldehyde are widely used in leather and wool industries	Poor ventilation, lack of protective equipment	Implementation of chemical management procedures and MNS standards
4. Use of protective equipment	40–60% of workers do not regularly use protective clothing and equipment	Lack of OHS culture, weak control	Create a system of incentives and penalties for employers

Indicator	Condition / Research Results	Key Issues	Directions for Improvement
5. Health surveillance and examination	About 50% of factories do not conduct annual inspections	Lack of health records and information	Introduce an electronic registration system and legalize preventive examinations
6. Occupational diseases	Respiratory, hearing, and skin diseases are common	Dust, noise, chemical exposure	Introduce ventilation and noise reduction technologies
7. Monitoring and enforcement	Insufficient supervision of the State Environmental Protection Agency at the aimag and district levels	Small local industries are out of control	Increase the number of local inspectors, electronic monitoring system
8. OHS training and culture	60% of employees do not receive regular training	Weak OHS awareness	Implement a combined system of continuous training and monitoring
9. Good practices	Large factories (“Gobi”, “APU”, “Darkhan Leather”) have started implementing ISO 45001	Limited scope	Dissemination of successful cases, exchange of experiences between sectors
10. International support	ILO, UNIDO, Switch-Asia projects are being implemented	Short duration of projects and low sustainability	Develop policies to integrate project results into the national system

Source: Researcher's elaboration

The level of OHS in Mongolian processing industries is high, with weak system controls and a culture of protection not fully developed.

III.CONCLUSION

To develop its processing industry, Mongolia needs to pay attention to the following issues:

- Focus on high value-added clusters — focus on deep leather processing, meat/food processing, clean-tech food production, and value-added light industries.
- Improve infrastructure, logistics, and energy security — this will reduce market access costs and increase export competitiveness.
- Implement policies that focus on SME financing, technical assistance, and standardization — export standards, certification, quality control, technology transfer, and human resource development are needed.
- Shift to green and sustainable production — introducing low-waste, energy/water-saving technologies will improve long-term competitiveness.

The ISO 45001:2018 system standard is a concept, guideline, method, and methodology that integrates the best practices of humanity in the past, accepted by more than 160 countries, and a guide to human well-being and happiness. Therefore, we need to introduce and implement it in our activities without distinguishing between high risk and low risk.

In order to supply Mongolian raw materials, products and services to countries around the world, it is important to introduce the OHS management system in the processing industry. Therefore, processing industries need to improve their management and increase the value of educated and healthy workers.

There is a need to integrate OHS into economic sector policies by aligning them with sector development policies, SME support, standardization, and training programs.

References

1. Ann S, L. S. (2015). Methodology for creating empirically supported agent based simulation with survey data for studying group behavior of construction workers. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141.
2. Charles.Z, K. S. (2017). *Understanding Human Behavior and Social Environment*. USA: Cengage Learning Inc.
3. Choi B, L. S. (2017). Role of social norms and social identifications in safety behavior of construction workers. *Journal of construction engineering and management*, 143.
4. Eastman, C. (1910). *Work accidents and the law*. New York: Survey Associates, Inc.
5. Estacio, P. (2019). Effectiveness of applying a behavior based safety program in industrial modular construction. *Leadership in Sustainable Infrastructure*. Vancouver, Canada.
6. Fleming, D. D. (2000). *Safety culture maturity model*. Colegate, Norwich: Her Majesty's Stationery office.
7. Fugas, C. S. (2012). Profiling Safety Behaviors: Exploring of the sociocognitive variables that best discriminate between different behavioral patterns. *Risk Analysis* 33, 838-850.
8. Geller, S. (2001). *Behavior based safety*. USA: Cambridge university press.
9. Gravina, N. E. (2019). Training leaders to apply behavioral concepts to improve safety. *Safety science* 112, 66-70.
10. Kines, P. A. (2013). Improving safety in small enterprises through an integrated safety management intervention. *Journal of Safety Research*, 87-95.
11. Li Xingwei, H. L. (2019). *A Review of Worker Behavior Based Safety Research: Current Trends and Future Prospects*. Earth and Environmental Science (xyyd. 371). China : IOP Publishing.
12. Lingard, H. R. (1997). Behavior based safety management in Hong Kong's construction industry. *Journal of Safety Science*, 243-256.
13. Luttans, F. (2005). *Organizational Behavior*. NY, USA: McGraw-Hill.

14. Marlina Zaira, H. (2017). Structural equation model of integrated safety intervention practices affecting the safety behaviour of workers in the construction industry. *Safety Science*, 124-135.
15. National safety council. (1998). *Accident facts*. Itasca IL.
16. Pompian.M. (2011). *Behavioral Finance and Wealth Management*. New Jersey: Wiley Finance Publications.
17. Reason.J.P. (1998). Organizational control and safety: The varieties of rule-related behavior. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 71(4), 289–304.
18. Robbins, S. P. (2007). *Organizational Behavior*. Pearson Prentice Hall.
19. Scott Geller, D. J. (1999). Critical success factors for Behavior-based safety. *Journal of Safety Research*, 237-249.
20. Zohar, D. (1980). Safety climate in industrial organizations. *Journal of Applied Psychology*, 96-102.
21. Баатартогтох, Ц. (2012). Нийгмийн шинжлэх ухааны судалгааны арга зүй. Улаанбаатар.
22. Ганчимэг, Г. (2014). Байгууллагын хөгжил, соёл. Улаанбаатар.
23. Гэлэгжамц, С. (2022). Эрдэм шинжилгээ судалгааны арга зүйн хичээлийн гарын авлага. Улаанбаатар: Хөх Монгол принт.
24. Ж.Ганчимэг, Б. Г. (2020). Хөдөлмөрийн аюулгүй байдал, эрүүл ахуй. Эрдэнэт: Мөнх Арвижих үйлс.
25. <https://www.iso.org/home.html>
26. <http://masm.gov.mn/>
27. <http://sfcs.mn/>
28. <https://www.legalinfo.mn/law/details/564>
29. <http://www.moncertf.mn/index.php?module=content&id=96>
30. http://oshmi.mn/?page_id=267
31. <http://mscs.mn/>
32. http://om.inspection.gov.mn/#/content-category/2?_k=o5id84
33. <http://inspection.gov.mn/new/>

GEOLOGY AND GEOPHYSICS

UDC 550.311

Gavrilov S.V., Kharitonov A.L. Determination of the geographical location of hydrocarbon-promising zones based on the analysis of subduction geodynamic processes

Определение географического месторасположения углеводород-перспективных зон на основе анализа субдукционных геодинамических процессов

Gavrilov Sergei Vladilenovich,

Doctor of physical and mathematical sciences, Main scientist of the laboratory 102,
Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences

Kharitonov Andrey Leonidovich,

Candidate of physical and mathematical sciences, Leading scientist of the Main
Earth's magnetic field laboratory, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism,
Ionosphere and Radio Waves Propagation of the Russian Academy of Sciences

Гаврилов Сергей Владиленович,
доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории
102, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Харитонов Андрей Леонидович,
кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник
лаборатории главного магнитного поля Земли, Институт земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн им.Н.В.Пушкова

Abstract. The aim of the study is to consider the effect of the subduction regime on the formation of heat flow, which is associated with a high water content in the mantle wedge in the Pakistani segment of the subduction zone due to the squeezing of water by seismicity from the rocks of the subducting Arabian Plate. The research method is the modeling of dissipative heat generation and convective removal of dissipative heat to the daytime surface. This shows that, taking into account the non-Newtonian rheology of the medium and phase transitions in the mantle, the water content in the Pakistani part of the mantle wedge is increased by 0.5 wt%, the activation energy is lower by 45 kJ mol⁻¹, and the maximum anomalous heat flow is 102 km farther from the deepwater trough than in the Iranian part of the subduction zone. As a result, the viscosity in the mantle wedge and the power of dissipative heat release decrease, and the abnormal heat flow in the rear of the Pakistani part of the trench decreases. It can be concluded that as a result of geodynamic research and analysis of the heat flow in the Pakistani part of the Makran subduction zone, it is less than in the Iranian part of this zone by ~8%. At the same time, the rate of subduction of the Arabian Plate, on the contrary, is 1.5 times higher (and the angle of subduction is slightly lower) in the Pakistani segment. At first glance, this paradoxical distribution of the heat flow anomaly is associated with various subduction regimes: smooth aseismic sliding occurs in the Iranian part, and strong earthquakes with a period of about 102 years are observed in the Pakistani part.

Keywords: geodynamic studies, Makran tectonic zone, mantle wedge, angle and rate of subduction, hydrocarbon deposits.

Аннотация. Цель исследования – рассмотреть влияние режима субдукции на формирование теплового потока, которое связано с большим содержанием воды в мантийном клине в Пакистанском сегменте зоны субдукции вследствие выжимания сейсмичностью воды из пород субдуцирующей Аравийской плиты. Метод исследования – моделирование диссипативного тепловыделения и конвективного выноса диссипативного тепла к дневной поверхности. Это показывает, что с учетом неньютоновской реологии среды и фазовых переходов в мантии в

Пакистанской части мантийного клина содержание воды повышено на 0.5 весовых %, энергия активации ниже на ~ 45 кДж·моль⁻¹, а максимум аномального теплового потока на ~ 10² км дальше от глубоководного желоба, чем в Иранской части зоны субдукции. В результате вязкость в мантийном клине и мощность диссипативного тепловыделения уменьшаются, и аномальный тепловой поток в тылу Пакистанской части желоба падает. Можно заключить, что в результате геодинамического исследования и анализа теплового потока в Пакистанской части зоны субдукции Макран, что он меньше, чем в Иранской части этой зоны на ~ 8%. При этом скорость субдукции Аравийской плиты, напротив, в 1.5 раза больше (а угол субдукции несколько меньше) в Пакистанском сегменте. Такое на первый взгляд парадоксальное распределение аномалии теплового потока связано с различными режимами субдукции: в Иранской части происходит плавное асейсмичное скольжение, а в Пакистанской наблюдаются сильные землетрясения с периодом ~10² лет.

Ключевые слова: геодинамические исследования, тектоническая зона Макран, мантийный клин, угол и скорость субдукции, месторождения углеводородов.

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение

Опубликованы планы правительства Российской Федерации (РФ) о создании глобального транспортного коридора углеводородов (УВ) «Север-Юг» из нефтегазоносных регионов Татарстана, Башкортостана, Западной Сибири в страны глобального юга через территорию Ирана. В связи с этими планами правительства РФ авторами статьи были произведены региональные геолого-геофизические исследования на юге Ирана и Пакистана в зоне Макран, которые показывают, что в этом регионе могут быть найдены значительные месторождения УВ. Эти месторождения могут служить для дополнительного пополнения российских транспортных поставок УВ или в случае возникновения некоторых проблем с задержками транспортировки УВ из РФ в другие страны. Зона литосферной субдукции Макран имеет практически широтное простираие. Она расположена у южного побережья Ирана и Пакистана и уникальна в том, что скорости субдукции океанической части Аравийской литосферной плиты различны по обеим сторонам левостороннего тектонического разлома Зонне со смещением по простираию, расположенного вдоль меридиана на 59.5°E, и разделяющего зону субдукции Макран на две части. На Иранской (западной) части пододвигание происходит со скоростью 20.4 мм·год⁻¹, а на Пакистанской (восточной – со скоростью 32.6 мм·год⁻¹, причем на Иранской части желоба, процесс субдукции идет в режиме асейсмичного скольжения, а на Пакистанской части – в ходе последовательности сильных землетрясений, последнее из которых (с магнитудой $M_w = 8.1$) произошло 27 ноября 1945 года. Предыдущие сильные землетрясения случились на Пакистанской части желоба Макран в 1851 году (западнее зоны землетрясения 1945 года) и в 1765 году (восточнее этой зоны), так что в настоящее время на Пакистанской части желоба Макран, по-видимому, подготовлено очередное сильное землетрясение.

Согласно [1], распределение фокусов землетрясений по глубине севернее 27° N свидетельствует, что средний угол субдукции составляет $\sim 26^{\circ}$, а из рис. 3 этой статьи [1] видно, что севернее широты $\sim 29^{\circ}$ N угол субдукции $\beta \approx 24^{\circ}$. Прежние данные об отраженных сейсмических сигналах интерпретировались как свидетельства в пользу крайне пологой субдукции, происходящей под углом $\beta \approx 2^{\circ} - 3^{\circ}$ до глубин в несколько десятков километров [1], однако этот вывод можно отнести только к неглубокой части субдуцирующего блока.

В [2] представлены сведения о расположенной на $\sim 33^{\circ}$ N параллельной зоне субдукции Макран 2D-зоне аномального повышенного теплового потока с дневной поверхности. Максимум теплового потока $\sim 67 \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-2}$ расположен в тылу западной (Иранской) части желоба Макран, а позади восточной (Пакистанской) части желоба аномалия теплового потока менее $\sim 63 \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-2}$. Поперечный размер зоны аномального теплового потока составляет $\sim 200 \text{ км}$, и происхождение этой зоны, по-видимому, связано с 2D конвективным потоком в мантийном клине, восходящим к подошве настилающей Евразийской литосферы и локализуемым вынос диссипативного тепла. В [3], показывается, что 2D конвекция в мантийном клине, рассчитанная с учетом диссипативного тепловыделения, неньютоновской реологии мантии и влияния фазовых переходов на глубинах 410 км и 660 км, действительно обеспечивает вынос разогретого мантийного материала конвективным потоком шириной $\sim 200 \text{ км}$ на расстоянии $\sim 500 \text{ км}$ к северу от желоба Макран, где и наблюдается зона аномального теплового потока. Конвективный поток из мантии может выносить к поверхности Земли мантийные углеводороды и металлические (железосодержащие) руды. В [2] отмечается, что поверхностный тепловой поток является важным указателем наличия в недрах Земли углеводородных резервуаров и перспективных источников минеральных ресурсов. Меньший тепловой поток, вероятно, объясняется прерывистым режимом субдукции в восточной (Пакистанской) части желоба Макран, и, как следствие, более высоким содержанием кристаллизационной воды в мантийном клине. Согласно [4] содержание воды в мантийном клине, выжимаемой из погружающегося литосферного блока, достаточно велико, и может достигать нескольких весовых процентов. Вследствие этого в мантийных клиньях доминирует дислокационная неньютоновская ползучесть, при которой коэффициент эффективной вязкости обратно пропорционален степенной функции концентрации воды C_w и уменьшается с увеличением C_w . В [4] указывается, что наличие воды в мантийном клине провоцирует сейсмичность через механизм неустойчивости, но имеется и обратная связь сейсмичности и содержания воды через механизм «встрягивания» субдуцирующего блока и более активного выжимания воды. В силу этого вязкость в мантийном клине над литосферным блоком, субдуцирующим в

прерывистом режиме в ходе последовательности землетрясений понижается, кроме того, с ростом содержания воды (т.е. увеличением влажности материала мантийного клина) снижается энергия активации, что еще более уменьшает вязкость и, следовательно, уменьшается диссипативное тепловыделение в мантии. Совместное действие этих причин понижает аномальный тепловой поток с дневной поверхности. Описанный механизм понижения теплового потока в тылу зоны субдукции, в которой происходят землетрясения, альтернативен описанному в [5], где, на основе моделирования напряженного состояния в зоне трения субдуцирующего блока с настилающей литосферой показывается, что фрикционное тепловыделение в зоне трения меньше в случае прерывистого режима субдукции, и, в силу этого тепловой поток диссипативного происхождения уменьшается.

Методы

Геодинамическая модель мантийного клина вначале была построена для Иранской части зоны субдукции Макран, в которой имеет место асейсмичное скольжение. Новизна предлагаемой в данной статье методики геолого-геофизического моделирования связана с тем, что при расчетах сразу принимается неньютоновская реология среды в мантийном клине, поскольку высокое содержание воды, поступающей в мантийный клин из субдуцирующего блока, кардинально понижает эффективную вязкость и приводит к доминированию дислокационного режима ползучести. Другим существенным отличием модели, предлагаемой в настоящей работе, является учет диссипативного тепловыделения в мантийном клине еще прежде, чем рассчитывается конвективный механизм выноса тепла к дневной поверхности Земли, и о влиянии режима субдукции (асейсмичный или прерывистый режимы) на формирование аномалии поверхностного теплового потока оказывается возможным судить по величине мощности диссипативного тепловыделения.

Предполагая, что в западной (Иранской) части зоны Макран происходит асейсмичная субдукция, примем модель мантийного клина в этой зоне, рассчитываемую при условии равномерного поддвигания Аравийской литосферной плиты, т.е. будем считать, что субдукция происходит не в процессе прерывистого движения в ходе последовательности сильных землетрясений, а квазиравномерно. Такое предположение, основывающееся на данных в [1], может быть существенным для обоснования используемых в модели граничных условий прилипания вязкого вещества мантийного клина как к подошве настилающей литосферы, так и к поверхности субдуцирующей Аравийской литосферной плиты. При прерывистом (скачкообразном) режиме субдукции материал неньютоновской вязкой жидкости, моделирующей

мантийный клин, может проскальзывать вдоль границ с литосферными плитами из-за повышения скоростей деформации в мантийном клине вблизи этих границ, и граничное условие прилипания может нарушаться. В качестве модели термомеханического состояния мантийного клина между подошвой Евразийской литосферной плиты, на которой находится тыловая зона западной (Иранской) части зоны субдукции Макран и поверхностью океанической части Аравийской литосферной плиты, поддвигающейся под побережье Ирана под углом β со скоростью V , примем модель, получаемую при бесконечном числе Прандтля ($Pr \rightarrow \infty$) в приближении Буссинеска из системы двумерных безразмерных уравнений гидродинамики для функции тока ψ и температуры T [6]:

$$(\partial^2_{zz} - \partial^2_{xx})\eta(\partial^2_{zz} - \partial^2_{xx})\psi + 4\partial^2_{xz}\eta\partial^2_{xz}\psi = RaT_x - Ra^{(410)}\Gamma_x^{(410)} - Ra^{(660)}\Gamma_x^{(660)}, \quad (1)$$

$$\partial_t T = \Delta T - \psi_z T_x + \psi_x T_z + (Di/Ra) \times (\tau_{ik}^2/2\eta) + Q. \quad (2)$$

Здесь η – безразмерный коэффициент динамической вязкости, символ ∂ и индексы означают частные производные по координатам x (горизонтальной), z (вертикальной) и времени t , Δ – оператор Лапласа, $\Gamma^{(410)}$ и $\Gamma^{(660)}$ – объемные доли тяжелой фазы на фазовых переходах на глубинах 410 км и 660 км, компоненты скорости V_x и V_z связаны с функцией тока как

$$V_x = \psi_z, \quad V_z = -\psi_x, \quad (3)$$

а безразмерные числа Рэлея Ra , фазовые $Ra^{(410)}$, $Ra^{(660)}$ и диссипативное Di есть

$$Ra = \alpha \rho g d^3 T_1 / (\tilde{\eta} \chi) = 5.55 \times 10^8, \quad Ra^{(410)} = \delta \rho^{(410)} g d^3 / (\tilde{\eta} \chi) = 6.6 \times 10^8, \\ Ra^{(660)} = \delta \rho^{(660)} g d^3 / (\tilde{\eta} \chi) = 8.5 \times 10^8, \quad Di = \alpha \rho g / c_p = 0.165, \quad (4)$$

где $\alpha = 3 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ – коэффициент теплового расширения, $\rho = 3.3 \times 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ – плотность мантии, g – ускорение силы тяжести, $c_p = 1.2 \times 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ – удельная теплоемкость при постоянном давлении, $T_1 = 1950 \text{ K}$ – температура основания переходной зоны мантии (ПЗМ) на глубине 660 км, считающейся нижней границей модельной области, $Q = 6.25 \times 10^{-4} \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-3}$ – объемная мощность тепловыделения в коре, τ_{ik} – тензор вязких напряжений, $d = 660 \text{ км}$ – вертикальный размер модельной области, $\tilde{\eta} = 10^{18} \text{ Па} \cdot \text{с}$ – масштабный множитель вязкости, $\chi = 1 \text{ мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ – коэффициент температуропроводности, $\delta \rho^{(410)} = 0.07\rho$ и $\delta \rho^{(660)} = 0.09\rho$ – скачки плотности на фазовых переходах на глубинах 410 км и 660 км. В формулах (1), (2) масштабными множителями для времени t , напряжений τ_{ik} и функции тока ψ служат соответственно величины $d^2 \cdot \chi^{-1}$, $\tilde{\eta} \chi \cdot d^{-2}$ и χ . Хотя в [7] указывается, что на глубинах более $\sim 200 \text{ км}$ в мантии Земли доминирует диффузионный механизм ползучести, и коэффициент вязкости η соответствует ньютоновской реологии среды, в мантийном клине из-за высокой концентрации воды, выжимаемой из субдуцирующего блока, преобладает

дислокационная ползучесть, вследствие чего коэффициент вязкости зависит как от концентрации воды C_w так и от вязких напряжений τ_{ik} , от температуры T и литостатического давления p . В этом случае формула для вязкости записывается в виде

$$\eta = (2AC^r_w \tau^{n-1})^{-1} \times (h/b)^m \times \exp[(E^* + pV)/RT], \quad (5)$$

где, согласно [8], для «влажного» оливина $n = 3$, $r = 1.2$, $m = 0$, $\tau = (\tau_{ik}^2)^{1/2}$, $E^* = 480 \text{ кДж} \times \text{моль}^{-1}$, $V = 11 \times 10^3 \text{ мм}^3 \times \text{моль}^{-1}$, $A = 10^2 \text{ с}^{-1} \times (\text{МПа})^{-n}$, $C_w > 10^{-3}$ для влажного оливина – весовая доля воды (в %). При $C_w = 10^{-3}$ с учетом

$$\tau_{ik}^2 = 4\eta^2[(\psi_{zz} - \psi_{xx})^2/2 + 2\psi_{xz}^2] \quad (6)$$

безразмерная вязкость, нормированная на $\tilde{\eta} = 10^{18} \text{ Па} \cdot \text{с}$ есть

$$\eta = [(\frac{1}{2} \cdot (\psi_{zz} - \psi_{xx})^2 + 2\psi_{xz}^2)^{-1/3} \times \exp[10.0 + 5.0(1 - z)]/T]. \quad (7)$$

где T – безразмерная температура, а безразмерная координата z , нормированная на $d = 650 \text{ км}$, отсчитывается вверх от основания ПЗМ (ось x направлена по нижней границе ПЗМ против субдукции). Отношение сторон модельной области примем равным 1:2.25, так что при субдукции по диагонали модельной области угол субдукции составит $\beta = 24^\circ$, а расчетная скорость $V = 20 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$ в единицах $\chi \cdot d^{-1}$ равна $V = 0.416 \cdot 10^3$, т.е. в Аравийской литосферной плите, субдуцирующей в Иранский сегмент желоба Макран, ее компоненты $V_x = -0.380 \cdot 10^3$ и $V_z = -0.170 \cdot 10^3$. Подчеркнем, что в безразмерном равенстве (7) концентрация воды $C_w = 10^{-3}$ вес. %, а при рассматриваемых в модели величинах $C_w = 1$ весовых % безразмерная вязкость уменьшается в 3981 раз, т.е. в $10^{3.6}$ раза.

Следуя [9], примем фазовые функции $\Gamma^{(l)}$ в виде (напомним, что ось z здесь направлена вверх, поэтому знаки изменены):

$$\Gamma^{(l)} = \frac{1}{2} \times \{1 - \text{th}[(z - z^{(l)}(T))/w^{(l)}]\}, \quad z^{(l)}(T) = z_0^{(l)} - \gamma^{(l)} [T - T_0^{(l)}]/\rho g, \quad (8)$$

где $z^{(l)}(T)$ – глубина l -го фазового перехода, $z_0^{(l)}$ и $T_0^{(l)}$ – усредненные глубина и температура фазового перехода, $\gamma^{(410)} = 3 \text{ МПа} \times \text{К}^{-1}$ и $\gamma^{(660)} = -3 \text{ МПа} \times \text{К}^{-1}$ – наклоны кривых фазового равновесия, $w^{(l)}$ – характерная ширина l -го фазового перехода $T_0^{(410)} = 1800 \text{ К}$, $T_0^{(660)} = 1950 \text{ К}$ – средние температуры фазовых переходов. Теплоты фазовых переходов, как в [9], так и в формуле (2) не учитываются ввиду незначительности в случае развитой конвекции. Из формулы (8) получаем:

$$\Gamma_x^{(l)} = -\frac{1}{2} (\gamma^{(l)}/\rho g w^{(l)}) \times \text{ch}^{-2}\{[z - z_0^{(l)} + \gamma^{(l)}(T - T_0^{(l)})/\rho g]/w^{(l)}\} \times T_x, \quad (9)$$

откуда видно, что фазовый переход с $\gamma^{(l)} > 0$ усиливает конвекцию (при $l = 410$), а фазовый переход с $\gamma^{(l)} < 0$ (при $l = 660$) – ослабляет. В безразмерном виде $z_0^{(410)} = 0.38$, $z_0^{(660)} = 0$, $w^{(l)} = 0.05$, $\gamma^{(410)} = 2.55 \times 10^9$, $\gamma^{(660)} = -2.55 \times 10^9$, $T_0^{(410)} = 0.92$, $T_0^{(660)} = 1$, и в формуле (1)

$$\Gamma_x^{(l)} = -\frac{1}{2} \delta \rho^{(l)} \gamma^{(l)} / (\rho R a^{(l)} w^{(l)}) \times \text{ch}^{-2}\{[z - z_0^{(l)} + \gamma^{(l)} \delta \rho^{(l)} (T - T_0^{(l)}) / \rho R a^{(l)}] / w^{(l)}\} \times T_x. \quad (10)$$

В качестве граничных условий приняты изотермичность горизонтальных и вертикальных границ, условия прилипания и непроницаемости границ (кроме «окон» внедрения и выхода субдуцирующей плиты, в которых задана скорость субдукции, и проницаемости удаленной от зоны субдукции границы под прямым углом, близким к углу выхода вынужденного мантийного потока при пологой субдукции). Величина Q в формуле (2) отлична от нуля в континентальной и океанической коре мощностью 40 км и 7 км соответственно. Начальная температура вертикальных границ принята по модели охлаждения полупространства в течение 1 млрд. лет для Евроазиатской литосферной плиты и 100 млн. лет для Аравийской литосферной плиты.

В модели рассчитывается распределение объемной мощности диссипативного тепловыделения $\frac{1}{2}(\tau_{ik})^2 \times \eta^{-1}$, которое согласно формуле (6) в безразмерном виде записывается как

$$W_{diss} = \frac{1}{2}(\tau_{ik})^2 \times \eta^{-1} = 2\eta \times [\frac{1}{2}(\psi_{zz} - \psi_{xx})^2 + 2(\psi_{xz})^2], \quad (11)$$

и для перехода к размерной форме объемной мощности диссипативного тепловыделения используется коэффициент

$$(\tilde{\eta} \chi \cdot d^{-2})^2 \times \tilde{\eta}^{-1} = 0.53 \times 10^{-14} \text{ мВт} \times \text{м}^{-3}, \quad (12)$$

на который должна быть умножена безразмерная величина в уравнении (11).

Результаты исследования

Результаты численного моделирования квазистационарного термомеханического состояния верхней мантии в мантийном клине Иранского сегмента зоны субдукции Макран представлены на рис. 1.

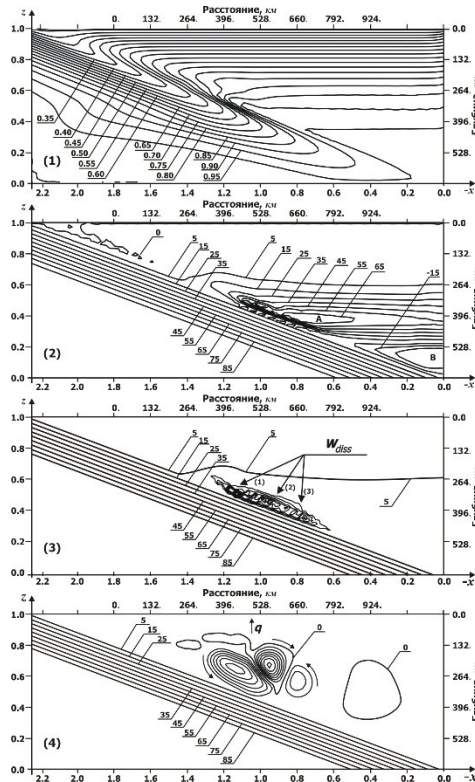


Рисунок 1. (1) – распределение температуры в Иранском сегменте мантийного клина зоны субдукции Макран без учета эффектов вязкой диссипации и конвекции.

Изотермы показаны с интервалом 0.05; (2) – распределение безразмерной невозмущенной функции тока в мантии над субдуцирующей Аравийской плитой без учета эффектов вязкой диссипации и конвекции. Линии тока показаны с интервалом 5;

Диагональные эквидистантные линии тока соответствуют жесткой субдуцирующей плите, вынужденные течения (А) и (В) индуцируются субдуцирующей плитой и, отчасти, конвективным механизмом. Расстояние отсчитывается в меридиональном направлении от расположенного при 29°N «краевого угла» мантийного клина; (3) –

квазистационарное распределение безразмерной функции тока в Иранском сегменте мантийного клина, совмещенное с распределением объемной мощности W_{diss}

диссипативного тепловыделения, указанным стрелками (1), (2), (3); (4) –

квазистационарное распределение безразмерной функции тока в Иранском сегменте мантийного клина с учетом развитой конвекции. Вектор q указывает зону аномального теплового потока, подводимого конвективным механизмом от области максимального диссипативного тепловыделения W_{diss} к дневной поверхности.

Уравнения (1)–(2) интегрировались по времени методом Рунге-Кутты 3-го порядка и на сетке 104×104 по пространственным координатам методом конечных элементов. На рис. 1 обозначениями (1)–(2) показаны распределения стационарных безразмерных температуры и функции тока без учета конвективной неустойчивости и диссипативного тепловыделения. Прямолинейные диагональные линии тока на рис. 1(2) соответствуют субдуцирующей Аравийской литосферной плите, а течения (А) и (В) индуцированы

погружающимся литосферным блоком Аравийской литосферной плиты. На рис. 1(3) стрелками (1), (2), (3) в изолиниях показана безразмерная объемная мощность диссипативного тепловыделения W_{diss} в мантийном клине. Тепловыделение сосредоточено в зоне трения субдуцирующего блока и встречного индуцированного потока (А) на рис. 1(2). Толщина этой зоны $\Delta d \sim 10^2$ км, а максимальная безразмерная мощность тепловыделения $\sim 9 \times 10^9$ (в размерном виде, согласно формулы (12), получаем $W_{diss\ max} \sim 5 \times 10^{-4} \text{ мВт} \times \text{м}^{-3}$). Если в качестве грубой оценки аномального теплового потока Δq с дневной поверхности принять (без учета конвективного механизма теплопереноса) $\Delta q = \Delta d \times W_{diss\ max}$, то получится $\Delta q \sim 50 \text{ мВт} \times \text{м}^{-2}$, т.е. величина порядка наблюдаемого теплового потока. На рис. 1(4) приведена безразмерная функция тока, соответствующая квазистационарной конвекции, происходящей со скоростью $\sim 1 \text{ м} \times \text{год}^{-1}$ и канализирующей теплопередачу от зоны максимального диссипативного тепловыделения к зоне, указанной вектором q на расстоянии ~ 500 км от глубоководного желоба Макран на территории Ирана. На этом расстоянии действительно наблюдается параллельная желобу 2D зона повышенного теплового потока на дневной поверхности.

Для первоначальной оценки того, насколько характеристики термомеханического состояния мантийного клина в Пакистанской части желоба Макран отличаются от характеристик, относящихся к Иранской части желоба, примем параметры среды равными их средним значениям, т.е. усредненным по горизонтальному и вертикальному размерам области максимального диссипативного тепловыделения. В этом случае можно считать, что коэффициент вязкости η , температура T , вязкое напряжение $\tau = \eta V \cdot d^{-1}$ (V – скорость субдукции, d – вертикальный размер рассматриваемой области мантийного клина) являются константами. При этом зависимость коэффициента вязкости от температуры, концентрации воды и других параметров среды учитывается усреднено, т.е. множители, входящие в реологический закон вязкости, считаются равными их средним значениям. По сравнению с Иранской частью мантийного клина, в Пакистанской его части концентрация воды повышается вследствие связи сейсмичности с наличием воды, а величины T , $\tau^2 \cdot \eta^{-1}$ должны быть уменьшены на $\sim 8\%$, т.е. настолько, насколько тепловой поток, наблюдаемый в тылу Пакистанской части желоба меньше наблюдаемого в тылу Иранской части желоба. Как видно из дальнейшей оценки, увеличение концентрации воды C_w влияет на тепловой поток преимущественно через уменьшение энергии активации среды, а не напрямую, поэтому в качестве первоначальной оценки содержания воды в Пакистанской части мантийного клина примем величину $C_w = 1.5$ вес. %, т.е. на 0.5 вес. % больше, чем в Иранской части. С учетом формулы (5) для дислокационной вязкости в Пакистанской части зоны субдукции

рассмотрим величину

$$\eta^3 V^2 \cdot d^2 = (1/(2A(C_w))) \exp((H^* - \delta E^*)/R(T - \delta T)), \quad (13)$$

где H^* – энтальпия активации, а δE^* и δT – положительные величины возмущений энергии активации и средней температуры по сравнению с Иранской частью зоны субдукции. Так как $\eta \cdot V^2 \cdot d^2$ (диссипативное тепловыделение) должно быть уменьшено на 8%, то, с учетом того, что $V^2 \cdot d^2$ в Пакистанской части желоба выше в 2.25 раза, чем в Иранской (скорость субдукции в Пакистанской части выше в 1.5 раза), средний коэффициент вязкости оказывается меньше 2.43 раза, а левая часть (13) в 6.4 раза меньше в Пакистанской части зоны судукции. Поэтому величина $\exp((H^* - \delta E^*)/R(T - \delta T))$ в Пакистанской части зоны субдукции меньше, чем в Иранской части $\exp(H^*/RT)$ в 14.67 раз. Принимая $\delta T = 0.08T$, т.е что средний «температурный фон» на 8% ниже в Пакистанской части зоны субдукции, находим, что при $T = 1700 \text{ K}$ оказывается $\delta E^* = 43.6 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$. Этот пример показывает, что понижение диссипативного теплового потока из мантийного клина может определяться не самим увеличением содержания воды, а связанным с ним понижением энергии активации. Хотя, точных формул, описывающих уменьшение энергии активации при увеличении C_w не существует (о чем указывается в [4] на с.274, где говорится, что энергия активации E^* принимает лишь два значения: одно – для сухих пород и другое, меньшее, – для влажных), представляется вполне разумным найденное уменьшение энергии активации на ~ 8% – 9% при увеличении концентрации воды на 0.5 вес. %, уменьшении теплового потока на 8% и увеличении скорости субдукции в 1.5 раза в Пакистанской части зоны субдукции по сравнению с Иранской.

Принимая для Пакистанской части зоны Макран скорость субдукции равной $32.6 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$ (безразмерные компоненты скорости Аравийской литосферной плиты $V_x = -0.620 \cdot 10^3$ и $V_z = -0.280 \cdot 10^3$), угол субдукции приблизительно таким же, как в Иранской части зоны субдукции, энергию активации в (7) $E^* = 440 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$ и $C_w = 1.5 \text{ вес. \%}$, находим из формул (1) – (2) модельные распределения термомеханических параметров верхней мантии, показанные на рис. 2.

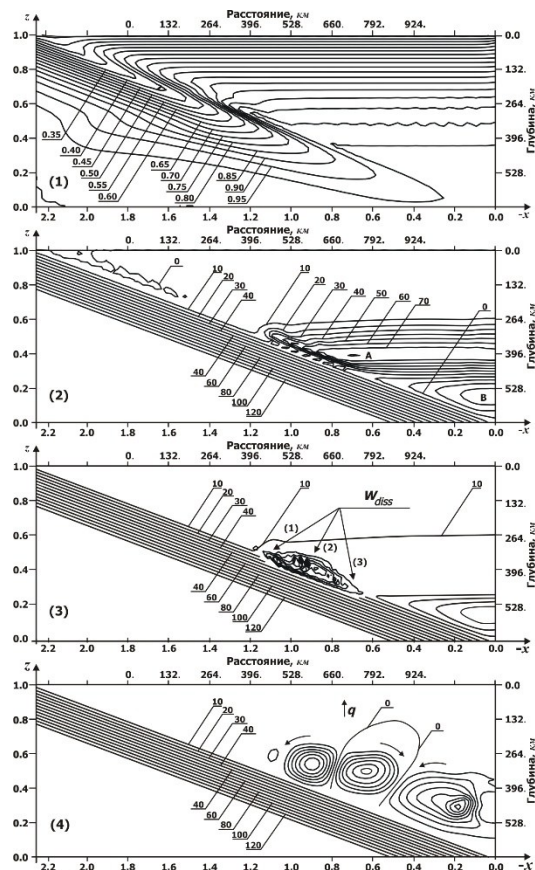


Рисунок 2. (1) – распределение температуры в Пакистанском сегменте мантийного клина зоны субдукции Макран без учета эффектов вязкой диссипации и конвекции.

Изотермы показаны с интервалом 0.05; (2) – распределение безразмерной невозмущенной функции тока в мантии над субдуцирующей Аравийской литосферной плитой без учета эффектов вязкой диссипации и конвекции. Линии тока показаны с интервалом 5. Диагональные эквидистантные линии тока соответствуют жесткой субдуцирующей плите, вынужденные течения (А) и (В) индуцируются субдуцирующей плитой и, отчасти, конвективным механизмом. Расстояние отсчитывается в меридиональном направлении от расположенного при 29°N «краевого угла» мантийного клина; (3) – квазистационарное распределение безразмерной функции тока в Пакистанском сегменте мантийного клина, совмещенное с распределением объемной мощности W_{diss} диссипативного тепловыделения, указанным стрелками (1), (2), (3); (4) – квазистационарное распределение безразмерной функции тока в Пакистанском сегменте мантийного клина с учетом развитой конвекции. Вектор q указывает зону аномального теплового потока, подводимого конвективным механизмом от области максимального диссипативного тепловыделения W_{diss} к дневной поверхности.

Мощность диссипативного тепловыделения и соответствующий тепловой поток в Пакистанской части желоба на ~ 5–10% меньше, чем в Иранской части, а локализация конвективного теплового потока, выносящего диссипативное тепло из мантийного клина

к дневной поверхности сдвигается на $\sim 10^2$ км дальше вглубь континента по сравнению с рис. 2. Найденная модельная величина уменьшения мощности диссипативного тепловыделения и связанного с ним снижения аномального теплового потока с дневной поверхности удовлетворительно соответствует данным наблюдений в [2].

Заключение

Предполагая, что максимум теплового потока q на территории Ирана возникает над конвективным течением, восходящим к зоне аномального теплового потока на Иранском плато на широте $\sim 33^\circ\text{N}$ [2], и размер конвективной ячейки равен характерной ширине зоны повышенного теплового потока, можно оценить размер конвективной ячейки ~ 200 км. При этом трудно рассчитать термическое состояние погружающейся плиты, настилающей плиты и индуцированного возвратного потока. Полагая вначале в уравнениях (1)–(2) $Ra \rightarrow 0$, $Di = 0$, т.е. учитывая только теплопроводность, адвекцию тепла и эффекты фазовых переходов, и интегрируя значения формул (1)–(2) при $V = 20$ мм в год для Иранской части зоны субдукции, получим квазистационарные безразмерные $T = T_R$ и ψ , изображенные на рис. 1(1–2), где изотермы на рис. 1(1) показаны с интервалом 0.05, а линии тока – с интервалом 5. Из рис. 1(2) видно, что возвратный поток, индуцируется в виде двух расположенных один над другим вихрей «А» и «В», верхний из которых (вихрь «А» с $\psi > 0$) вращается по часовой стрелке, а нижний («В» с $\psi < 0$) – против часовой стрелки. Вихрь «А» вызывается в мантийном клине отчасти вынужденным субдукцией вихрем «В», а отчасти конвективным механизмом, который нельзя полностью исключить, так как в уравнениях (1)–(2) число Рэлея не может быть положено в точности равным нулю (так как число Рэлея стоит в уравнении (2) в знаменателе). Из рис. 1(2) видно, что в зоне «трения» индуцированного течения «А» и субдуцирующей плиты, движущихся навстречу друг другу, велик градиент скорости (т.е. скорость деформации), благодаря чему локализуется зона диссипативного тепловыделения и возможна инициация восходящего потока конвективного вихря Карига. На рис. 1(3) показана безразмерная мощность диссипативного тепловыделения W_{diss} в уравнении (11). Микро-вихри в зоне трения течения (А) о субдуцирующую Аравийскую литосферную плиту объясняются неустойчивостью типа тангенциального разрыва, причем видно, что конвективный вихрь (А) отрывает от субдуцирующей Аравийской литосферной плиты поверхностный слой мощностью ~ 30 км. Невозмущенное конвекцией состояние на рис. 1(1–2) возникает за безразмерное время $t = 0.23 \times 10^{-2}$.

Полагая безразмерные параметры в уравнениях (1)–(2) согласно формуле (4), т.е. включая эффекты диссипации и конвекции, и интегрируя параметры уравнений (1)–(2),

находим, что в случае неньютоновской реологии при $C_w = 1$ вес. % вынужденный мантийный поток над субдуцирующей Аравийской литосферной плитой за безразмерное время $\sim 0.33 \times 10^{-6}$ (в размерном виде $\sim 3 \times 10^4$ лет) разрушается конвекцией, которая, по достижении стадии развитой конвекции, принимает вид, изображенный на рис. 1(4). Видно, что вихревые линии тока, показанные с интервалом $\sim 1.0 \times 10^5$, действительно соответствуют одной доминирующей конвективной ячейке, возбуждающейся при скорости субдукции $V=20$ мм/год. Размер конвективной ячейки близок к наблюдаемой поперечной протяженности аномалии теплового потока на Иранском плато на широте $\sim 33^\circ\text{N}$. Расположение конвективной ячейки на расстоянии около 500 км от «острия» мантийного клина приблизительно соответствует 4° по долготе между широтой 29°N , при которой угол субдукции резко возрастает до 24° , и широтой $\sim 33^\circ\text{N}$, на которой расположена зона повышенного теплового потока. Густота линий тока соответствует скорости конвективных движений более ~ 1 м/год¹.

Следует отметить, что течение, индуцируемое в мантийном клине субдуцирующей Аравийской литосферной плиты не возмущенное конвекцией, состоит из двух расположенных одно над другим течений, обозначенных как А и В (рис. 1(1) и рис. 2(1)) только в случае неньютоновской реологии мантии, и именно в этом случае формируется локализованная зона трения в области контакта встречного течения (А) и субдуцирующей Аравийской литосферной плиты. В этой зоне велико диссипативное тепловыделение, порождающее восходящий конвективный поток (показанный векторами q на рис. 1(4), рис. 2(4)). Кроме тепла, этот поток может выносить к поверхности Земли металлические руды и способствовать формированию залежей железа и других металлов.

В Пакистанской части зоны субдукции Макран аномальный тепловой поток в тылу зоны субдукции может быть понижен в сравнении с Иранской частью зоны субдукции вследствие повышения содержания воды до 1.5 вес. % и уменьшения энергии активации на 45 кДж·моль⁻¹ по сравнению с Иранской частью. Считается общепринятым, что с ростом «влажности» среды энергия активации слагающих пород уменьшается, хотя формул, связывающих энергию активации с концентрацией воды не существует. Рассчитанная авторами математическая модель глубинного строения зоны субдукции Макран показывает, насколько по величине аномального теплового потока можно оценить уменьшение энергии активации с ростом содержания воды в поровом пространстве горных пород этого региона. Подъем конвективного потока, восходящего из мантийного клина в направлении к дневной поверхности, может выносить (апвеллинг) мантийные УВ-геофлюиды в верхние слои осадочного слоя земной коры и

способствовать формированию нефте-газоносного района на юге Ирана в областях повышенного теплового потока в соответствии с теоретическими исследованиями [10; 11].

References

1. Penney S., Tavakoli F., Saadat A., Nankali H.R., Sedighi M., Khorrami F., Sobouti F., Rafi Z., Copley A., Jackson J., Priestley K. Megathrust and accretionary wedge properties and behavior in the Makran subduction zone // *Geophysical Journal International*. 2017. V. 209. pp. 1800 – 1830. DOI: 10.1093/gji/ggx126.
2. Mousavi N., Ebrahimzadeh A.V. 3D Surface Heat Flow, Low-Temperature Basins and Curie Point Depth of the Iranian Plateau: Hydrocarbon Reservoirs and Iron Deposits // *Journal of the Earth and Space Physics*. 2023. V. 48. No. 4. pp. 137-150. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2023.348000.1007453>
3. Gavrilov S.V., Kharitonov A.L. Geodynamic modeling of the deep structure and processes of convective removal of hydrocarbons from the mantle wedge in the rear of the Makran subduction zone for prospecting for oil and gas fields in Iran // *Geology, geography and global energy*. 2024. No. 2(93). pp. 19-28.
4. Zharkov V.N. *Physics of the Earth's interior*. Moscow: Nauka i prosveshchenie, 2012. 384 p.
5. Gao X., Wang K. Strength of stick-slip and creeping subduction megathrusts from heat flow observations // *Science*. 2014. No. 345(6200). pp. 1038–1041. DOI:10.1126/science.1255487.
6. Schubert G., Turcotte D.L., Olson P. *Mantle Convection in the Earth and Planets*. New York: Cambridge University Press, 2001. 940 p.
7. Billen M., Hirth G. Newtonian versus non-Newtonian Upper Mantle Viscosity: Implications for Subduction Initiation // *Geophys. Res. Lett.* 2005. V. 32. (L19304). DOI: 10.1029/2005GL023458.
8. Trubitsyn V.P. Rheology of the mantle and tectonics of oceanic lithospheric plates // *Physics of the Earth*. 2012. No. 6. pp. 3-22.
9. Trubitsyn V.P., Trubitsyn A.P. Numerical model of the formation of a set of lithospheric plates and their passage through the boundary of 660 km // *Physics of the Earth*. 2014. No. 6. pp. 138-147.
10. Timurziev A.I. Substantiation of the structural and geomorphological method of forecasting local zones of recent stretching // *Soviet geology*. 1989. No. 1. pp. 69-79.
11. Seiful-Mulyukov R. *Oil and gas: deep nature and its applied significance*. Moscow: Torus Press, 2012. 216 p.

MATHEMATICS

UDC 510.2

Konovalov G.G. The fundamental role of numbers in the structure of mathematical knowledge

Фундаментальная роль чисел в структуре математического знания

Konovalov G.G.,

student

Volgograd State University

Коновалов Г.Г.,

студент

Волгоградский государственный университет

Abstract. This article examines the fundamental role of numbers in the formation and development of mathematical knowledge. It analyzes the historical evolution of the concept of number, from simple means of counting and measurement in ancient civilizations to modern abstract numerical systems. Particular attention is paid to the philosophical understanding of number in ancient and modern thought, as well as its structural function in mathematics, from algebra and analysis to probability theory and statistics. The importance of numbers in modern sciences – cryptography, computational mathematics, physics, computer science, and artificial intelligence – is emphasized. Prospects for the further development of numerical systems are considered.

Keywords: number, mathematics, number theory, philosophy of mathematics, numerical systems, cryptography, analysis, infinity, abstraction, structure of knowledge.

Аннотация. В статье рассматривается фундаментальная роль чисел в становлении и развитии математического знания. Анализируется историческая эволюция понятия числа – от простых средств счета и измерения в древних цивилизациях до современных абстрактных числовых систем. Особое внимание уделяется философскому осмыслению числа в античной и современной мысли, а также его структурной функции в математике – от алгебры и анализа до теории вероятностей и статистики. Подчеркивается значение чисел в современных науках – криптографии, вычислительной математике, физике, информатике и искусственном интеллекте. Рассматриваются перспективы дальнейшего развития числовых систем.

Ключевые слова: число, математика, теория чисел, философия математики, числовые системы, криптография, анализ, бесконечность, абстракция, структура знания.

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

Математика во все времена воспринималась как наука о строгих формах, абстрактных структурах и закономерностях. Однако, в основе этого огромного и многогранного здания всегда стояло простое, но фундаментальное понятие – «число». Сначала оно возникло как средство счета и измерения, как практический инструмент для хозяйственной деятельности, торговли и земледелия. Но постепенно, с течением

времени, число превратилось в универсальную категорию мышления, позволившую человечеству построить целостную систему знания, выходящую далеко за пределы утилитарных нужд.

Числа сопровождают развитие человеческой цивилизации на протяжении тысячелетий. От первых зарубок на костях, фиксирующих количество добычи, до современных формальных теорий множеств и бесконечности – каждое расширение понятия числа открывало новые горизонты для науки и философии.

История математики показывает, что именно расширение числового аппарата становилось отправной точкой для формирования новых разделов знания: открытие отрицательных чисел привело к углублению алгебры, введение комплексных чисел – к развитию анализа, а понятие трансфинитных чисел изменило само представление о математической бесконечности.

Философы также уделяли числу особое место. Для Пифагора «всё есть число», для Платона числа принадлежали миру идей, а для Канта они были априорной формой познания. В XX веке дискуссии вокруг природы числа породили целые направления в философии математики – от формализма до интуиционизма. Таким образом, число оказалось не только математическим понятием, но и философской категорией, имеющей отношение к вопросу о природе знания и реальности.

Сегодня роль чисел не ограничивается лишь «языком математики». Они лежат в основе вычислительной техники, цифровых технологий, криптографии, моделирования физических процессов и искусственного интеллекта. Можно утверждать, что именно числа обеспечивают единство естественных и точных наук, превращая математику в универсальный инструмент описания мира.

Натуральные числа и их роль в формировании понятия количества

Натуральные числа – первые и самые очевидные числа, которые человек осмыслил. Они связаны с идеей «сколько?», то есть с определением мощности конечных множеств. Использование натуральных чисел позволило человеку систематизировать окружающий мир, разделять его на отдельные предметы и объединять их в группы. Таким образом, число стало инструментом познания, а не только практическим средством счета.

Интересно, что на ранних стадиях развития культуры разные народы имели различные системы числовых обозначений и даже разные пределы счета. Например, у некоторых племен отсутствовали слова для чисел, больших трёх или пяти, и все, что выходило за этот предел, обозначалось словом «много»[10]. Постепенное развитие

числовых систем, появление нуля и позиционного принципа записи стало одним из величайших достижений человеческой мысли.

Переход от практического счета к осмысленной работе с числами положил начало арифметике. Уже в Древнем Вавилоне и Египте существовали правила сложения, вычитания, умножения и деления, которые применялись при строительстве, астрономических наблюдениях и в хозяйственных расчетах. Однако именно античная Греция впервые превратила работу с числами в предмет теоретического изучения. Пифагорейцы видели в числе универсальный принцип устройства мира, а Евклид в своих «Началах» систематизировал знания о свойствах чисел, включая простые числа и делимость[5].

Арифметика стала первой математической дисциплиной, в которой было осознано, что числа обладают собственной логикой и закономерностями, не сводимыми к практическим операциям. Так возникла идея числа как абстрактного объекта, существующего независимо от конкретных вещей.

Наряду с арифметикой важную роль сыграло измерение. Для того чтобы делить землю, строить здания или определять траектории небесных тел, необходимо было уметь работать не только с целыми числами, но и с дробями. Это привело к появлению рациональных чисел, которые расширили горизонты арифметики и подготовили почву для последующих математических открытий.

Измерение стало источником первых математических кризисов. Так, открытие иррациональных чисел (например, длины диагонали квадрата со стороной 1) поставило под сомнение универсальность натурального и рационального счета. Но именно эта трудность стимулировала дальнейшее развитие математики, углубив её связь с философией.

Историческая эволюция понятия числа

Понятие числа не является статичным – оно формировалось и видоизменялось на протяжении тысячелетий, расширяясь по мере того, как человечество сталкивалось с новыми задачами познания и практики. История математики свидетельствует: всякий раз, когда существующего числового аппарата становилось недостаточно, люди изобретали новые формы чисел, что открывало путь к созданию новых разделов науки.

Первые развитые системы чисел возникли в древних цивилизациях. Шумеры и вавилоняне использовали шестидесятеричную систему, отголоски которой до сих пор сохранились в делении часа на минуты и круга на градусы. Египтяне применяли десятичную непозиционную систему, удобную для записи больших чисел, но громоздкую для вычислений. Древние индийцы сделали прорыв, введя символ нуля и

позиционный принцип записи чисел, что стало величайшим изобретением в истории математики[13]. Именно эта система легла в основу современной десятичной записи.

В античной Греции математика приобрела теоретический характер. Пифагорейцы считали, что «всё есть число», и представляли мир как гармонию, основанную на целых и дробных отношениях[5]. Однако открытие иррациональных чисел, приписываемое ученикам Пифагора, стало шоком. Оказалось, что существуют величины, которые нельзя выразить в виде отношения целых чисел, например, диагональ квадрата со стороной 1 равна $\sqrt{2}$. Этот факт подорвал идею о том, что всё в мире можно свести к рациональным отношениям.

Иррациональные числа привели к необходимости пересмотра взглядов на непрерывность и измерение, а также к развитию геометрического подхода. Именно через кризис иррациональности математика вышла на новый уровень абстракции.

Долгое время отрицательные числа не признавались «истинными» числами. Для античных математиков и философов они представлялись абсурдными: как может существовать «меньше ничего»? Однако практическая необходимость – особенно в торговле и астрономии – постепенно привела к их принятию. В Китае отрицательные числа использовались уже в I тысячелетии до н.э., а в Европе они получили признание лишь в эпоху Возрождения[7].

Ещё более радикальным шагом стало появление комплексных чисел. Изначально они возникли в решении квадратных и кубических уравнений, когда приходилось брать корни из отрицательных величин. В XVI веке такие «воображаемые» числа считались курьёзом. Лишь в XVII-XVIII веках, благодаря работам Р. Бомбелли, Р. Декарта, Л. Эйлера и К. Ф. Гаусса, стало ясно, что комплексные числа обладают богатой структурой и огромным потенциалом.

Комплексная плоскость (плоскость Аргана) позволила визуализировать эти числа, а формула Эйлера связала их с тригонометрией и экспонентой. Это стало одним из величайших открытий математики, которое открыло путь к развитию анализа, теории функций и современной физики.

XIX век ознаменовался новым этапом – формализацией и абстракцией числа. Георг Кантор создал теорию множеств и ввёл понятие трансфинитных чисел, тем самым разработав строгую теорию бесконечности[1]. Его идеи произвели революцию в математике, но вызвали ожесточённые философские споры.

В то же время появились новые числовые системы – кватернионы (У. Гамильтон), октонионы и другие гиперкомплексные конструкции. Эти объекты расширяли привычное понимание числа, связывая его с алгебраическими и геометрическими структурами.

В XX веке были открыты p -адические числа, сюрреальные числа, а также числовые системы, используемые в теории моделей и логике. Каждое новое расширение понятия числа рождалось из конкретных проблем математики и физики, но оказывалось плодотворным для всей науки.

Философское осмысление числа

С самого зарождения математики число не ограничивалось лишь практическим значением. Оно всегда вызывало интерес философов как категория, позволяющая осмыслить порядок, гармонию и саму структуру бытия. В разные эпохи понимание числа менялось – от мистического символа и универсального принципа устройства мира до строго формализованного объекта, существующего в рамках аксиоматических систем.

Пифагор и его школа считали, что «всё есть число»[5]. Для них числа не просто выражали количество, но являлись сущностью вещей, скрытой основой мира. Они связывали гармонию музыки с числовыми отношениями, а геометрические фигуры – с простыми числами. Таким образом, число воспринималось как метафизическая реальность.

Платон в своей философии поместил числа в мир идей – особую сферу вечных и неизменных сущностей. По Платону, математические объекты существуют независимо от человека, а математика – это путь к постижению идеального. В противоположность этому Аристотель рассматривал числа как результат абстракции: они не существуют сами по себе, а выделяются умом из реальных вещей[8].

Античные дискуссии заложили основу всех последующих философских интерпретаций числа: одни считали его самостоятельной реальностью, другие – лишь продуктом человеческого мышления.

В Средние века число связывали с божественным порядком. Августин Аврелий писал, что Бог создал мир «по числу, мере и весу»[11]. В схоластической философии числа часто трактовались как свидетельство божественной гармонии.

В Новое время проблема числа приобрела более строгий рациональный характер. Готфрид Лейбниц, один из создателей математической логики, видел в числах универсальный язык науки. Он мечтал о «*characteristica universalis*» – универсальной символической системе, в которой числа играли бы центральную роль.

Иммануил Кант в своей «Критике чистого разума» утверждал, что число – это форма априорного созерцания времени. По его мнению, человек способен оперировать числами не потому, что они существуют «вещами сами по себе», а потому, что они укоренены в структурах человеческого разума[17]. Кантовская трактовка числа

сблизила математику с эпистемологией и оказала огромное влияние на философию науки XIX-XX веков.

XIX-XX века ознаменовались активными спорами о статусе математических объектов. Эти дискуссии затронули и природу чисел.

- «Математический платонизм» утверждает, что числа существуют независимо от человека в особой «объективной» реальности, а математика лишь открывает их свойства. Этой точки зрения придерживались многие выдающиеся математики, включая Курта Гёделя.

- «Номинализм» отрицает самостоятельное существование чисел: они рассматриваются лишь как удобные символы или имена, используемые в описании мира.

- «Формализм» (Давид Гильберт) понимает числа как элементы формальных систем, подчиняющихся аксиомам и правилам вывода. В таком подходе нет необходимости задаваться вопросом об «объективном существовании» числа: важно лишь, что оно корректно определяется в рамках математической теории.

- «Интуиционизм» (Лёйтцен Брауэр) связывает числа с деятельностью человеческого разума. С этой позиции число существует только постольку, поскольку мы можем его построить в своем мышлении.

Структурная роль чисел в математике

Если на ранних этапах развития математики числа воспринимались лишь как средство счета и измерения, то постепенно они стали рассматриваться как фундаментальный элемент, лежащий в основании практически всех математических структур. Числа образуют своеобразный «каркас» математики: через них определяется логика алгебраических операций, формируются геометрические представления, строятся аналитические методы, описываются вероятностные модели и статистические закономерности.

Алгебра выросла из арифметики, но уже в античные времена стало очевидно, что операции с числами можно обобщать и формализовывать. Вначале алгебра изучала уравнения с числовыми коэффициентами, а затем стала рассматривать абстрактные структуры, такие как группы, кольца и поля.

Числа при этом выступают «строительным материалом» алгебры. Натуральные числа формируют основу арифметики, целые числа дают пример кольца, рациональные, действительные и комплексные – пример полей. Более сложные системы, такие как кватернионы или p -адические числа, расширяют представление о

том, что может считаться «числом». В алгебре именно числовые множества задают первичные примеры структур, на основе которых формулируются общие законы.

Множества чисел – натуральные, целые, рациональные, действительные и комплексные – выстраиваются в последовательность расширений, каждое из которых преодолевает ограниченность предыдущего. Это развитие отражает не только исторический процесс, но и логическую необходимость – чтобы описывать более широкий круг задач, требуются новые числовые объекты.

- натуральные числа связаны с понятием счета;
- целые числа включают отрицательные величины;
- рациональные числа обеспечивают возможность дробного деления;
- действительные числа вводят непрерывность и позволяют работать с длинами и площадями;
- комплексные числа дают завершённость алгебры – любое многочленное уравнение имеет решение в этом множестве.

Каждое новое расширение не просто «добавляет» новые числа, но и открывает новые области математики: теория чисел, алгебраическая геометрия, функциональный анализ и многие другие дисциплины строятся вокруг изучения числовых структур.

Введение числовых координат в геометрию стало настоящей революцией. Рене Декарт показал, что геометрические фигуры можно описывать уравнениями, где числа играют роль координат и коэффициентов. Это объединило алгебру и геометрию в единое направление – аналитическую геометрию.

В математическом анализе числа приобретают ещё более глубокое значение. Понятия предела, производной и интеграла невозможно сформулировать без действительных чисел и их свойств, связанных с непрерывностью и плотностью[12]. Комплексный анализ, в свою очередь, использует комплексные числа, позволяя описывать такие явления, которые недостижимы средствами только действительной арифметики.

Как видно, числа являются связующим звеном между абстрактной алгеброй и геометрическим мышлением, обеспечивая целостность математической картины.

Теория вероятностей основана на числовых моделях случайности. Вероятность выражается числом от 0 до 1, и именно эта количественная мера позволяет строго рассуждать о случайных событиях[16]. Без числовой интерпретации понятие вероятности оставалось бы философской абстракцией.

Статистика, в свою очередь, использует числа для описания закономерностей в массивах данных[7]. Средние величины, дисперсии, коэффициенты корреляции – всё

это числовые характеристики, которые превращают хаотические наборы фактов в осмысленные выводы.

Числа в данном случае выполняют роль инструмента объективизации: они позволяют описывать вероятностные процессы не на уровне субъективных оценок, а в форме строгих математических законов.

Во всех приложениях математики к науке и технике числа играют ключевую роль. Уравнения физики, модели экономики, алгоритмы информатики выражаются через числовые соотношения. Даже там, где используются более абстрактные структуры, конечным результатом часто является числовое предсказание или числовой расчёт.

Числа превращают абстрактные теории в инструмент, который можно применить на практике. Без числовых вычислений невозможно было бы построить мосты, рассчитать траектории космических аппаратов или моделировать климатические изменения.

Числа и современные направления науки

В эпоху цифровых технологий число окончательно утвердилось как универсальный язык науки и техники. Если раньше оно было в первую очередь объектом теоретических рассуждений и инструментом для решения практических задач, то сегодня число пронизывает все современные научные направления: от фундаментальной физики и криптографии до биоинформатики и искусственного интеллекта.

Одной из самых ярких областей, где числа приобрели неожиданное прикладное значение, является криптография. Современные методы защиты информации основаны на теории чисел – в частности, на свойствах простых чисел и трудности факторизации больших целых чисел[14].

Алгоритм RSA, лежащий в основе интернет-безопасности, использует произведения больших простых чисел, разложение которых на множители занимает колоссальные вычислительные ресурсы. Развитие криптографии показало, что «чистая математика», считавшаяся ранее далекой от практики, на деле имеет ключевое значение для кибербезопасности и цифровой экономики.

Современные научные исследования невозможно представить без численных методов. Дифференциальные уравнения, оптимизационные задачи, модели сложных систем чаще всего не имеют точных аналитических решений, и для их решения применяются приближённые вычисления.

Численные методы позволяют прогнозировать климат, моделировать поведение материалов, рассчитывать аэродинамику летательных аппаратов[9]. Здесь число

выступает не только как объект вычислений, но и как средство аппроксимации непрерывных процессов. Без чисел невозможно было бы развитие суперкомпьютеров, машинного обучения и вычислительных экспериментов, которые постепенно становятся равноправным инструментом науки наряду с теорией и опытом.

Физика всегда была тесно связана с числами, но в XX веке эта связь стала особенно глубокой.

- В теории относительности числа выражают метрики пространства-времени, где геометрические величины приобретают фундаментальное физическое значение.

- В квантовой механике числа играют роль вероятностей и собственных значений операторов, определяющих возможные состояния микрочастиц.

- В статистической физике числовые методы описывают поведение систем с огромным количеством элементов, где отдельные объекты теряют значение, а статистические закономерности выходят на первый план.

Числа в физике не только «описывают» реальность, но и формируют саму структуру теорий[18]. Можно сказать, что современная физика в значительной мере представляет собой «перевод природы на язык чисел».

Эра цифровых технологий связана с представлением информации в виде чисел. Компьютер – это машина, работающая с двоичной системой чисел, где любая информация (текст, изображение, звук) кодируется последовательностями нулей и единиц.

В машинном обучении и искусственном интеллекте числа играют ещё более фундаментальную роль. Нейронные сети обучаются на числовых данных, весовые коэффициенты представляют собой числа, а алгоритмы оптимизации работают с числовыми функциями потерь. Даже такие «нематематические» задачи, как распознавание образов или генерация текста, сводятся к числовым операциям высокой сложности.

Пределы и перспективы развития понятия числа

История математики свидетельствует: всякий раз, когда существующего числового аппарата оказывалось недостаточно, появлялись новые формы чисел. Этот процесс не завершён и сегодня – на рубеже XX-XXI веков возникли числовые системы, которые расширяют наше понимание как бесконечности, так и непрерывности, открывая перспективы для будущей науки.

Одним из значительных открытий стали p -адические числа, предложенные в начале XX века Куртом Генселем. Эти числа возникли как альтернатива привычным вещественным числам и оказались чрезвычайно полезными в теории чисел и

алгебраической геометрии. Р-адические числа позволяют рассматривать арифметику под иным «углом зрения», анализировать делимость и структуры, которые не поддаются традиционным методам.

Джон Конвей во второй половине XX века ввёл понятие сюрреальных чисел – системы, включающей в себя все известные числовые множества и выходящей далеко за их пределы. Сюрреальные числа содержат бесконечно большие и бесконечно малые элементы, образуя единое целое, в котором объединяются действительные, ординальные и трансфинитные величины[15].

В математическом анализе и логике всё большее внимание привлекают инфинитезимальные числа, применяемые в нестандартном анализе (Абрахам Робинсон, 1960-е годы). Эти числа позволяют работать с бесконечно малыми величинами более строго, чем это делалось в классическом исчислении Лейбница и Ньютона.

Числа всё чаще воспринимаются не только как средство описания количественных характеристик, но и как универсальный язык, позволяющий объединять различные научные дисциплины.

- В физике числа выражают законы природы в виде математических уравнений.

- В информатике числа кодируют любую информацию – от генетического кода до видеопотока.

- В биологии числовые модели позволяют описывать сложные системы – от экосистем до работы мозга.

Можно сказать, что числа становятся своего рода «общим знаменателем» науки, обеспечивая её единство. В этом смысле перспективой будущего является создание междисциплинарных теорий, где числа будут играть не вспомогательную, а интегративную роль.

Одним из пределов развития понятия числа остаётся проблема бесконечности. С античных времён люди пытались осмыслить бесконечное, и именно числа стали основным инструментом этого процесса.

В XIX веке Георг Кантор показал, что бесконечность имеет иерархическую структуру – существуют разные «уровни» бесконечности, выражающиеся через трансфинитные числа[15]. Его теория множеств изменила представление о математике и вызвала ожесточённые философские дискуссии.

Сегодня вопрос о бесконечности вновь выходит на первый план – в связи с космологическими теориями, квантовой физикой и проблемами континуума. Числа в этих дискуссиях оказываются не только математическим объектом, но и способом осмысления границ человеческого познания.

Заключение

Рассмотрение истории, философии и современного состояния математики позволяет сделать очевидный вывод: число является центральным элементом, без которого невозможно представить себе ни саму математику, ни её приложения в науке и технике. От первых зарубок на костях до сложнейших абстрактных конструкций XX-XXI веков путь числа – это путь человеческой мысли от конкретного к универсальному, от практического к теоретическому, от локального к бесконечному.

Числа стали первым шагом человечества на пути к абстракции. Именно через них человек научился выделять закономерности в окружающем мире, строить систему измерений и формализовывать процессы. Историческое развитие понятия числа – от натуральных и рациональных до комплексных и трансфинитных – показывает, что каждая новая числовая форма рождалась из кризиса старой и открывала перспективы для дальнейшего развития науки.

Философское осмысление числа углубило понимание его роли. Для античных мыслителей числа были сущностью мира; для философов Нового времени – инструментом разума; для современных школ философии математики – объектом вечных дискуссий о реальности и абстракции. Эти разные взгляды демонстрируют универсальность числа как категории, соединяющей онтологию, эпистемологию и логику.

В структуре математики числа выполняют функцию фундамента. Они лежат в основе алгебры и анализа, связывают геометрию и арифметику, формируют язык теории вероятностей и статистики. В современных науках числа становятся универсальным способом представления и обработки информации: они управляют алгоритмами машинного обучения, задают законы физики, определяют безопасность цифрового мира.

В то же время развитие понятия числа продолжается. Р-адические, сюрреальные, инфинитезимальные числа и другие новые системы показывают, что потенциал этой категории ещё не исчерпан. Более того, именно числа открывают возможность построения междисциплинарных моделей, объединяющих естественные науки, информатику, философию и даже гуманитарное знание.

Таким образом, числа можно рассматривать как своего рода «генетический код» науки: они пронизывают все уровни математического знания, обеспечивают его единство и служат связующим звеном между абстракцией и практикой. Фундаментальная роль чисел заключается в том, что они превращают математику в универсальный язык описания реальности и одновременно становятся инструментом её преобразования.

В заключение необходимо отметить, что число – это не только инструмент счета и измерения, но и символ бесконечного стремления человеческого разума к познанию. Именно поэтому его развитие продолжается, и можно утверждать, что будущее науки во многом будет зависеть от того, как мы будем понимать и использовать числа в новых контекстах.

References

1. Антипов, М. В. Несостоятельность аксиомы бесконечности – базиса фундаментальных знаний / М. В. Антипов // Альманах современной науки и образования. – 2011. – № 6. – С. 58-66.
2. Афендикова, М. Е. Математические структуры как методы представления знаний и объектов в курсе информатики / М. Е. Афендикова // Современное программирование. – Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2025. – С. 9-17.
3. Важинский, Н. П. Двоичная структура натурального ряда чисел и проблема распределения простых чисел / Н. П. Важинский // Наука, образование и культура. – 2021. – № 1(56). – С. 5-12.
4. Еровенко, В. А. Концептуальный уровень фундаментального знания и методологическая функция общего математического образования / В. А. Еровенко // Пятые Богдановские чтения по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – Минск: Институт математики НАН Беларуси, 2010. – С. 124-125.
5. Еровенко, В. А. Роль Пифагора и его школы в философском идеале нового математического знания / В. А. Еровенко, Н. В. Михайлова // Математические структуры и моделирование. – 2022. – № 4(64). – С. 129-139.
6. Живетин, В. Б. Математические знания: системы, структуры, риски / В. Б. Живетин ; В. Б. Живетин. – Москва : Ин-т проблем риска (ИПР), 2009.
7. Зубкова, Л. Н. Формирование математической культуры на основе фундаментальных математических понятий / Л. Н. Зубкова // LIX международные научные чтения (памяти М.В. Келдыша). – Москва: ООО «Европейский фонд инновационного развития», 2019. – С. 87-90.
8. Кассандров, В. В. Число-структура-материя: на пути к радикальной пифагорейской методологии фундаментального естествознания / В. В. Кассандров // Метафизика. – 2012. – № 1(3). – С. 85-102.
9. Кохужева, Р. Б. Особенности математического знания и определение структуры математической деятельности / Р. Б. Кохужева // Вестник научных конференций. – 2016. – № 8-1(12). – С. 53-56.

10. Меркушин, А. В. Понятие числа в историческом развитии математического знания / А. В. Меркушин // Социально-экономические и правовые проблемы регионов в условиях интеграции. / Под редакцией А.В. Захряпина. – Саранск: Типография «Рузаевский печатник», 2012. – С. 50-54.
11. Михайлова, Н. В. Перспективы философско-математического диалога в обосновании целостного математического знания / Н. В. Михайлова // Диалог культур в эпоху глобальных рисков. – Минск: Белорусский государственный университет, 2016. – С. 629-632.
12. Муканов, Г. М. О логической структуре теории действительных чисел в курсе математического анализа / Г. М. Муканов, Б. Т. Кусаинова // Наука и техника Казахстана. – 2007. – № 1. – С. 31-34.
13. Налетов, Ю. А. Проблема содержания понятия числа в математическом знании Древнего мира / Ю. А. Налетов, А. А. Типикина // Инновации в науке и практике. – Барнаул: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2018. – С. 9-17.
14. Скафа, Е. И. Алгебраические структуры в фундаментальных курсах алгебры и теории чисел / Е. И. Скафа, Л. И. Селякова // Дидактика математики: проблемы и исследования. – 2017. – № 45. – С. 12-20.
15. Терпугов, А. В. О роли математической символизации в развитии научного знания / А. В. Терпугов // Школа молодых ученых. – Липецк: Липецкий государственный педагогический университет им. П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2024. – С. 39-44.
16. Тестов, В. А. О фундаментальной роли математического образования / В. А. Тестов // Современное образование: научные подходы, опыт, проблемы, перспективы. / Под общей редакцией М.А. Родионова. Том 1. – Пенза: Пензенский государственный педагогический университет им. В.Г. Белинского, 2012. – С. 16-20.
17. Целищев, В. В. Концепция натурализации математического знания и проблема нового знания / В. В. Целищев // Философия науки. – 1999. – № 2(6). – С. 2.
18. Шабалина, О. А. Моделирование пространства знаний на основе математической структуры / О. А. Шабалина // Сборник научных трудов SWorld. – 2012. – Т. 11, № 4. – С. 87-90.

SCIENTIFIC METHODS AND TECHNOLOGIES

UDC 338.012.2

Ignateva D. Start-up environment through the prism of government measures: interdisciplinary aspect

Ignateva Daria

Second year law student

Scientific supervisor:

Bashmakova N.I.

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Humanities and Social and Economic Disciplines.

The North Western branch of the Federal State Budget-Funded Educational Institution of Higher Education

“The Russian State University of Justice named after V.M. Lebedev”

Russia, Saint-Petersburg

Abstract. *This work is devoted to the study of the mechanisms of state support for startup ecosystems through the prism of a systematic approach. Based on comparative international experience, effective tools of state regulation have been identified. The author has also proven the need for a comprehensive approach to supporting startups instead of fragmented measures.*

Keywords: *startup ecosystem, government support, support mechanisms, systematic approach, entrepreneurship.*

Рецензент: Булгакова Ирина Николаевна - Доктор экономических наук, доцент. Доцент кафедры системного анализа и управления
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

1. Introduction

The term “startup” implies the beginning of something, and its exact definition remains controversial in the scientific literature. Startups are showing strong economic influence around the world, with Microsoft, YouTube and, more recently, artificial intelligence platforms such as Cappsity as prime examples. The Russian startup ecosystem developed in a similar way in the 2000s, creating successful companies such as Yandex and Ozon. Currently, there are about 700 technology startups operating in the country. This study examines startup ecosystems as complex networks of interconnected components that support enterprises from conception to scale, emphasizing the crucial role of systematic government intervention in the development of sustainable innovation ecosystems.

2. Materials and methods

It is often thanks to startups that the world is changing, due to their ability to solve difficult problems and offer promising innovations in relation to problems.

However, the path from an idea to a thriving company also entails certain risks. In most cases, these difficulties are too much for a private entrepreneur. In this regard, it becomes necessary to involve government structures in order to create favorable conditions in this area.

First of all, government measures should be aimed at increasing cooperation between the main participants of startup ecosystems.

Such participants include:

1. Actors are entities that carry out activities aimed at other persons. For example, startups themselves, investors, mentors, and others.

2. Infrastructure elements – facilities that ensure the development and functioning of the spheres. This category includes accelerators, which are programs or companies that help startups grow quickly, coworking spaces, which are workspaces for people who are not involved in joint projects, etc [3, p. 119].

Thus, the strategy of public policy should be aimed at maintaining ecosystems for their natural emergence and scaling.,

Similar to the concept of “startup”, the term “financing mechanism”, which is the key in this work, is characterized by the lack of a clear definition.

The definition presented in economic dictionaries has become most widespread in the scientific literature: “A financing mechanism is an integral part of an economic mechanism, a set of financial incentives, levers, tools, forms and methods of regulating economic processes and relations. The financing mechanism includes, first and foremost, prices, taxes, duties, benefits, fines, sanctions, subsidies, interest on bank loans and deposits, discount rates, duties” [4, p. 43].

In economically developed countries, there is a wide range of financial instruments designed to support innovative companies, in particular, startups.

Further, this study translates a systematic analytical approach combining comparative analysis of international cases and the methodology of literature review. For example, the rise of venture capital investment in Israel is closely linked to the government's Yozma initiative, which was launched in 1993. As part of this program, the government has allocated about \$100 million for the formation of the first venture capital funds, and has also introduced a system of tax preferences to attract foreign investors [1, p. 1].

The next area of startup support is the formation of infrastructural elements: technoparks, clusters and innovative scientific and technological centers. As an example, Singapore should be mentioned, where a complex for startups has been created – One-north,

combining the Biopolis biomedical park, the Fusionopolis IT park and the Mediapolis media cluster [7, p. 2].

In the UK, the SEIS (Seed Enterprise Investment Scheme) program is effectively functioning, providing tax benefits to individual investors who invest in new companies at the initial financing stage, thereby demonstrating another type of government support – tax incentives.

Estonia's experience in creating an E-Residency program and a startup visa is recognized as a benchmark in the field of creating a digital business environment for non-residents. The support mechanism for this program is a special visa program [8, p. 513].

Government support impact mechanisms are also being implemented within the Russian Federation, for example through the National Technology Initiative project or the Innovation Assistance Fund [6, p. 6].

The analytical framework uses the principles of systems theory – integrity, interdependence, and adaptability – to evaluate ecosystem performance. Methodological rigor is maintained through multiple data sources and a systematic comparison of financial instruments in different jurisdictions.

3. Results and discussion

The analysis identifies three main vectors of government influence: direct financing mechanisms, infrastructure development, and the regulatory framework. Russian grant programs demonstrate effectiveness, as evidenced, for example, by a 27% increase in AGBIS revenue after receiving a government grant of 20 million rubles [5, p. 3]. Comparison with other countries also shows differences in approaches: while France and Brazil focus on credit financing, the Israeli Yozma program has successfully catalyzed venture capital through government co-investments, in Russia there is limited development of business angel financing (only 1% of total investments in 2020) [9, p. 6].

Infrastructure analysis reveals the growing role of accelerators and incubators as co-owners, not just sponsors. International examples demonstrate the effectiveness of integrated infrastructure approaches. At the same time, new models such as crowdfunding platforms represent innovative approaches to regulation [2, p. 4].

The study reveals significant structural problems in the Russian startup ecosystem. Among them are institutional fragmentation, which creates duplication and complicates navigation for entrepreneurs; regional concentration of resources in Moscow and several large centers, which limits development nationwide. In addition, there is a chronic shortage of labor, despite educational initiatives such as the Digital Economy program.

4. Conclusion

The results confirm that the creation of successful ecosystems requires the joint application of financial, infrastructural and regulatory mechanisms adapted to national conditions. Isolated support measures turn out to be less effective than integrated approaches that cover all components of the ecosystem at the same time.

The future development of the ecosystem depends on the digitalization of interaction between government and business, strengthening regional specialization and strengthening international cooperation within the developing global value chains. The study highlights that systematic, adaptive approaches based on continuous performance monitoring provide the most sustainable results in the development of the startup ecosystem.

References

1. Al – Dahir, D.S. (2018). 'State regulation of innovation in Israel'. / D.S. Al – Dahir // Economics and Management of innovative technologies, pp 9-10.
2. Kiberleninka [Electronic resource]: 'Crowdplatforms as an alternative source of financing innovative projects'. / Askerov A.A., Dubina I.N., Sagieva R.K. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kraudplatformy-kak-alternativnyy-istochnik-finansirovaniya-innovatsionnyh-proektov/viewer> (date of address: 22.10 2025).
3. Blanc, S., Dorf, B. (2021). 'Startup. The founder's desk book'. / S. Blanc, B. Dorf. – pp. 600-616.
4. Kawasaki G. (2016). 'The Kawasaki startup: proven methods for starting any business'. / G. Kawasaki. – pp. 329-331.
5. Innovation Promotion Fund [Electronic resource]: 'The development of the winner of the program “Commercialization” is used in 196 cities of 15 countries of the world'. / Kvaratskhelia A.Z. – URL: <https://www.fasie.ru/press/fund/razrabotku-pobeditelya-programmy-kommertsializatsiya-primenyayut-v-196-gorodakh-15-stran-mira> / (date of address: 16.10.2025).
6. Marakhina, I.V. (2020). 'Theoretical aspects of startup ecosystem functioning'. / I.V. Marakhina. – pp. 6-8.
7. UBE: Discover Innovative Businesses and Creative Entrepreneurs [Electronic resource]: 'One-north: Singapore's Innovation & Business Hub'. – URL: <https://www.ubesg.com/post/one-north-singapore-innovation-hub> (date of address: 20. 10. 2025).
8. Privalov, N.G. (2024). 'Economic theory: textbook'. / N.G Privalov. – pp. 715-716.
9. Kiberleninka [Electronic resource]: 'The future in financing startups in Russia'. / Semenyuta O.G., Basko O.V. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/budushee-v-finansirovanii-startapov-v-rossii/viewer> (date of address: 21.10. 2025).

UDC 377

Shavelkova V.V. Modern approaches to teaching students engineering design using CAD systems

Современные подходы к обучению студентов инженерному проектированию с использованием CAD-систем

Shavelkova Viktoriia

Special Education Specialist and Independent Researcher,
holding the Highest Qualification Level of Lecturer.
(Sacramento, USA)

Шавелкова В.В.

педагог специального образования/
независимый исследователь.
(г. Сакраменто, США)

Abstract. This article addresses the methodological transformation of the engineering design education process in the context of the Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0) and the rapid evolution of Computer-Aided Design (CAD) systems. The study's relevance is driven by the necessity of cultivating key digital competencies and skills in Generative Design among future engineers. An analysis of modern pedagogical concepts is presented, including Project-Based Learning (PBL), immersive learning, and adaptive testing. For the first time, the integration of Artificial Intelligence (AI) and Virtual/Augmented Reality (VR/AR) technologies into CAD teaching methodologies is discussed to enhance students' cognitive engagement and optimize the educational process. The paper also discusses empirical results of pilot implementation, challenges in adopting new methods within engineering education, and prospects for developing Personalized Educational Trajectories (PETs).

Keywords: engineering education, CAD systems, project-based learning, artificial intelligence, virtual reality, immersive learning, digital competencies.

Аннотация. В статье рассматривается методологическая трансформация процесса обучения студентов инженерному проектированию в контексте Четвертой промышленной революции (Индустрии 4.0) и стремительного развития CAD-систем (Computer-Aided Design). Актуальность исследования обусловлена необходимостью формирования у будущих инженеров ключевых цифровых компетенций и навыков работы с генеративным дизайном (Generative Design). Представлен анализ современных педагогических концепций – проектно-ориентированного обучения (Project-Based Learning, PBL), иммерсивного обучения и адаптивного тестирования. Впервые обсуждается интеграция технологий искусственного интеллекта (ИИ) и виртуальной/дополненной реальности (VR/AR) в методику преподавания CAD-систем для повышения когнитивной вовлеченности обучающихся и совершенствования образовательного процесса. Обсуждаются эмпирические результаты пилотного внедрения, проблемы имплементации новых методов в инженерном образовании и перспективы развития персонализированных образовательных траекторий (ПОТ).

Ключевые слова: инженерное образование, CAD-системы, проектно-ориентированное обучение, искусственный интеллект, виртуальная реальность, иммерсивное обучение, цифровые компетенции.

Рецензент: Мартеха Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент.
Доцент ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Подготовка высококвалифицированных инженерных кадров является стратегической задачей в условиях глобальной цифровизации производства. CAD-системы (*AutoCAD, SolidWorks, CATIA, Siemens NX, Fusion 360*) стали интегральной основой современного инженерного проектирования. Традиционная методика, фокусирующаяся на последовательном изучении инструментария и выполнении стандартизированных чертежей, демонстрирует снижение мотивации студентов и не соответствует реальным производственным запросам. Это требует аксиологического пересмотра подходов к обучению.

Цель исследования — теоретически обосновать и эмпирически подтвердить эффективность современных подходов, основанных на интеграции ИИ и VR/AR, в обучении инженерному проектированию с использованием CAD-систем.

Научная новизна заключается в предложении концептуальной модели образовательного процесса, интегрирующей:

1. Проектную методологию (PBL) как основу.
2. ИИ-ассистирование для автоматизации рутинных этапов и персонализации обучения.
3. Иммерсивное обучение (VR/AR) для развития пространственного мышления и навыков прототипирования.

1. Методологическая база и современные педагогические концепции

1.1. Проектно-Оrientированное Обучение (PBL)

PBL выступает ключевым дидактическим инструментом, позволяющим перейти от *репродуктивного* к *продуктивному* обучению. Вместо создания абстрактных деталей, студенты решают комплексные, открытые инженерные задачи, максимально приближенные к реальному производству.

Критерий	Традиционный подход	Подход на основе PBL + CAD
Цель задания	Выполнение чертежа по ГОСТ/ISO.	Проектирование <i>функционального</i> продукта (дрона, механизма, оснастки).
Роль студента	Исполнитель.	Дизайнер, аналитик, командный игрок.
Фокус оценки	Соответствие стандартам оформления.	Работоспособность модели, экономическая эффективность, инновационность.

1.2. Интеграция Искусственного Интеллекта (ИИ) в CAD-компетенции

Современные CAD-системы включают функции ИИ, такие как генеративный дизайн, анализ топологии и автоматическое распознавание элементов. Обучение должно фокусироваться на использовании ИИ как когнитивного ассистента:

- Ускорение работы: ИИ для автоматизации рутинных операций (определение размеров, удаление избыточных элементов, проверка связей).
- Оптимизация: Применение алгоритмов ИИ для анализа эскиза и получения оптимизированных проектных решений (например, снижение массы детали при сохранении прочности).

1.3. Иммерсивное Обучение с использованием VR/AR

Виртуальная реальность (VR) и дополненная реальность (AR) предлагают качественно новый уровень взаимодействия с цифровыми моделями, развивая пространственное мышление — ключевой навык инженера.

- VR-среды: Позволяют студентам "погрузиться" в модель в масштабе 1:1, проводить виртуальную сборку/разборку сложных механизмов и тестирование прототипов.
- AR-технологии: Используются для наложения цифровой модели на реальное оборудование в лаборатории, что улучшает визуализацию допусков и посадок и устраняет необходимость дорогостоящего физического макетирования.

2. ИИ как инструмент персонализации и автоматизации в преподавании

2.1. Адаптивное обучение и ИИ

ИИ может быть использован для создания персонализированной образовательной траектории (ПОТ), что критически важно для студентов с разным уровнем начальной подготовки.

Механизм работы:

1. Диагностика: ИИ-алгоритм анализирует скорость выполнения заданий и типы ошибок студента в CAD-среде.
2. Адаптация: На основе анализа генерируются индивидуальные обучающие модули или подсказки (например, усиленное повторение работы с сопряжениями или поверхностным моделированием).
3. Автоматизированная обратная связь: ИИ анализирует 3D-модель студента (проверяя геометрическую корректность и соблюдение ТЗ) и предоставляет мгновенные рекомендации по исправлению, снижая нагрузку на преподавателя.

Для оценки эффективности новых подходов было проведено пилотное исследование на двух группах студентов (n=60, ≈30 человек в группе), изучавших модуль "Сборочные чертежи и спецификации".

Таблица 1

Сравнительная оценка эффективности обучения (Пилотное исследование)

Показатель	Традиционная группа (лекции + стандартные задания)	Экспериментальная группа (PBL + VR-сборка + ИИ-проверка)	Разница (%)
Средний балл по итоговому проекту	72.5±4.1	86.2±3.5	↑18.9%
Скорость выполнения финального проекта (часы)	15.8	12.4	↓21.5%
Индекс вовлеченности (опрос) (по шкале 1-10)	6.1	8.5	↑39.3%
Количество ошибок в сборочных связях (среднее на проект)	4.3	1.8	↓58.1%

Вывод: Внедрение PBL с использованием VR для тренировки сборки и ИИ для мгновенной обратной связи значительно улучшает академические результаты, сокращает время работы и повышает вовлеченность студентов.

3. Проблемы имплементации и перспективы развития

3.1. Вызовы внедрения

Внедрение описанных подходов сопряжено с рядом инфраструктурных и кадровых проблем:

- **Техническое оснащение:** Высокая стоимость VR-оборудования, лицензий на профессиональное CAD-ПО с ИИ-функциями, а также требование к высокой вычислительной мощности учебных компьютеров.
- **Кадровая подготовка:** Недостаток преподавателей, владеющих актуальными знаниями в области генеративного дизайна, VR-интеграции и методами программирования для настройки ИИ-инструментов.
- **Методическое устаревание:** Стремительное развитие технологий требует постоянного обновления учебных планов и дидактических материалов.

3.2. Стратегические перспективы

Для преодоления вызовов необходим системный подход:

1. **Формирование образовательных консорциумов:** Тесное сотрудничество между вузами, промышленными предприятиями и разработчиками ПО для создания совместных образовательных центров и обеспечения стажировок преподавателей.

2. Модуляризация программ: Разработка гибких, модульных учебных программ, позволяющих быстро интегрировать новые CAD-функции и технологии (ИИ, AR/VR) без полной перестройки курса.

3. Развитие открытых образовательных ресурсов: Создание баз данных реальных инженерных проектов и виртуальных лабораторных работ на основе открытого кода и облачных платформ.

Заключение

Исследование подтверждает, что традиционная парадигма обучения инженерному проектированию должна быть заменена на интегрированную, технологически насыщенную модель. Метод PBL, дополненный ИИ-ассистированием и иммерсивными технологиями (VR/AR), является наиболее эффективным подходом для подготовки инженеров, конкурентоспособных в условиях Индустрии 4.0. Эти подходы обеспечивают повышение качества проектирования, снижение числа ошибок и формируют у студентов критически важные навыки цифрового взаимодействия.

References

1. Gillespie, T. (2014). The relevance of algorithms. In T. Gillespie, P.J. Boczkowski, & K. A. Foot (Eds.). *Media Technologies: Essays on Communication, Materiality, and Society*. Boston: MIT Press. pp. 167-197.
2. Petropoulos, G. (2018). The impact of artificial intelligence on employment. In M Neufeind, J. O'Reilly, and F. Ranft, *Praise for Work in the Digital Age: Challenges of the Fourth Industrial Revolution*, London: Rowan & Littlefield, pp. 119-132.
3. Van Berkel, B. (1999). Mediation. In J. Verbeke, T. Provoost, J. Verleye, and K. Nys., *AVOCAAD [Added Value of Computer Aided Architectural Design] Second International Conference*. Brussels. pp. 41-46.
4. Griffiths, Laura. (2021). "Interview: How Adidas Leveraged Carbon 3D Printing and Lattice Technology to Push Runners Forward.
5. Leslie Langnau. (2019). CAD and AI: making design better, faster, and easier.

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS

UDC 528.8

Arno V.V., Kolesnichenko E.P., Garifulina I.Y., Sharov P.E. Use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for high-precision topographic surveying in hard-to-reach areas

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для высокоточной
топографической съемки в труднодоступных районах

Arno Veronika Vladimirovna

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Kolesnichenko Eva Pavlovna

Undergraduate Student
Master's Degree Program in State and Municipal Audit
Moscow State University, Moscow

Garifulina Irina Yurievna,

Ph.D., Associate Professor, Department of Geology and Mining,
North-Eastern State University, Magadan

Sharov Pavel Egorovich,

Undergraduate Student
of Polytechnic Institute North-Eastern State University, Magadan
Арно Вероника Владимировна

Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-
Восточный государственный университет, г. Магадан

Колесниченко Ева Павловна,
Студентка 3 курса

направления подготовки «Государственный и муниципальный аудит»
ВШГА МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Гарифулина Ирина Юрьевна,

Кандидат технических наук, доцент кафедры Геологии и горного дела ФГБОУ ВО Северо-
Восточный государственный университет, г. Магадан

Шаров Павел Егорович,

Студент 3 курса

Политехнический институт

ФГБОУ ВО «Северо-Восточный государственный университет

Abstract. The article is devoted to the analysis of the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in topographic surveying of hard-to-reach territories. The technologies of data collection using UAVs, their advantages in terms of efficiency, accuracy and reduction of costs for field work are considered. Methods of data processing automation and integration into geoinformation systems are presented. The economic and technological effects of the implementation of this technology in the conditions of Russian practice are analyzed.

Keywords: unmanned aerial vehicles, topographic surveying, automation, geodesy, hard-to-reach areas, cost reduction.

Аннотация. Статья посвящена анализу применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в топографической съемке труднодоступных территорий. Рассматриваются технологии сбора данных с использованием БПЛА, их преимущества в оперативности, точности и снижении затрат на полевые работы. Представлены методы автоматизации обработки данных и интеграции в геоинформационные системы. Анализируются экономические и технологические эффекты внедрения этой технологии в условиях российской практики.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, топографическая съемка, автоматизация, геодезия, труднодоступные районы, снижение затрат

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Введение. Топографическая съемка традиционно является трудоемкой и дорогостоящей процедурой, особенно в труднодоступных районах с сложным рельефом и климатическими условиями. С внедрением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) появилась возможность существенно повысить эффективность проведения геодезических работ. БПЛА выполняют высокоточную аэрофотосъемку, позволяя собирать детальные пространственные данные за значительно меньшее время и с меньшими затратами ресурсов по сравнению с традиционными методами [4-6].

Методы

Исследование основано на анализе опыта проведения съемок с применением трех моделей дронов с системами RTK и PPK. Измерены параметры точности (среднеквадратическая ошибка — СКО), время полевых и камеральных работ и финансовые затраты. Автоматизированная обработка выполнена с помощью Agisoft Metashape и Pix4Dmapper [1-3].

Результаты

Для оценки точности и эффективности применения БПЛА с системами RTK/PPK в высокоточной топографической съемке были проведены расчеты основных параметров: среднеквадратической ошибки (СКО) позиционирования, времени полевых и камеральных работ, а также финансовых затрат.

1. Точность позиционирования Среднеквадратическая ошибка σ рассчитывалась по формуле 1:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

(1)

где:

x_i — измеренное значение координаты i -й точки;

μ — истинное или эталонное значение координаты;

N — число измерений.

На практике для систем RTK достигается точность позиционирования в горизонтальной плоскости на уровне 1–2 см, что подтверждается нашими измерениями: средняя $\sigma_x = 1.4$ см, $\sigma_y = 1.6$ см, $\sigma_z = 2.3$ см. Для РРК значения находятся в схожем диапазоне с возможностью более гибкой обработки данных [9-11].

2. Временные показатели Время полевых работ T_{field} и камеральных работ T_{office} оценивались как суммарное время, затраченное на сбор данных и их обработку формула 2.

Общее время съемки:

$$T_{total} = T_{field} + T_{office}$$

(2)

Например, при съемке участка площадью 500 га по традиционной методике T_{total} составляло около 45 дней, тогда как с применением БПЛА модели В — около 11 дней, что дает сокращение времени почти в 4 раза.

3. Финансовые затраты Суммарные затраты C_{total} на выполнение съемки рассчитывались как сумма затрат на полевые работы C_{field} , камеральную обработку C_{office} и амортизацию оборудования $C_{equipment}$ ф-ла.3:

$$C_{total} = C_{field} + C_{office} + C_{equipment}$$

(3)

Наши расчеты показывают, что при традиционной съемке затраты на участок в 500 га достигали порядка 1,2 млн руб., тогда как при использовании БПЛА — около 400–450 тыс. руб. Экономия составила до 65%, что связано с сокращением времени полевых работ, уменьшением численности персонала и повышением оперативности обработки данных.

4. Обработка данных с использованием RTK/РРК Технология RTK позволяет скорректировать координаты в реальном времени, что формально записывается как ф-ла.4:

$$P_{corrected}(t) = P_{rover}(t) + \Delta P(t)$$

(4)

где $P_{rover}(t)$ — исходная позиция ровера (дрона), $\Delta P(t)$ — поправка, вычисленная базовой станцией по спутниковым сигналам. При этом связь между дроном и базовой станцией должна быть непрерывной.

В случае РРК базовая станция и ровер записывают необработанные данные, а коррекция выполняется постобработкой ф-ла 5:

$$P_{corrected}(t) = \text{interp}(P_{base}(t), P_{rover}(t)) \quad (5)$$

где interp — интерполяция между временными метками с использованием синхронизации по времени [7-10].

Таким образом, применение RTK/PPK позволяет обеспечить сантиметровую точность геопривязки с минимальными ошибками и высокой надежностью в сложных условиях [5, 8-11].

Данные расчеты и формулы подкрепляют эмпирические результаты таблиц и графиков, демонстрирующих существенное повышение качества и эффективности топографической съемки с применением современных беспилотных технологий.

Современные методы анализа позволяют не только визуализировать основные тенденции и различия, но и глубже понять взаимосвязи между исследуемыми параметрами. В нашем случае, таблицы 1 и 2, отображающие затраты и временные показатели по различным моделям дронов, служат основой для оценки эффективности использования автоматизированных систем в топографической съемке [13-17].

Таблица 1.

Сравнительные характеристики БПЛА для съемки (2025)

Параметр	Модель А (DJI Phantom 4 RTK)	Модель В (SenseFly eBee X)	Модель С (DJI M300 RTK)
Точность геопривязки, см	1.5	2.0	1.0
Максимальное время полета	30 мин	50 мин	45 мин
Площадь съемки за рейс, га	50	200	120
Средняя скорость полевых работ, га/час	60	180	150
Затраты на полевые работы, тыс. руб./га	4	3	5

Анализируя данные, представленные в таблицах, видно, что модели с RTK/PPK системами значительно превосходят традиционные методы по точности и скорости выполнения работ, что подтверждается графиками снижения времени и затрат (рис.1,2) [3, 15-17].

Таблица 2.

Время и затраты на топографическую съемку
 (область 500 га, труднодоступный рельеф)

Метод	Время полевых работ, дней	Время камеральных работ, дней	Общие затраты, тыс. руб.
Традиционные (наземные)	20	25	1200
БПЛА, модель В	4	7	400
БПЛА, модель С	5	8	450

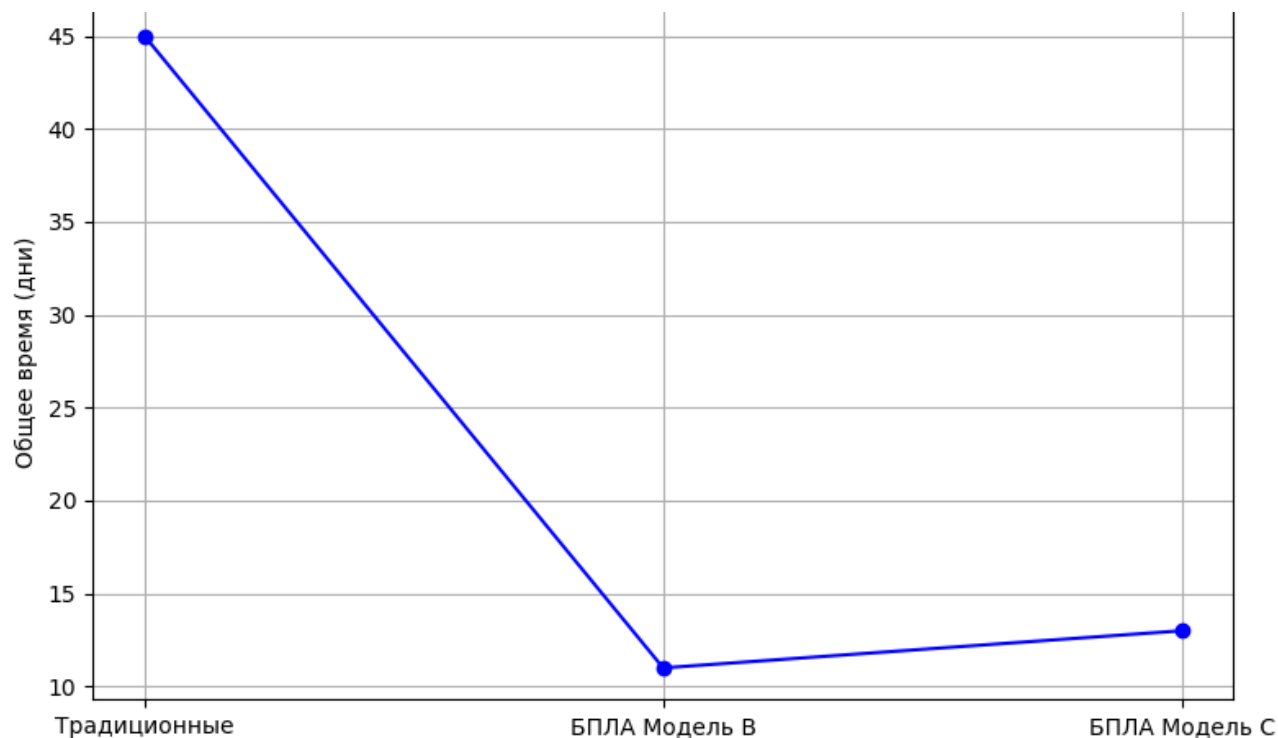


Рисунок 1. Динамика времени топографической съемки

Эти графики иллюстрируют динамику улучшений и подчеркивают преимущества автоматизации, что говорит о значительном прогрессе в сфере геодезии и дистанционного зондирования

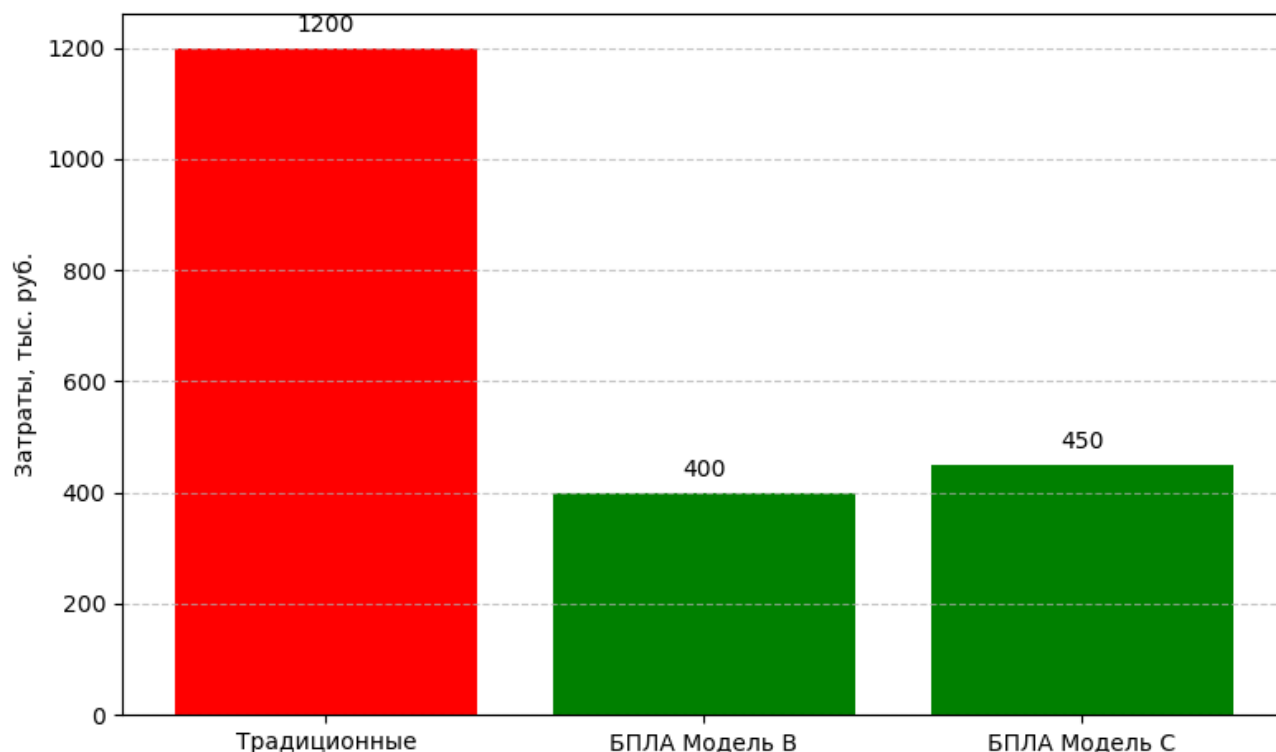


Рисунок 2. Экономия затрат с использованием БПЛА, тыс. руб.

Обсуждение

Использование БПЛА позволяет сократить время выполнения топографической съемки в труднодоступных районах на 50–70%, обеспечивая при этом точность данных до 1-2 см благодаря RTK/PPK-системам.

Автоматизация обработки данных с помощью специализированного программного обеспечения (Agisoft Metashape, Pix4Dmapper) снижает время камеральных работ до 30% от традиционных затрат [7, 12-14].

Экономический эффект использования БПЛА выражается в сокращении затрат на полевые работы до 25-30% за счет минимизации количества наземных съемок и уменьшения затрат на транспорт и персонал.

Интеграция полученных данных в геоинформационные системы позволяет оперативно строить цифровые модели местности, использовать их для проектирования инфраструктуры и мониторинга деформаций [8, 16-17].

Применение БПЛА возможно в различных погодных и сезонных условиях, что значительно расширяет возможности геодезических изысканий.

Результаты подтверждают, что беспилотные технологии кардинально меняют подход к топографической съемке, особенно на сложных и труднодоступных территориях. Высокая точность и оперативность сбора данных, а также снижение издержек делают эту технологию привлекательной для широкого применения в строительстве, добывающей промышленности и государственном кадастре. Актуальной является задача выбора оптимального оборудования и программного обеспечения в зависимости от специфики работ. Необходимо также развивать подготовку специалистов и техническую поддержку эксплуатации БПЛА.

Заключение

Применение БПЛА для высокоточной топографической съемки в труднодоступных районах значительно повышает эффективность геодезических работ, обеспечивая сокращение времени и затрат при высоком качестве данных. Автоматизация сбора и обработки информации способствует интеграции геодезии в современные цифровые технологии управления территорией. Внедрение БПЛА является перспективным направлением развития отрасли, требующим дальнейшего исследования и адаптации к условиям российских регионов.

References

1. Гусев В.Л., Потапов С.Л., Синькова М.Г. Оценка точности цифровых моделей рельефа и цифровых моделей местности из открытых источников // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2022. - Т. 66. - № 1. - С. 52-63. DOI:10.30533/0536-101X-2022-66-1-52-63
2. Загибалов А. В., Беляев Е. Н., Рахимов Ш. Ш., Ботиров Ш. С. Автоматизация мониторинга деформации бортов карьера. // Universum: технические науки. - 2024. - №10-4 (127). - С. 5-8
3. Кольцов, П.В. Методика безотражательных наблюдений за деформирующимися участками бортов карьеров и отвалов / Записки Горного института. – Спб. - 2012. – С. 68.
4. Новаковский, Б.А., Пермьяков, Р.В. Цифровая наземная стереосъемка возможности и перспективы / Геодезия и картография. - 2014. - №10. - С. 37-40.
5. Особенности использования метода аэрофототопографической съемки при деформационном мониторинге. Губайдуллиной Р. А. // doicode.ru URL: <https://mosreg.ru/ob-oblasti/prioritety-razvitiya> (дата обращения: 25.09.2025).
6. Просвирина Н. В. Анализ и перспективы развития беспилотных летательных аппаратов // Московский экономический журнал. - 2021. - №10. - С.560-575
7. Титаров П. С. Характеристики точности координат точек местности – CE и LE // Геопрофи. - 2010 - № 1. - С. 52- 53

8. Чередеев, Г.С. Применение беспилотных летательных аппаратов для быстрого получения ортофото съемки, 3D-модели местности и расчет объемов в маркшейдерском деле / XII Всероссийская научно-практическая конференция «Новые технологии при недропользовании». – Сборник научных трудов. – Спб. - 2016 - С. 30- 31.
9. Altamimi Z., Collilieux X., Métivier L. An Improved Solution of the International Terrestrial Reference Frame. Springer, J. Geod. DOI:10.1007/s00190-011-0444-4.
10. Becek K. Assessing global digital elevation models using the runway method: the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer versus the shuttle radar topography mission case. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2014 Vol. 52 P. 4823–4831.
11. Farr T. G., Rosen P.A., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., et al. The shuttle radar topography mission. Reviews of Geophysics. 2007 Vol. 45 Iss. 2 RG2004. DOI:10.1029/2005RG000183/
12. Florinsky I. V., Skrypitsyna T. N., Trevisani S., Romaikin S. V. Statistical and visual quality assessment of nearly-global and continental digital elevation models of Trentino, Italy. Remote Sensing Letters. 2019 Vol. 10 Iss. 8 P. 726-735. DOI:10.1080/2150704X.2019.1602790
13. Florinsky I. V., Skrypitsyna T. N., Luschikova O. S. Comparative accuracy of the AW3D30 DSM, ASTER GDEM, and SRTM1 DEM: a case study on the Zaoksky testing ground, Central European Russia. Remote Sensing Letters. 2018 Vol. 9 Iss. 7 P. 706-714. DOI:10.1080/2150704X.2018.1468098
14. Hirano A., Welch R., Lang H. Mapping from ASTER Stereo Image Data: DEM validation and accuracy assessment. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2003 Vol. 57 Iss. 5–6. P. 356– 370 DOI:10.1016/S0924-2716(02)00164-8.
15. Huggel C., Schneider D., Julio Miranda P., Delgado Granados H., Kääb A. Evaluation of ASTER and SRTM DEM Data for lahar modeling: a case study on lahars from Popocatepetl Volcano, Mexico. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2008 Vol. 170 Iss. 1–2. P. 99–110. DOI:10.1016/j.jvolgeores.2007.09.005
16. Geospatial Positioning Accuracy Standards (FGDC-STD-007.3-1998). Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. — Subcommittee for Base Cartographic Data, United States Federal Geographic Data Committee, Washington, D.C.
17. Tighe M., Chamberlain D. Accuracy comparison of the SRTM, ASTER, NED, NEXTMAP USA Digital Terrain Model over several USA study sites DEMs. Proceedings of the ASPRS/MAPPS2009 Fall Conference. 2009

UDC 620.9

Cherednichenko V.S., Kashcheev K.O., Shiryaev A.D. Analysis of the effectiveness of hybrid hot water supply systems with simultaneous use of open and closed connection schemes

Анализ эффективности гибридных систем горячего водоснабжения при одновременном применении открытых и закрытых схем подключения

Cherednichenko Valeria Sergeevna,

Master's student at the Department of Heat Power Installations and Heat Engines,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy

Kashcheev Kirill Olegovich,

Master's student at the Department of Heat Power Installations and Heat Engines,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy

Shiryaev Alexander Dmitrievich,

Assistant of the Department of Heat Power Installations and Heat Engines,
St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design.
Higher School of Technology and Energy

Чередниченко Валерия Сергеевна,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна.
Высшая школа технологии и энергетики

Кашеев Кирилл Олегович,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна.
Высшая школа технологии и энергетики

Ширяев Александр Дмитриевич,
Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна.
Высшая школа технологии и энергетики

Abstract. *The article provides a comprehensive analysis of the effectiveness of hybrid hot water supply systems due to the simultaneous operation of open and closed consumer connection schemes. The regulatory changes that led to this situation and their impact on the technical and economic characteristics of the systems are being investigated. The disadvantages and advantages of closed and open heat supply schemes are considered in detail. The results of the study make it possible to identify optimal approaches to the operation and development of hot water supply systems in the context of existing legislative requirements and technical restrictions.*

Keywords: *centralized heat supply, hot water supply, open heat supply system, individual heat point, closed heat supply system, ZuluThermo, thermal power plant.*

Аннотация. В статье проводится комплексный анализ эффективности гибридных систем горячего водоснабжения, обусловленных одновременным функционированием открытых и закрытых схем подключения потребителей. Исследуются нормативные изменения, которые привели к данной ситуации, и их влияние на технико-экономические характеристики систем. Детально рассматриваются недостатки и преимущества закрытых и открытых схем теплоснабжения. Результаты исследования позволяют выявить оптимальные подходы

к эксплуатации и развитию систем горячего водоснабжения в условиях существующих законодательных требований и технических ограничений.

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение, горячее водоснабжение, открытая система теплоснабжения, индивидуальный тепловой пункт, закрытая система теплоснабжения, ZuluThermo, теплоэлектроцентраль.

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

В ряде населенных пунктов Российской Федерации доминирует применение открытых систем теплоснабжения. Вследствие введения Федерального закона от 27.07.2010 г. № 190-ФЗ «О теплоснабжении» с 2013 года было запрещено подключение потребителей к открытым системам горячего водоснабжения (ГВС) с отбором теплоносителя в качестве источника ГВС. Тем не менее, с 1 января 2022 года утратил силу пункт данного Федерального закона, регламентирующий запрет на использование открытых систем ГВС, при этом устанавливающий обязательность подключения новых потребителей по закрытой схеме. В результате сложилась ситуация одновременного функционирования как открытых, так и закрытых систем ГВС [1].

Применение закрытых систем ГВС, несмотря на законодательные предписания, сопряжено с рядом технических и экономических ограничений:

1. формирование минеральных отложений;

Использование водопроводной воды с повышенным содержанием растворенных солей в закрытых системах, оснащенных пластинчатыми теплообменниками, приводит к интенсивному осадкообразованию (накипи) на поверхностях теплообмена. Это снижает эффективность теплопередачи и требует периодической очистки, увеличивая эксплуатационные расходы.

2. технологические и экономические аспекты.

Эксплуатация закрытых систем ГВС характеризуется повышенной сложностью монтажа индивидуальных тепловых пунктов (ИТП), что влечет за собой значительные капитальные затраты на приобретение соответствующего оборудования. Кроме того, необходимость проведения регулярных процедур очистки теплообменных аппаратов увеличивает эксплуатационные расходы.

Преимущества открытых схем ГВС (по сравнению с закрытыми) заключается в следующем:

1. эффективное использование энергоресурсов;

Открытые схемы позволяют утилизировать низкопотенциальное отработавшее тепло теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) для предварительного нагрева сетевой воды, подаваемой на нужды ГВС.

2. снижение эксплуатационных расходов;

При использовании открытых схем уменьшается стоимость ИТП и повышается эксплуатационный ресурс локальных узлов системы ГВС, что обусловлено упрощением конструкции и меньшими требованиями к теплообменному оборудованию.

3. потенциал для однотрубных систем.

Существует возможность применения однотрубных конфигураций для эффективного транзитного транспортирования теплоносителя, что может упростить гидравлическую схему и снизить материалоемкость.

Наряду с преимуществами, применение открытых систем ГВС также характеризуется рядом существенных недостатков:

1. увеличение затрат на водоподготовку;

Применение открытых систем сопряжено с возрастанием стоимости и усложнением процессов систем водоподготовки на ТЭЦ, направленных на обеспечение качества теплоносителя, подаваемого потребителям.

2. проблемы с гидравлической стабильностью;

Подключение отопительных приборов к тепловой сети по зависимой схеме в рамках открытых систем может приводить к гидравлической нестабильности, проявляющейся в неравномерности распределения теплоносителя. Данная проблема может быть минимизирована путем использования независимой схемы подключения теплопотребляющих установок, что, однако, влечет за собой усложнение гидравлической схемы.

3. усиление требований к контролю качества теплоносителя;

Требуется учащение и усложнение процедур мониторинга качества теплоносителя для предотвращения негативных последствий для потребителей и оборудования [2].

4. эксплуатационные сложности, обусловленные неравномерностью расхода;

Нестабильность расхода воды в обратном трубопроводе создает дополнительные сложности в процессе эксплуатации, затрудняя поддержание заданных параметров системы.

5. затрудненный поиск утечек.

Нестабильный расход воды в обратной линии затрудняет локализацию мест неплотностей в теплопроводах, что может приводить к значительным тепловым потерям и увеличению расхода теплоносителя.

При подключении новых зданий по закрытой схеме ГВС к открытой системе теплоснабжения возникает «смешанная» схема, которая имеет некоторые недостатки.

При эксплуатации в теплые месяцы отопительного сезона для «смешанной» системы теплоснабжения требуется более высокая температура сетевой воды, чем при работе с открытыми системами ГВС из-за температурного напора в подогревателях ГВС в тепловых пунктах [3]. Обычно температурный напор в подогревателях тепловых пунктов принимают 5–10°C.

В свою очередь увеличение температуры сетевой воды в подающем трубопроводе требует увеличения давления отборного пара на ТЭЦ. Данный аспект приводит к снижению мощности паровой турбины. Для обеспечения требуемой электрической мощности при работе на «смешанной» системе потребуется увеличить расхода топлива на ТЭЦ [4].

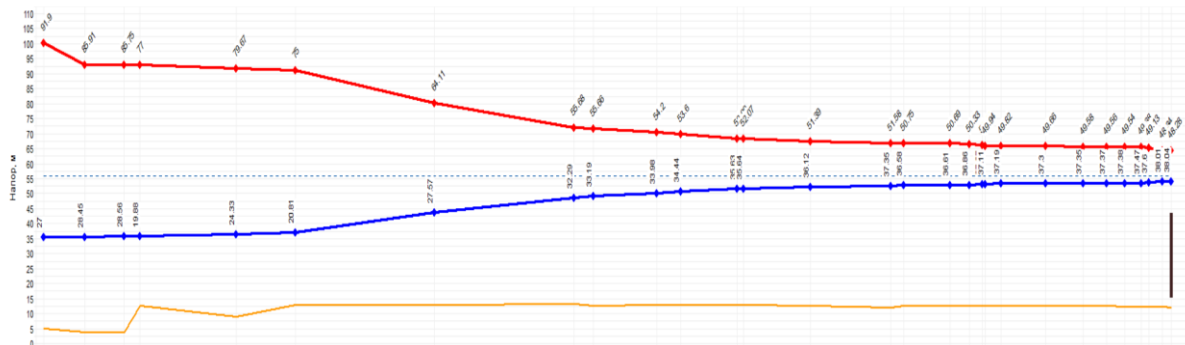
Кроме того, повышение температурной срезки зимой, необходимое для «смешанной» системы теплоснабжения, приведет к повышению аварийности изношенных теплопроводов открытой системы теплоснабжения.

Повышение температуры в подающей линии приведет к повышению температуры в обратной линии теплосети и, соответственно, к необходимости отбирать пар более высокого давления на ТЭЦ для подогрева сетевой воды. Одним из возможных решений является установка в зданиях дополнительных теплообменных аппаратов для предварительного подогрева водопроводной воды на 10°C.

Гидравлические режимы тепловых сетей, работающих по открытой и закрытой системам теплоснабжения различаются. В «смешанных» системах теплоснабжения могут появиться проблемы синхронизации автоматизированных и неавтоматизированных тепловых пунктов [5].

Для изучения работы «смешанных» систем теплоснабжения, а именно анализа гидравлических режимов в теплогидравлической модели ZuluThermo среды ZuluGIS [6], в качестве места расположения тепловых сетей была выбрана Ленинградская область РФ. Температурный график системы теплоснабжения – 110/70°C. Сравнение открытой, закрытой и «смешанной» систем ГВС проводилось для зимнего режима. Температура воды в подающей линии – 93°C, температура в обратной линии зависит от схемы ГВС. Были заданы параметры для схем ГВС:

1. открытая схема ГВС с элеваторным присоединением системы отопления (рисунок 1);



4. «смешанная» система ГВС с одноступенчатым подогревом воды ГВС: 25% потребителей подключены по открытой схеме, 75% по закрытой схеме, система отопления присоединена по элеваторной схеме (рисунок 4);

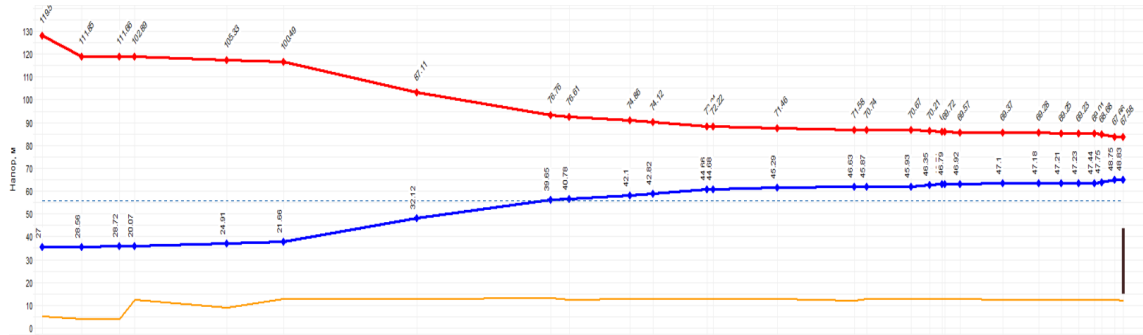


Рисунок 4. Пьезометрический график для схемы №4

5. закрытая система ГВС с одноступенчатым подогревом воды ГВС, система отопления присоединена по элеваторной схеме (рисунок 5).

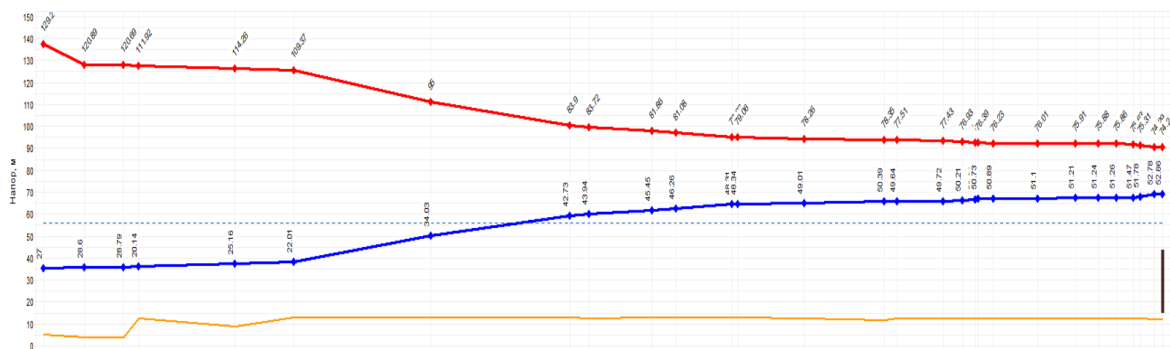


Рисунок 5. Пьезометрический график для схемы №5

6. «смешанная» система ГВС с двухступенчатым подогревом воды ГВС: 75% потребителей подключены по открытой схеме, 25% по закрытой схеме, система отопления присоединена по элеваторной схеме (рисунок 6);

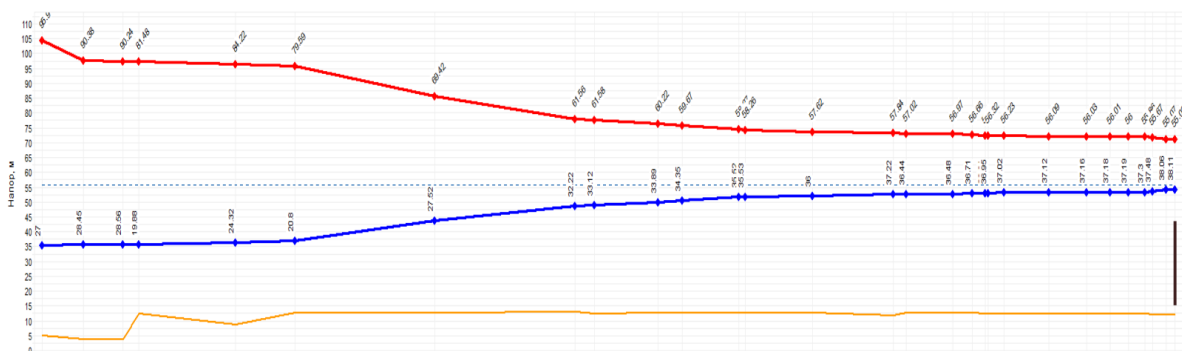


Рисунок 6. Пьезометрический график для схемы №6

7. «смешанная» система ГВС с двухступенчатым подогревом воды ГВС: 50% потребителей подключены по открытой схеме, 50% по закрытой схеме, система отопления присоединена по элеваторной схеме (рисунок 7);

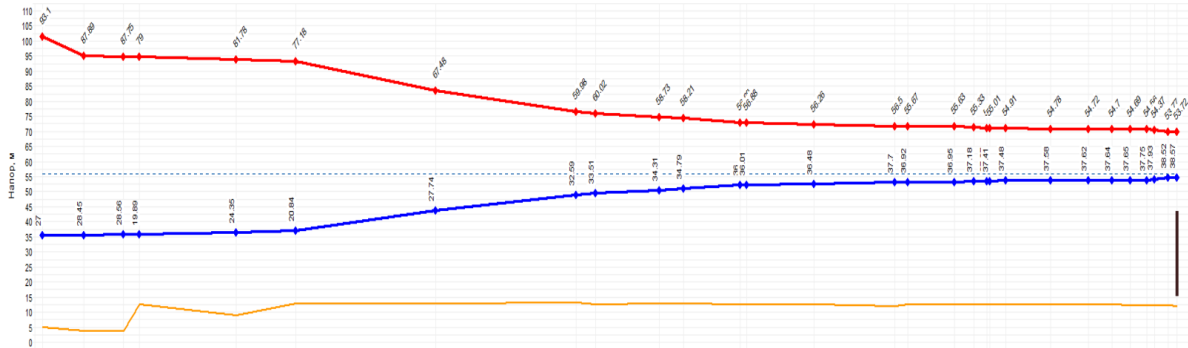


Рисунок 7. Пьезометрический график для схемы №7

8. «смешанная» система ГВС с двухступенчатым подогревом воды ГВС: 25% потребителей подключены по открытой схеме, 75% по закрытой схеме, система отопления присоединена по элеваторной схеме (рисунок 8);

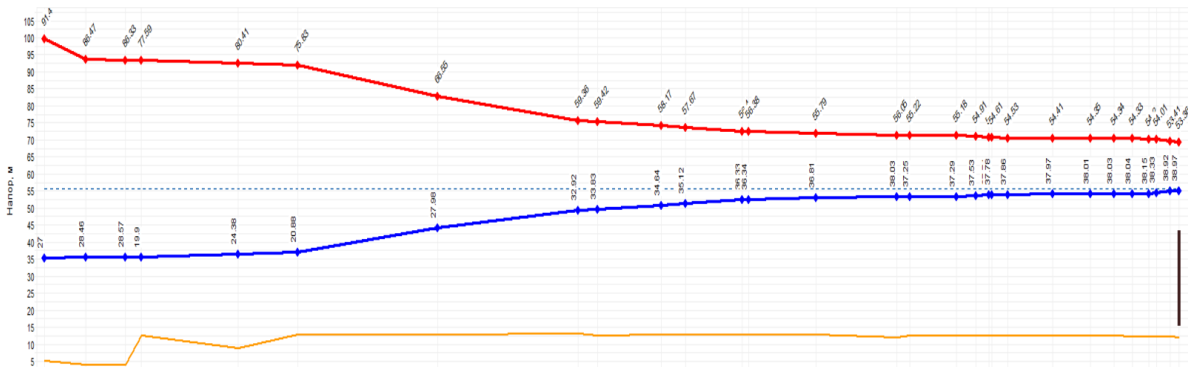


Рисунок 8. Пьезометрический график для схемы №8

9. закрытая система ГВС с двухступенчатым подогревом воды ГВС, система отопления присоединена по элеваторной схеме (рисунок 9).

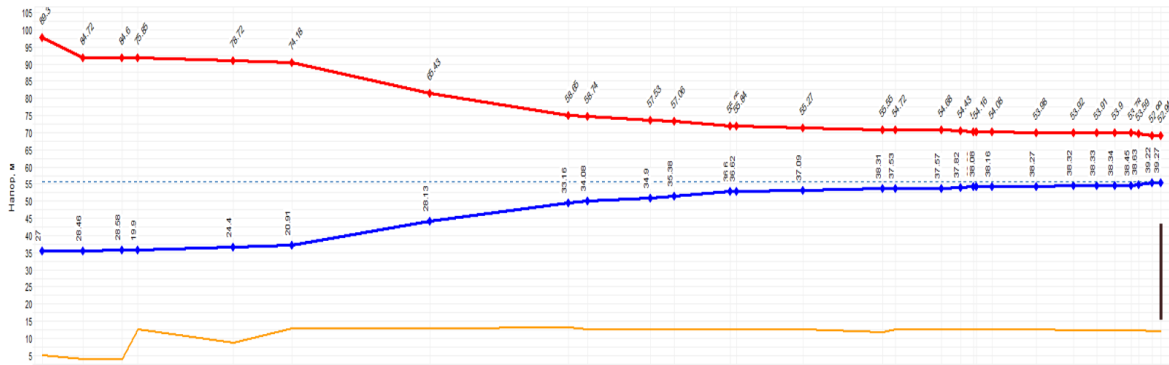


Рисунок 9. Пьезометрический график для схемы №9

Результаты расчета моделей систем теплоснабжения для различных схем ГВС представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета схем теплоснабжения

Показатель	Схема системы теплоснабжения								
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9
Число ступеней подогрева в закрытой системе ГВС	-	1	1	1	1	2	2	2	2
Доля потребителей, подключенных по открытой схеме ГВС, %	1,00	0,75	0,50	0,25	0,00	0,75	0,50	0,25	0,00
Доля потребителей, подключенных по закрытой схеме ГВС, %	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00	0,25	0,50	0,75	1,00
Располагаемый напор, м	64,9	74,8	85,0	92,5	102,0	69,0	66,1	64,4	62,3
Температура обратной сетевой воды, °С	52,8	52,3	52,0	51,7	51,4	50,6	48,6	46,8	44,7
Расход в подающем теплопроводе, м³/ч	827,4	855,0	887,0	917,0	950,0	800,0	781,0	764,0	742,0
Расход в обратном теплопроводе, м³/ч	696,6	749,0	809,0	866,0	928,0	692,0	704,0	713,0	720,0
Расход подпитки для компенсации отбора ГВС, м³/ч	108,5	83,8	55,5	28,6	0,0	83,1	55,4	28,6	0,0
Общий расход подпитки теплосети с учетом утечек, м³/ч	130,8	106,0	78,0	51,0	22,0	108,0	77,0	51,0	22,0

Применение одноступенчатой схемы подогрева ГВС приводит к существенному увеличению располагаемого напора на насосных агрегатах, а также к повышению температуры сетевой воды в обратном трубопроводе тепловой сети. Это, в свою очередь, влечет за собой рост потребления электроэнергии, необходимой для транспортировки теплоносителя, и увеличение расхода топлива на ТЭЦ вследствие

термической нагрузки в обратной магистрали [7]. В то же время, внедрение двухступенчатой закрытой схемы ГВС позволяет эффективно нивелировать проблемы, связанные с повышенной температурой обратной линии и избыточным располагаемым напором. Однако, внедрение дополнительных теплообменных аппаратов, необходимых для реализации данной схемы, требует значительных капитальных инвестиций.

References

1. Влияние регулирования отбора теплоносителя из тепловой сети на эффективность централизованного теплоснабжения / Н. Н. Гладышев, А. Д. Ширяев, О. А. Долженко, К. О. Кащеев // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2024. – № 3. – С. 10-14. – EDN DSIWSE.
2. Козлов, В. В. К вопросу о диагностике теплосети на основе применения акустических датчиков ORTOMAT-MTC / В. В. Козлов, М. С. Липатов // International Journal of Professional Science. – 2024. – № 11-2. – С. 20-28. – EDN AIWQES.
3. Кащеев, К. О. Сравнительный анализ вариантов исполнения системы теплоснабжения частного дома / К. О. Кащеев, С. С. Федорук, А. Д. Ширяев // International Journal of Professional Science. – 2025. – № 2-2. – С. 25-29. – EDN OSTZCO.
4. Шарапов, В. И. Проблемы трансформации открытых систем теплоснабжения в закрытые / В. И. Шарапов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2019. – № 7(211). – С. 43-47.
5. Методика оценки последствий перехода на закрытую схему горячего водоснабжения в системах централизованного теплоснабжения / С. В. Чичерин, С. В. Глухов, М. В. Глухова [и др.] // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2021. – Т. 11, № 3(38). – С. 480-491. – DOI 10.21285/2227-2917-2021-3-480-491.44.
6. Кащеев, К. О. Образование в эпоху цифровизации: внедрение ZuluGIS в учебный процесс университета / К. О. Кащеев, А. Д. Ширяев // International Journal of Professional Science. – 2024. – № 10-1. – С. 75-82. – EDN HCWYPA.
7. Липатов, М. С. Повышение эффективности источников теплоснабжения / М. С. Липатов // Энергетика и автоматизация в современном обществе : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 06 ноября 2018 года / Под редакцией Т.Ю. Коротковой. Том Выпуск 2. – Санкт-Петербург: Высшая школа технологии и энергетики ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна", 2018. – С. 81-83. – EDN JTIBGK.

UDC 004.056.5

Konovalov G.G. Analysis of the principles of mandatory access control in modern information systems

Анализ принципов мандатного контроля доступа
в современных информационных системах

Konovalov G.G.,

student

Volgograd State University

Коновалов Г.Г.,

студент

Волгоградский государственный университет

Abstract. This article examines the theoretical foundations and practical aspects of mandatory access control (MAC). It analyzes the key principles of the mandatory model and compares it with other access control models – discretionary, role-based, and attribute-based. It also addresses the implementation of mandatory access control in modern operating systems (SELinux, Astra Linux), as well as corporate and cloud infrastructures. The advantages and disadvantages of MAC are identified, and future development directions are outlined.

Keywords: information security, access control, mandatory access control, discretionary model, role-based model, attribute-based access control, hybrid models, information security.

Аннотация. В статье рассмотрены теоретические основы и практические аспекты мандатного контроля доступа (МКД). Проанализированы основные принципы мандатной модели, проведено сравнение МКД с другими моделями разграничения прав – дискреционной, ролевой и атрибутивной. Уделено внимание вопросам реализации мандатного контроля в современных операционных системах (SELinux, Astra Linux), а также корпоративных и облачных инфраструктурах. Выявлены преимущества и недостатки МКД и обозначены направления его развития.

Ключевые слова: информационная безопасность, контроль доступа, мандатный контроль доступа, дискреционная модель, ролевая модель, атрибутивный контроль, гибридные модели, защита информации.

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

В условиях быстрого развития цифровых технологий и широкого распространения информационных систем особенно актуальными становятся вопросы защиты данных. Организации, как государственные, так и частные, ежедневно обрабатывают большие объемы конфиденциальной информации, утечка или несанкционированные изменения которой могут привести к серьезным финансовым, репутационным и правовым последствиям. Одним из ключевых аспектов обеспечения информационной безопасности является организация надежного контроля доступа, который позволяет ограничивать взаимодействие пользователей с ресурсами системы в соответствии с установленными политиками безопасности.

В информационной безопасности выделяют несколько основных моделей контроля доступа: дискреционную, мандатную, ролевую и атрибутивную. Мандатный контроль доступа (МКД) занимает особое место среди них, так как обеспечивает высокий уровень защиты информации благодаря централизованному управлению правами доступа и строгому соблюдению заданных правил. В отличие от дискреционного подхода, где владелец объекта может самостоятельно устанавливать политику доступа, при мандатном контроле все решения принимаются на основе заранее определенных меток безопасности и уровней допуска, что исключает произвольные изменения прав пользователями.

Теоретические основы мандатного контроля доступа

Контроль доступа является одним из ключевых механизмов обеспечения информационной безопасности, направленным на предотвращение несанкционированного доступа к данным и ресурсам системы. В общем виде контроль доступа представляет собой процесс идентификации, аутентификации и авторизации субъектов, желающих получить доступ к объектам системы. Среди существующих моделей разграничения прав доступа особое место занимает мандатный контроль доступа (МКД), характеризующийся строгим централизованным управлением и невозможностью изменения политик безопасности пользователями.

Мандатный контроль доступа (Mandatory Access Control, MAC) основан на концепции классификации субъектов и объектов по уровням конфиденциальности и допуска. Решение о предоставлении доступа принимается системой на основании сравнения меток безопасности – каждая сущность (пользователь, процесс, файл, база данных и т.д.) имеет определённый уровень секретности, а взаимодействие между ними допускается только при соблюдении заданных правил[5]. Таким образом, МКД исключает возможность произвольного изменения политик безопасности и обеспечивает высокий уровень доверия к механизму разграничения доступа.

Основная идея мандатного контроля заключается в том, что права субъектов на доступ к объектам определяются централизованной политикой безопасности, установленной администратором системы[2]. Пользователи не могут самостоятельно передавать или изменять свои права доступа, что отличает МКД от дискреционного подхода, основанного на усмотрении владельца ресурса.

Концепция мандатного контроля доступа зародилась в 1970-1980-х годах в рамках исследований, проводимых в оборонной и государственной сфере США. основополагающими стали работы, описывающие многоуровневые модели безопасности – в частности, модель Белла-ЛаПадуды (Bell-LaPadula), разработанная в

1975 году[8]. Эта модель формализовала принципы предотвращения несанкционированного раскрытия информации и вводила два ключевых правила:

- «Не читать вверх» (No Read Up) – субъект не может получать доступ к объекту с более высоким уровнем секретности;
- «Не записывать вниз» (No Write Down) – субъект не может записывать информацию в объект с более низким уровнем секретности, чтобы избежать утечки данных.

Позднее на основе этих идей появились модели, ориентированные на целостность данных, например модель Биба (Biba Model), а также комбинированные схемы, применяемые в операционных системах повышенной безопасности.

В отечественной практике формирование концепции мандатного контроля доступа происходило параллельно с развитием нормативной базы в области защиты государственной тайны и конфиденциальной информации. В России принципы МКД закреплены в ряде нормативных документов, включая ГОСТ Р 50922-2006, ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408 и требования ФСТЭК России к построению защищённых автоматизированных систем[11].

Мандатный контроль доступа базируется на нескольких фундаментальных принципах, обеспечивающих его надёжность и непротиворечивость:

1. Централизованное управление доступом. Все решения о предоставлении или ограничении доступа принимаются в соответствии с глобальной политикой безопасности, заданной администратором системы.

2. Невозможность изменения политик пользователями. Пользователи не могут самостоятельно изменять права доступа к объектам, даже если они являются их владельцами.

3. Классификация субъектов и объектов. Каждому субъекту и объекту присваивается уровень секретности (например, «конфиденциально», «секретно», «совершенно секретно») и категория допуска.

4. Принцип сопоставления меток безопасности. Доступ разрешается только при совпадении или доминировании метки безопасности субъекта над меткой объекта в соответствии с установленными правилами.

5. Принцип минимальных привилегий. Каждый субъект получает только те права, которые необходимы для выполнения его функций, что снижает риск злоупотреблений и утечек.

Такая строгая формализация делает МКД особенно эффективным в системах, где требуется высокая степень доверия и защита критически важных данных – в военных, государственных и корпоративных инфраструктурах.

Правовое и техническое регулирование мандатного контроля доступа в России и за рубежом основывается на ряде стандартов и руководящих документов. К основным международным нормативам относятся[16]:

- ISO/IEC 15408 – международный стандарт оценки безопасности информационных технологий, описывающий требования к механизмам разграничения доступа;

- Trusted Computer System Evaluation Criteria (TCSEC, «Оранжевая книга») – первый системный стандарт США, определивший классы защищённых систем и заложивший основы МКД.

В Российской Федерации применяются[9]:

- ГОСТ Р 50922-2006 «Защита информации. Основные термины и определения»;
- руководящие документы ФСТЭК России, регламентирующие требования к системам защиты информации;

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001-2012 – стандарт управления информационной безопасностью.

Эти нормативные документы устанавливают общие принципы классификации данных, разграничения доступа и управления безопасностью, обеспечивая единую основу для реализации мандатных механизмов в современных информационных системах.

Сравнительный анализ моделей контроля доступа

Дискреционный контроль доступа (DAC)

Дискреционный контроль доступа (Discretionary Access Control, DAC) является одной из наиболее ранних и распространённых моделей разграничения прав в информационных системах. Его суть заключается в том, что владелец объекта (например, файла, базы данных или ресурса) самостоятельно определяет, какие субъекты (пользователи или процессы) могут получить доступ к объекту и какие операции им разрешено выполнять.

DAC реализуется через списки контроля доступа (Access Control Lists, ACL) или матрицы прав доступа, где каждому пользователю сопоставляется набор разрешённых действий. Этот подход обеспечивает гибкость и удобство администрирования, особенно в небольших и динамичных системах, где требования к безопасности не столь важны.

Слабой стороной дискреционной модели является уязвимость к несанкционированному распространению доступа. Пользователь, получивший права на объект, может передать их другому субъекту, что затрудняет контроль и создаёт риск

утечки конфиденциальной информации. Кроме того, DAC плохо подходит для систем, где требуется строгая иерархия доступа, централизованное управление и высокая степень доверия, например в военных или государственных структурах.

Ролевой контроль доступа (RBAC)

Ролевая модель (Role-Based Access Control, RBAC) была разработана в 1990-е годы как более управляемая и масштабируемая альтернатива дискреционной модели. В RBAC права доступа назначаются не индивидуальным пользователям, а ролям, каждая из которых отражает совокупность функций и обязанностей в организации. Пользователь получает доступ к ресурсам, став членом определённой роли, например администратор, аналитик, бухгалтер и т.д.

Преимуществом ролевого подхода является упрощённое администрирование: при изменении обязанностей сотрудника достаточно изменить его роль, а не пересматривать все индивидуальные права. Кроме того, RBAC хорошо масштабируется и подходит для корпоративных систем с большим количеством пользователей и разнообразием бизнес-процессов.

Тем не менее, ролевой контроль доступа не всегда обеспечивает достаточную гибкость при работе с контекстно-зависимыми условиями. Например, он не учитывает атрибуты среды (время, местоположение, устройство), что ограничивает возможности адаптивного управления безопасностью.

Атрибутивный контроль доступа (ABAC)

Атрибутивный контроль доступа (Attribute-Based Access Control, ABAC) представляет собой наиболее современную и гибкую модель, в которой решения о предоставлении доступа принимаются на основании набора атрибутов субъектов, объектов и окружающей среды. Атрибутами могут выступать должность пользователя, тип устройства, IP-адрес, время суток, уровень угрозы, политика безопасности организации и другие параметры.

Главным преимуществом ABAC является динамичность и контекстуальность принятия решений. Система может автоматически адаптировать права доступа в зависимости от текущих условий, обеспечивая баланс между удобством и безопасностью. Такая модель особенно востребована в облачных и распределённых средах, где фиксированные роли и права оказываются недостаточно гибкими.

Атрибутивный подход требует сложной инфраструктуры управления политиками безопасности и высокой вычислительной нагрузки, особенно при большом количестве

пользователей и ресурсов. Кроме того, избыточная гибкость может привести к ошибкам в конфигурации и нарушению принципа минимальных привилегий.

Таблица 1

Сравнительный анализ моделей контроля доступа

Критерий	DAC	RBAC	ABAC	MAC
Гибкость управления	Высокая, но сопряжена с риском потери контроля.	Умеренная, удобна в статичных организационных структурах.	Максимальная, обеспечивает динамическую адаптацию политик.	Низкая, так как политика безопасности фиксирована и неизменна пользователем.
Уровень безопасности	Минимальный, из-за возможности делегирования прав.	Средний, обеспечивается централизованным управлением ролями.	Высокий при корректной настройке политик.	Максимально высокий, за счёт централизованного контроля и строгих правил.
Масштабируемость	Ограниченная, плохо подходит для крупных организаций.	Высокая, хорошо адаптируется к корпоративным системам.	Высокая, особенно для облачных и гибридных сред.	Ограниченная, из-за сложности классификации и администрирования.
Области применения	Персональные и локальные системы.	Корпоративные сети и бизнес-системы.	Облачные и распределённые информационные системы.	Государственные, военные и критически важные объекты.
Преимущества	Простота, гибкость назначения.	Централизованное управление, масштабируемость.	Гибкость, адаптивность, контекстность.	Строгая формализация, высокая защита.
Недостатки	Риск утечек, делегирование прав.	Ограниченная контекстность.	Сложность реализации, нагрузка.	Жесткость, высокая трудоемкость администрирования.

Место и роль МКД в гибридных моделях контроля доступа

Современные тенденции информационной безопасности демонстрируют постулат о том, что ни одна из классических моделей не может в полной мере удовлетворить всем требованиям – гибкости, удобству администрирования и максимальной защищённости. В связи с этим активно применяются гибридные подходы, сочетающие преимущества нескольких моделей.

Наиболее распространённым является комбинированный подход MAC+RBAC, при котором мандатная политика определяет общие правила безопасности, а ролевая модель используется для детального управления правами пользователей в рамках установленных ограничений. Такой подход применяется в защищённых операционных системах (SELinux, Astra Linux), где мандатные механизмы обеспечивают изоляцию процессов, а ролевые – определяют функциональные полномочия пользователей[13].

В последние годы также развивается интеграция МКД с атрибутивным управлением (MAC+ABAC). Это позволяет реализовать динамические политики

безопасности, учитывающие контекст доступа, но сохраняющие строгую иерархию допусков. Такие решения особенно актуальны для гибридных и облачных инфраструктур, в которых требуется сочетание доверенного централизованного контроля и адаптивной реакции на изменяющиеся условия.

Проблемы и направления развития мандатного контроля доступа

Несмотря на высокий уровень защищённости, мандатный контроль доступа (МКД) имеет ряд существенных недостатков, препятствующих его широкому применению в динамичных и распределённых информационных системах. Главным недостатком является жёсткость политики безопасности, которая задаётся централизованно и не подлежит изменению пользователями.

Кроме того, администрирование МКД в крупных организациях с большим количеством пользователей и объектов требует высокой квалификации специалистов и значительных трудозатрат. Для каждого субъекта и объекта необходимо определить уровень конфиденциальности и категории допуска. При большой инфраструктуре организации это становится ресурсозатратным процессом.

Ещё одной проблемой является ограниченная совместимость с современными сервисами и приложениями, которые часто используют динамические схемы разграничения доступа (например, в микросервисных архитектурах или облачных платформах). МКД изначально проектировался для статических, изолированных систем, поэтому его прямое применение в гибридных или виртуализированных средах требует серьезной модификации.

Также можно отметить низкую гибкость при управлении временными или контекстными правами доступа. Классическая модель МКД не учитывает такие атрибутивные параметры, как время суток, местоположение, состояние сети или контекст задачи. Это ограничивает её эффективность в современных условиях использования, когда безопасность всё чаще должна быть адаптивной.

Современные исследования и практические разработки направлены на повышение гибкости и интеллектуальности мандатных систем. Наиболее значимыми направлениями развития можно считать следующие:

1. Комбинирование МКД с другими моделями контроля доступа. В последние годы активно развиваются гибридные модели, объединяющие преимущества мандатного, ролевого и атрибутивного подходов (MAC + RBAC + ABAC). Такая интеграция позволяет одновременно сохранять строгую иерархию безопасности и учитывать контекст доступа, что особенно важно для гибридных и облачных систем.

2. Адаптивные модели безопасности. Внедрение принципов адаптивной безопасности (Adaptive Security) предполагает использование контекстных факторов и динамических политик. В таких системах МКД становится частью более широкой архитектуры, где решения о доступе принимаются с учётом текущего уровня риска и поведения пользователя.

3. Применение искусственного интеллекта и машинного обучения. Интеллектуальные алгоритмы могут использоваться для автоматизации классификации данных и определения уровней доступа. Например, система может самостоятельно присваивать метки безопасности документам на основе их содержимого или выявлять аномалии в действиях пользователей, сигнализируя о возможных нарушениях мандатной политики.

4. Интеграция с концепцией Zero Trust. Принцип «нулевого доверия» (Zero Trust) предполагает постоянную проверку подлинности субъектов и доверенности ресурсов. МКД, как строгая и формализованная модель, естественно вписывается в архитектуру Zero Trust, обеспечивая основу для многоуровневого контроля и минимизации привилегий.

5. Развитие кибериммунных систем. Концепция кибериммунитета, активно развиваемая в России (например, в платформе KasperskyOS), предполагает построение систем, устойчивых к атакам по определению. В таких архитектурах МКД является ключевым элементом, обеспечивающим изоляцию компонентов и предотвращающим распространение вредоносных воздействий внутри системы.

Заключение

В рамках исследования мы рассмотрели теорию и практику мандатного контроля доступа (МКД) как важного элемента защиты информации. Анализ показал, что мандатная модель – это всё ещё надёжный и формально обоснованный способ разграничить права доступа, который обеспечивает высокую степень доверия и устойчивости систем к угрозам.

Основные принципы МКД – это централизованное управление доступом, запрет пользователям менять настройки, чёткое разделение субъектов и объектов по уровням секретности и использование меток безопасности. Эти особенности делают мандатный контроль подходящим для ситуаций, где важно соблюдать политику конфиденциальности и целостности данных, например, в государственных, военных и крупных компаниях.

При этом у МКД есть и недостатки – сложная настройка и управление, недостаточная гибкость в меняющихся условиях и трудности с интеграцией с

современными приложениями. Эти проблемы становятся особенно заметными сейчас, когда системы безопасности должны быстро адаптироваться, быть масштабируемыми и учитывать контекст.

Сравнительный анализ с другими моделями (DAC, RBAC и ABAC) показал, что у каждой есть свои плюсы и минусы. Мандатная модель лучше всего защищает, но уступает в гибкости и удобстве управления. Поэтому необходимо использовать комбинированные подходы, сочетающие МКД с элементами RBAC и ABAC. Такие модели помогают найти баланс между строгой безопасностью и возможностью адаптироваться к изменениям.

В будущем МКД будет развиваться в сторону автоматизации управления метками безопасности, использования искусственного интеллекта для анализа контекста доступа и создания адаптивных политик безопасности. Также важно использовать кибериммунные системы, в которых мандатные механизмы играют ключевую роль в изоляции компонентов и предотвращении распространения угроз.

В заключение необходимо отметить, что мандатный контроль доступа, несмотря на свою консервативность, остаётся важной частью архитектуры надёжных вычислительных систем. Его развитие в сторону комбинированных и интеллектуальных моделей поможет улучшить защиту информации и обеспечить необходимый уровень безопасности.

References

1. Белим, С. В. Реализация мандатного разграничения доступа в распределенных системах / С. В. Белим, С. Ю. Белим // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. – 2018. – № 1. – С. 48-50.
2. Бречка, Д. М. Разработка системы мандатного управления доступом для операционных систем семейства Windows / Д. М. Бречка, А. А. Литвиненко // Математические структуры и моделирование. – 2017. – № 2(42). – С. 131-140.
3. Будюкин, А. О. К вопросу о политике безопасности, определяющей функциональность подсистемы контроля целостности меток доступа мандатного доступа / А. О. Будюкин, Т. О. Саввина // Актуальные проблемы деятельности подразделений уголовно-исполнительной системы. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России., 2023. – С. 149-151.
4. Будюкин, А. О. Особенности функциональности подсистемы контроля целостности меток доступа мандатного разграничения доступа / А. О. Будюкин, Т. О. Саввина // Актуальные проблемы деятельности подразделений уголовно-

исполнительной системы. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга», ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России., 2023. – С. 145-148.

5. Горковенко, Е. В. Контроль и анализ задания видов и прав доступа в системах с мандатной политикой информационной безопасности / Е. В. Горковенко // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2008. – № 5(47). – С. 51-55.

6. Добычина, А. В. Способ управления доступом в системах с различными реализациями мандатного механизма разграничения доступа / А. В. Добычина, А. Ю. Кузнецов, А. Н. Бегаев // Научно-технический вестник Поволжья. – 2018. – № 12. – С. 219-223.

7. Ефимов, А. Ю. Способы решения проблем доступа к служебным файлам в условиях мандатного контроля доступа / А. Ю. Ефимов // Программные продукты и системы. – 2013. – № 2. – С. 15.

8. Ильина, О. Б. Мандатная модель разграничения доступа в современной операционной системе / О. Б. Ильина, О. П. Купчиненко, А. В. Скоропад // Региональная информатика (РИ-2024). – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское Общество информатики, вычислительной техники, систем связи и управления, 2024. – С. 59-60.

9. Израелян, А. М. Современные системы контроля и управления доступом информационной системы / А. М. Израелян // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 12-11(80). – С. 43-45.

10. Калинкина, Т. И. Анализ систем мандатного разграничения доступа в СУБД / Т. И. Калинкина // Обеспечение комплексной безопасности предприятий: проблемы и решения. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2015. – С. 77-79.

11. Коновалов, В. Б. Мандатное управление доступом и мандатный контроль целостности как инструменты защиты информации Astra Linux Special Edition / В. Б. Коновалов, Д. М. Скуднєв // Проблемы естественных, математических и технических наук в контексте современного образования. – Липецк: Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского, 2023. – С. 256-261.

12. Мандатный контроль в автоматизированных информационных системах / Г. П. Акимова, А. Ю. Даниленко, Е. В. Пашкина [и др.] // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2020. – № 3. – С. 3-12.

13. Очилов, Н. Н. у. Мандатный принцип контроля доступа в защищенных ос Linux / Н. Н. у. Очилов // Научный форум: технические и физико-математические науки. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Международный центр науки и образования», 2019. – С. 19-23.

14. Петров, М. А. Основные принципы интеграции автоматизированной системы управления доступом с информационными системами предприятия / М. А. Петров // Вестник науки. – 2024. – Т. 1, № 8(77). – С. 160-164.
15. Рязанцева, А. И. Использование мандатной модели управления доступом в информационной системе / А. И. Рязанцева, В. А. Шутов // Уральский научный вестник. – 2022. – Т. 10, № 2. – С. 59-63.
16. Скипин, Н. В. Системы контроля доступа в автоматизированных информационных системах / Н. В. Скипин, Л. Н. Скипина // Молодая инновационная Чувашия: творчество и активность. – Чебоксары: Политех, 2024. – С. 98-101.
17. Фаткулин, А. Н. Анализ современных систем контроля и управления доступом / А. Н. Фаткулин, Е. Н. Окладникова, Е. Н. Сухарев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2011. – Т. 1, № 7. – С. 263-264.

UDC 65.011.56

Slavyanov A. Mobile Process Modules in Flexible Automated Production Lines

Slavyanov A.

Doctor of Economics, Professor,
Department of Economics and Production Organization,
Bauman Moscow State Technical University

Abstract. *A scheme for organizing flexible automated production using mobile process and transport modules is proposed. Mobile process modules are equipped with the equipment and tools necessary for changing the shape or state of the subject of labor. Mobile process modules can move autonomously on a flat surface and be integrated into automated production lines without human intervention. This feature of the modules enables the organization of continuous production in aggressive environmental conditions. Eliminating the human factor reduces production risks, decreases the cost of developing residential infrastructure, and shortens project implementation time.*

Keywords: *flexible manufacturing, process module, continuous production, human factor, production risk.*

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Introduction

The initial stage of developing new territories begins with creating conditions for comfortable living and safe work. These conditions can be achieved through the construction of a series of shelters that protect workers and equipment from the negative impacts of the external environment, such as solar radiation, high and low temperatures, dust, moisture, etc.

However, constructing such shelters in unfavorable environmental conditions poses high risks for personnel, who will be forced to work on unprepared sites in unfavorable conditions. This circumstance makes the problem of reducing production risks in unfavorable environmental conditions urgent. It is necessary to minimize the use of manual and mechanized labor at protected sites and operations. The use of automated machines and robots [1, 2] in the initial stages of territorial development projects will reduce the time and cost of preparatory work.

Materials and Methods

The objective of this study is to develop a model for constructing automated production lines operating in aggressive natural environments. This goal is achieved through scientific observation, abstraction, and modeling. The theoretical foundation of the study is based on the work of Russian and international scientists in the field of industrial engineering. The information base for the study is based on open publications in scientific journals and the media.

Result

The project for the development of territories and facilities includes the following stages:

- development of a scientific and production base;
- preparation of infrastructure;
- organization of work to achieve project objectives.

The first two stages will require a significant amount of building materials for the construction of the base and infrastructure. The primary materials for the base are building blocks of various shapes and sizes. Building blocks can be imported from the mainland or manufactured from local raw materials. Transporting building materials to hard-to-reach areas can significantly increase the timeframe and cost of the entire project. If the technology for producing blocks from local raw materials is available, mass production of these products can be established near the construction site.

The problem is that organizing the production of building materials will require the involvement of workers and specialists, who will be forced to work in hazardous environmental conditions.

To organize production, it is proposed to use transport and technological modules that form an automated line for the production of building blocks.

Transport robots are self-propelled platforms equipped with manipulators for handling loads. Currently, there are many different types of transport robots that can be used in the technological process.

What is new is the design of the technological module, which is a set of equipment for changing the shape or state of an object (subject of labor) and a transport device such as a belt conveyor, located in one housing (Figure 1).

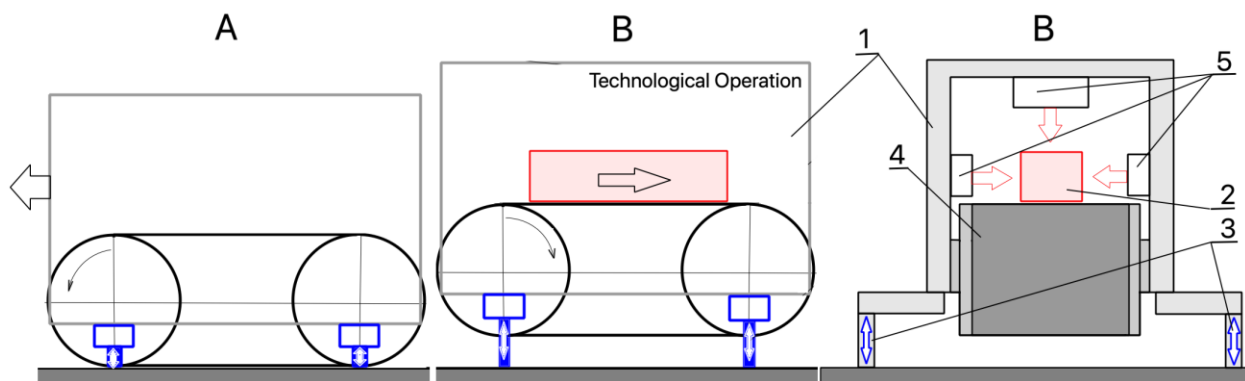


Figure 1. Process Module

The scheme (Figure 1) shows:

- 1 - process module;
- 2 - subject of labor (workpiece);
- 3 - movable supports;
- 4 - conveyor belt;
- 5 - process equipment.

The module can be equipped with various process equipment and tools: a microwave emitter, a laser, a welding torch, milling cutters, drills, etc.

A new technical solution is that the conveyor belt can be used both to transport workpieces and to autonomously move the process module itself. The process module can use the conveyor for its own movement if the supports are folded (position A). Or it can move the workpiece when the supports are fully extended and the process module body is in position B.

The process module can maneuver by extending one of its supports during movement (Figure 2).

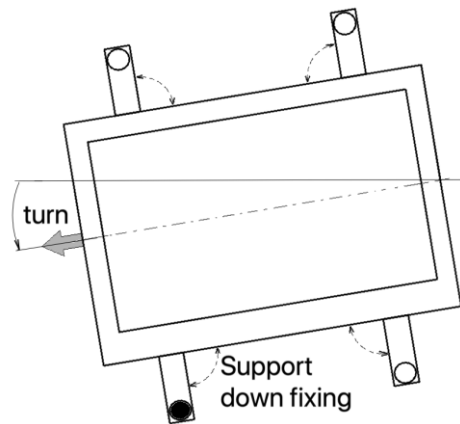


Figure 2. Maneuvering diagram for a mobile autonomous process module.

Figure 2 shows the scheme of the possible maneuvering of a process module. When one movable support is extended in the transport position, a moment is created that rotates the module around the support.

Such process modules can move autonomously, dock with each other, and thus form automated lines depending on the technological process regulations (Figure 3).

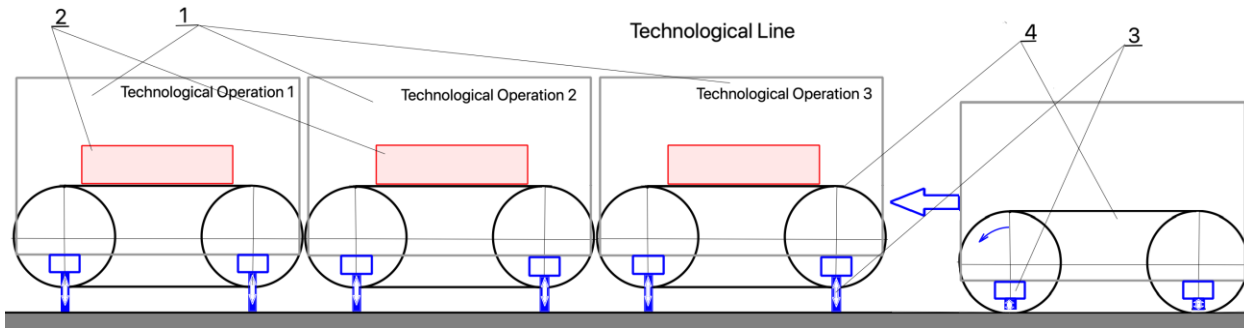


Figure 3. Scheme of Flexible Automatic Line

Figure 3 shows a diagram of an automated line consisting of autonomous process modules.

Process modules can be replaced or removed from the automated line as needed. Depending on the raw materials used, the production technology may change. In this case, a new process module will need to be replaced or added to the line. Such situations also arise during a change in technology or a module failure.

The flexible automated line [3, 4, 5] is equipped with process modules, transport robots, and a power station capable of generating and transmitting electricity wirelessly over short distances. The transport robots and process modules are equipped with batteries and solar panels, which provide autonomous operation for a specified period.

Discussion

The use of autonomous process modules and transport robots of various configurations will significantly reduce the initial development time of the production process and reduce the costs of creating comfortable conditions for personnel.

Organizing production in remote locations requires the use of workers who must install, configure, and operate process equipment. For construction workers to function normally, comfortable working and living conditions must be created from the outset [6], which requires significant investment of time, energy, and material resources. Comfortable conditions include living quarters equipped with sleeping areas, a kitchen, relaxation areas, a restroom, water supply, sewerage, heating, air conditioning, ventilation, and other equipment. [7]

Production facilities must also be equipped in accordance with labor protection and safety standards, which requires corresponding costs.

When calculating the economic impact of implementing the proposed automation tools, the reduction of human error risks should be taken into account [8].

Conclusion

In unfavorable or aggressive natural environments, the use of human labor presents a serious organizational challenge. The use of mobile autonomous process modules and transport robots in automated production lines offers the potential to significantly reduce project implementation time. The economic benefit lies in the reduced costs of providing housing and production infrastructure for workers. Flexible automated production facilities can be located in areas unsuitable for human habitation. This will reduce the industrial and transport burden on permanently populated areas.

The proposed approach to organizing the automated production of building materials and products from local raw materials will significantly reduce the costs of developing planets and other sites.

References

1. Hartley J. Flexible Automation in Japan. Germany: IFS. 2013. 264p.
2. Handbook of Industrial Engineering: Technology and Operations Management. (2001). Great Britain: Wiley. 2796 p.
3. Talavage, J. Flexible Manufacturing Systems in Practice: Design: Analysis and Simulation. USA: CRC Press. 2020. 272 p.
4. Design of Flexible Production Systems – Methodologies and Tools. By T. Tolio. Berlin: Springer, 2009. 307 p.
5. Fokina D., Dzhamay E., Zinchenko A. Flexible production systems as the basis for innovative development of industrial enterprises // Bulletin of the State University of Education. Series: Economics. 2024. №2, P. p.113-121.
6. Zolochovsky I.S. Labor protection: international and European requirements // Crimean Academic Bulletin. 2020. No. 13. pp. 64-69.
7. The Human Factors of Process Safety and Worker Empowerment in the Offshore Oil Industry: Proceedings of a Workshop. (2018). USA: National Academies Press.
8. Glendon, A. I., Clarke, S. (2018). Human Safety and Risk Management: A Psychological Perspective, Third Edition. (n.p.): CRC Press. 528 p.

TRANSPORT AND MOBILITY

UDC 656.225

Sarantuya Yu., Ganchimeg J., Odgerel N., Sarantuya N. Method for optimizing train marshalling operations at a loading station

Sarantuya Yu. ^{1,2}, Ganchimeg J.¹, Odgerel N. ², Sarantuya N.²

¹School of Management, Mongolian University of Science and Technology

² Mongolian Railway University

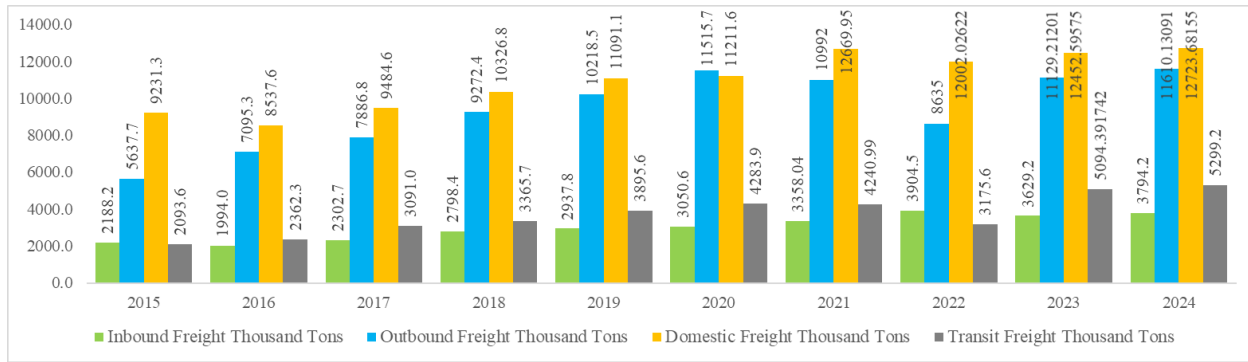
Abstract. In recent years, the Government of Mongolia has planned and implemented measures to increase the extraction, export, and import volumes of mining products, accelerate industrialization, establish additional energy sources, and improve railway transportation operations. To enhance the efficiency of railway transport processes, this work analyzes the optimal organization of wagon loading according to train marshalling plans at freight yards and explores ways to improve the coordination of shunting operations. The study applies process management theory, with a focus on cargo flow optimization, to assess the feasibility of introducing new loading technologies at Zamyn-Uud station. Using historical data, the study determined the number of incoming containers, the distribution of destination terminals, and the waiting times until unloading sidings were cleared. Based on these parameters, a simulation model was developed in Python. Simulation results indicate that marshalling trains according to the FIFO principle and zone-based allocation optimizes shunting operations, improves utilization of unloading fronts, and significantly reduces both waiting times and total operational costs. The data-driven simulation approach provides a practical method for enhancing container transport organization by rail, increasing yard capacity utilization, and effectively implementing process management approaches in loading and unloading operations.

Keywords: Yard, Container, Loading and Unloading, Terminal, Cost

Рецензент: Торопцев Василий Владимирович - кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева»

Introduction

Global trends in the transport sector increasingly prioritize environmental sustainability, and under the framework of the “Green Transition,” it has become essential to reduce road congestion, reduce greenhouse gas emissions, develop efficient logistics systems, and shift cargo transport from road to rail, thus positioning rail freight as a key component and prompting developed countries to emphasize the railway sector in their transport policies. As noted by Bianca Pascariu (2025), the increasing importance of rail freight is making it an integral part of the transport system. Ulaanbaatar Railway Joint Venture Company (UBTZ JVC), which occupies a key position in the social and economic sector of Mongolia, has experienced growing demand for railway transport in recent years. While the company transported approximately 21-22 million tons of cargo annually during 2014–2017, this volume increased steadily, reaching 33.4 million tons in 2024.

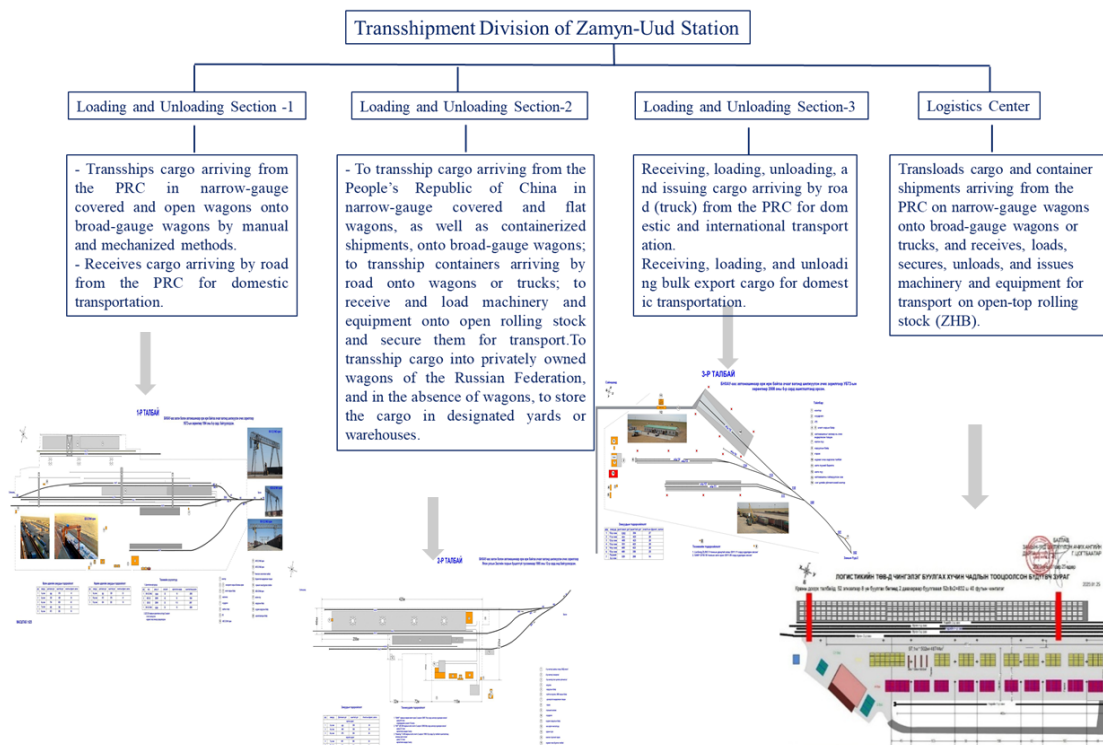


Source: (Unified Statistical Database).

Figure 1. Proportion of freight Traffic transported by rail

The proportion of rail freight transport volume by type of traffic, averaged over 2015–2024, shows that inbound cargo accounted for 73.3% (1,606 thousand tons), outbound cargo for 105.9% (5,972.4 thousand tons), domestic traffic for 37.8% (3,492.4 thousand tons), and transit cargo for 153.1% (3,205.6 thousand tons), respectively (Figure 1). Although railway companies should be prepared to meet the growing demand for freight transport, most privately owned branch lines have limited track capacity and inadequate loading and unloading equipment, resulting in operational difficulties such as a shortage of shunting locomotives, frequent locomotive failures, and an inability to fully meet freight orders. Therefore, it is essential to load wagons at freight yards in accordance with train marshalling plans, organize shunting operations efficiently, improve workflow coordination, and implement new technologies, with the implementation of these measures based on the theoretical principles. Frederick Winslow Taylor (1911), in his principles of scientific management, emphasized that production processes should be planned and organized scientifically, with work optimized according to labor schedules, time standards, and supervision. Henri Fayol (1916) outlined the management principles applicable to any companies, encompassing processes such as planning, organizing, leading, coordinating, and controlling. Other relevant approaches include eliminating non-value-added steps and reducing waste, waiting times, and unnecessary movements to enhance process efficiency (James P. Womack, Daniel T. Jones, & Roos, 1990); fundamentally redesigning business processes through the use of technology to significantly improve cost, time, and quality (Michael Hammer, James Champy, 1993); and applying movement management theories to develop efficient and well-coordinated process systems (D. May, 1994). The quality and efficiency of railway transport services directly depend on factors such as freight transportation time, promptness, and reliability. Timely delivery in line with customer expectations not only determines service

quality but also serves as an important factor in the competitiveness of the sector. For Mongolia, the majority of cargo arriving from China at Zamyn-Uud station consists of containerized freight, construction materials, and other goods. Most imported and domestic cargo is transported in containers and handled at stations equipped with rail connections, customs-controlled areas, and open spaces suitable for container operations. At Zamyn-Uud station, the Transshipment Units and the Logistics Center carry out operations such as transferring cargo arriving by truck from the China onto wagons; receiving cargo and containers arriving in narrow-gauge wagons for domestic and international transport; transshipment; unloading and delivery; preparation of accompanying transport documents; accounting and reporting; and weighing and shunting via broad-gauge, narrow-gauge, or road vehicles.



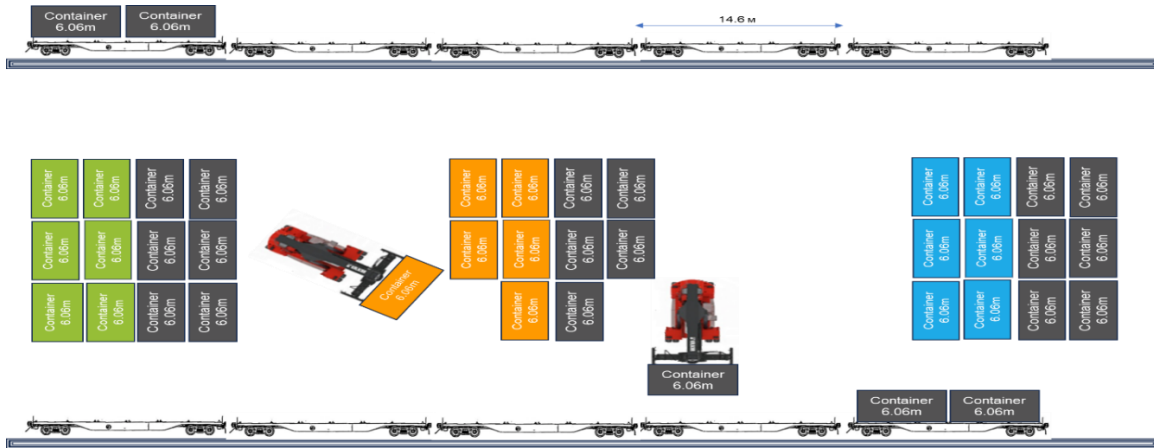
Source: Developed by the researcher

Figure 2. Transshipment Division of Zamyn-Uud Station

Within the Transshipment Division, Yards 1, 2, and 3 handle operations such as transferring cargo from narrow-gauge covered or flat wagons and container shipments onto broad-gauge wagons; transferring containers arriving by truck onto wagons or trucks; receiving and loading technical equipment and machinery onto open rolling stock; securing, unloading, issuing, and storing cargo; preparing transport and accompanying documents;

handling financial issues; reporting; and overall organization of these operations (Technological Regulations of Zамын-Ууд Station, 2025).

The 2nd workshop of the Transshipment Division handles operations such as transferring imported containers from narrow-gauge wagons to broad-gauge wagons using a self-propelled container loader; if wagons are unavailable, containers are first unloaded onto the designated yard and then loaded onto broad-gauge wagons. The yard has a capacity of 272 containers of 40 feet and 80 containers of 20 feet. Additionally, transfers from narrow-gauge covered wagons to broad-gauge wagons are also performed manually (Figure 3).



Source: Developed by the researcher

Figure 3. Container Yard of Workshop 2 at the Transshipment Division

At the loading and unloading 2nd workshop yard of the Transshipment Unit, imported containers with cargo are loaded from the container storage yard onto wagons by cargo handlers (Figure 4.) according to the import container consolidation plan.

		2025.03.27 Second Shift Imported Container Report																	
Container Type	Container Size	722/UB MCh	302006 /Tuushin	302007 /Mongol Express	302008 /Material Impex	302024 /Technic Import	302009 /Progress	302010 /Erin	302011 /Nomin Trading	302025 /Interdecision/	302005 /Mongol Trans/	302023 /Tolgoit MChv/	809 /Amgalan	Sainshand	Yeruu	Darkhan	Erdenet	Sukhbaatar	Total
40	Area	11	27	12	1	1	33	0	1	12	8	0	6	0	0	0	0	0	122
	Log	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Wagon	2	2	5	32	16	4	0	0	11	1	0	4	0	4	0	0	0	77
	Huuir	13	29	17	33	27	37	0	1	23	9	0	10	0	4	0	0	0	199
20	Area	22	9	4	0	4	2	0	0	2	2	2	13	0	0	0	0	0	58
	Log	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Wagon	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
	Total	34	11	4	0	4	2	0	0	2	2	2	13	0	0	0	0	0	72
Total		47	40	21	33	31	39	0	1	25	11	2	23	0	4	0	0	0	271
Container Type		722/UB MCh	302006 /Tuushin	302007 /Mongol Express	302008 /Material Impex	302024 /Technic Import	302009 /Progress	302010 /Erin	302011 /Nomin Trading	302025 /Interdecision/	302005 /Mongol Trans/	302023 /Tolgoit MChv/	809 /Amgalan	Sainshand	Yeruu	Darkhan	Erdenet	Sukhbaatar	Total
40		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	2	0	0	7
20		5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
Total		5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	2	0	0	0

Source: Developed by the researcher

Figure 4. Import Container Consolidation

At UBTZ JVC stations, there are 12 companies with open, rail-connected, customs-controlled loading and unloading yards for container transportation operations. More than 300 companies without their own loading and unloading areas receive cargo at these authorized yards. Containers arriving by narrow-gauge wagons or trucks are loaded onto wagons according to the branch line owner's code (e.g., 302007, 302001), grouped by the month and year of arrival and the branch line of unloading (Figure 4).

In process management theory based on cargo flow optimization (Business Process Optimization, Logistics Flow Management), the "First In, First Out" (FIFO) principle forms the foundation for logistics efficiency, balanced resource utilization, and fair service. When this principle is not followed, it adversely affects the supply chain by causing delays, reducing yard efficiency, and creating bottlenecks and backlogs. (Zajac, 2021) Therefore, an analysis was conducted on the loading sequence of containers received in June 2024 to examine whether the "First In – First Out" (FIFO) principle was being followed (Table 1).

Table 1.

Loading Sequence of Imported Containers arrived at Yard 2 of the Transshipment Division

Name of receiving station	Branch Line Name /Code	Arrival Date																																
		37	1-Jun	2-Jun	3-Jun	4-Jun	5-Jun	6-Jun	7-Jun	8-Jun	9-Jun	10-Jun	11-Jun	12-Jun	13-Jun	14-Jun	15-Jun	16-Jun	17-Jun	18-Jun	19-Jun	20-Jun	21-Jun	22-Jun	23-Jun	24-Jun	25-Jun	26-Jun	27-Jun	28-Jun	29-Jun	30-Jun		
Amgulan	Amgulan logistic	809	8	28-7, 29-11, 31-7								5-3, 6-1, 2-3, 3-1, 5-1, 7-5, 9-10, 10-9,	7-6, 8-4, 10-1, 9-10, 3, 11-8					13-10, 14-15, 5-15-1, 16-8, 17-6	17-1, 14-15, 7-7, 14-16															
UB	Tushin	302006	13	25-1, 30-4	29-4, 30-26, 2-4	2-5, 3-2			4-4, 5-10	2-3, 5-6	9-3,		10-1, 11-2	11-7, 12-6				14-8, 15-1	17-16,	16-4, 17-26	17-15, 30, 18-18-5, 19-10					24-3,		24-1, 25-1, 26-2			27-3,			
	Mongol Express	302007	39	24-1, 28-2, 31-2	25-1, 28-1-4	24-1, 1-3			26-1, 3-3, 4-7, 5-2, 6-3, 7-1	4-5, 6-1, 7-7, 8-1	9-1, 10-5		10-1, 11-6	11-2, 12-4, 13-2	13-1,		13-1, 14-1		15-6, 16-1	15-2, 17-1, 20-1	20-11, 21-26			20-8, 21-8, 24-5	25-2,		21-1, 23-1		27-4, 28-1					
	Material Impex	302008	14	25-2, 26-8, 31-8	29-1, 31-2, 31-9, 1-1			3-1, 5-2		2-7, 7-2, 8-3	8-8, 9-5		11-1, 12-3	13-7,	13-8, 14-9	15-9, 16-1			17-2, 19-1		17-7, 18-1, 19-8,	19-6, 23-2			19-2, 26-1			25-11,	24-3, 26-6, 27-20, 28-19					
	Progress	302009	46	29-1	24-1, 26-1, 29-7	29-5		31-5, 3-1, 5-4	3-1, 4-1		8-6, 9-10, 9-1	10-2, 11-1			12-3, 13-3,	15-6, 16-2		15-6, 16-2	16-2	16-1, 17-1	20-1,	21-9,			18-1, 21-1			23-1, 24-4, 25-3, 26-1		27-5, 28-3, 29-5				
	Ezin	302010	16																						23-3,									
		Technic Import	302024	18	24-1, 27-15, 28-12, 29-11, 31-9, 1-16	27-1, 28-5, 31-1, 1-11	3-1,	4-1, 3-2, 4-1, 5-1	1-7, 3-10, 4-3, 5-3	2-2, 3-6, 4-4, 5-7, 8-5, 9-1	4-8, 5-10, 6-4, 7-8, 8-5, 9-1, 10-2	8-1, 10-2	10-9, 11-4, 12-12, 13-9	11-2, 12-13, 13-9	13-24,	13-9, 14-28	14-6, 15-6, 16-13, 17-17, 4-3	15-1, 16-8, 17-18, 18-19, 4-1, 20-2, 7, 21-1	16-2, 17-1, 18-3, 18-5, 20-7, 21-1	17-8, 18-1, 19-2, 20-1, 21-1	18-5, 20-7, 21-1	19-6, 23-5, 24-1, 8, 25-4	19-1, 24-9, 25-5, 26-3, 2	20-1, 24-9, 25-5, 26-3, 2	21-1, 22-3, 23-1, 24-2, 25-5, 26-3, 2	22-3, 23-1, 24-2, 25-5, 26-3, 2	23-7,							
	UB MCh	722		27-3, 28-5, 1-7, 1-1	27-1, 1-8, 2-6, 3-4, 4-13		4-1, 5-1	5-2, 6-11, 7-29, 8-1	5-1, 7-12, 8-2, 9-6	10-9	11-3,	11-8, 12-4, 13-1	12-1, 13-3	13-5, 14-1, 16-6	16-8,		14-1, 16-3, 17-1, 18-2	18-1,	20-11,	18-1, 21-8			23-7,			25-2,	24-15, 25-5, 26-1, 27-1, 28-1							
			15																															
Tolgait	Mongol Trans	302005	15						2-2, 3-3, 4-1	6-3,	7-4, 8-2		9-1, 10-1, 11-2,		13-8	14-1		15-3,														20-3, 23-5, 24-6, 25-1, 27-1,		
	Interdici	302025	8	31-1	1-1, 2-1,			3-1,	2-1, 6-1	7-3, 8-1, 9-3										18-1,	16-2, 19-3										20-2, 23-18,			
	Nomin Trading	302011	8					2-3,		8-2, 9-1			11-3,		13-1,		15-1,															21-1,		
	Tolgait MCh	302023																																
Erdene										6-7	6-1																							

The results of the study show that of the 1,790 containers received, 202 containers (9.7%) were not loaded in the order of their arrival by year, month, and day, with each container remaining on average 4.8 days. Meanwhile, containers that arrived later were loaded first.

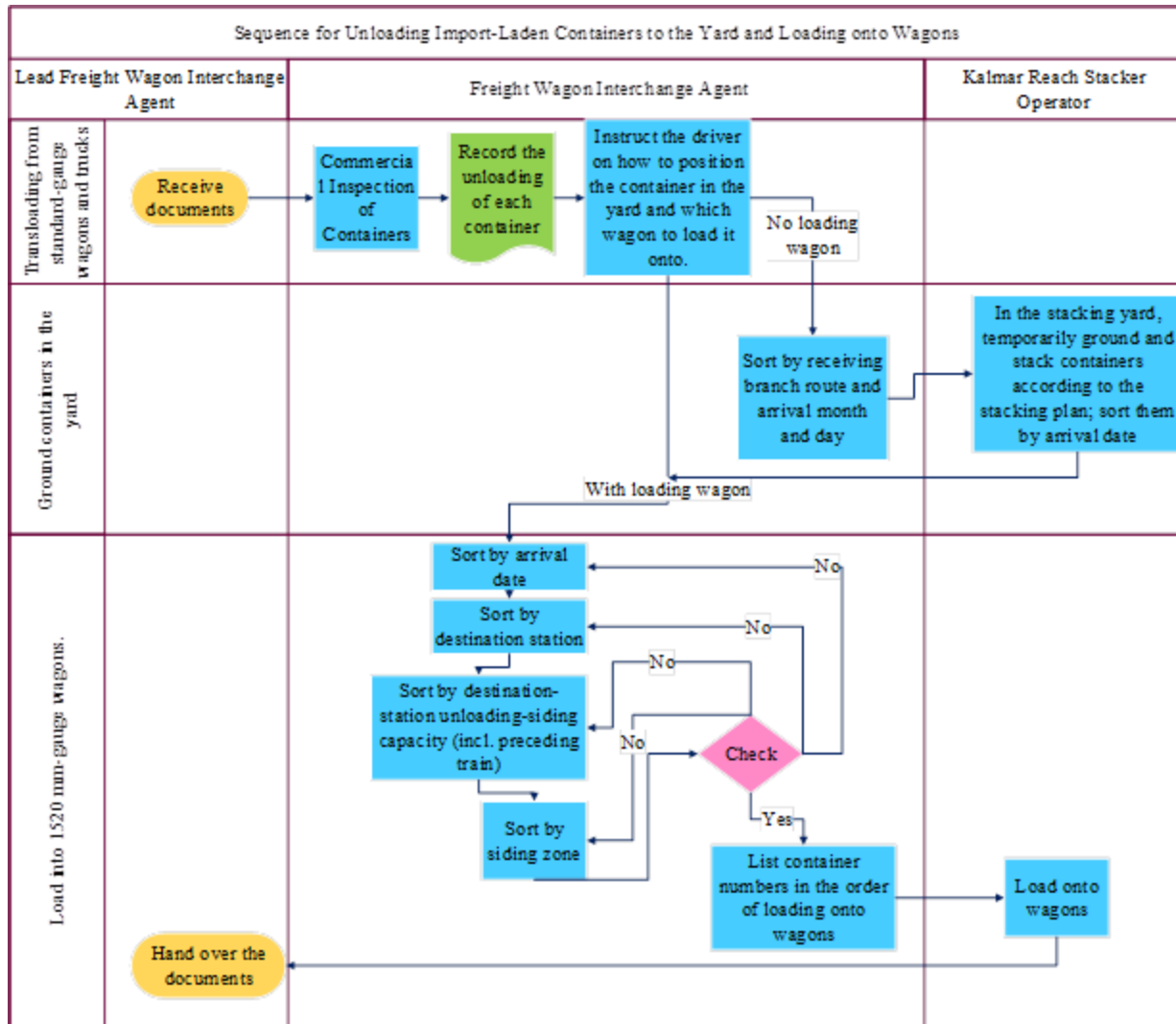
Methodology

The broad-gauge railway track of the 2nd workshop container yard of the Transshipment Division has a capacity of 24 wagons. After loading is completed on all wagons, pulling them

to the yard track and rearranging empty wagons takes at least 30 minutes. During this time, selecting containers by their date of arrival using a reach stacker takes about 1.5 minutes per container, allowing for up to 20 containers to be sorted. Therefore, failure to sort containers according to their arrival date results in increased delivery time for some containers and negatively affects the overall efficiency of the transportation process. This situation arises due to inadequate organization of the loading process, the absence of an appropriate mechanism for determining and monitoring the loading sequence, and leads to longer delivery times, reduced customer satisfaction, and inefficient utilization of the container yard capacity. Here, it is advisable to organize the container loading sequence in an optimal manner as illustrated in Figure 5.

Since this issue in loading organization may not only occur within the current month but may also affect subsequent operations, it is necessary to conduct a systematic analysis and take the following measures:

- Developing a FIFO-based algorithm that records each container's arrival date, location, and status to automatically determine the loading sequence, and designing a software (system module) that enables automatic registration of container data;
- Organizing loading operations through algorithmic and operational planning methods based on information about destination stations, receiving sidings, unloading front capacity, and zoning, and systematically implementing and automating the "First In-First Out" (FIFO) principle;
- Minimizing decision-making dependency on human factors and establishing a data-driven management system;
- Formulating a cargo prioritization policy and developing a mechanism for early identification of urgent or time-sensitive cargo requiring prompt delivery;
- Introducing performance evaluation criteria (KPI) for measuring loading efficiency, compliance with loading sequence, and customer satisfaction, and integrating these indicators into the incentive system.



Source: Developed by the researcher

Figure 5. Diagram of the process for unloading import containers in the yard and loading them onto wagons

By implementing these measures step by step, it will be possible to optimize the container loading and delivery time, improve the quality of services provided to customers, and increase the efficiency of the utilization of the railway loading yard. In addition, by automating the loading decision-making process, a study and analysis were conducted to assess the potential reduction in shunting operations for sorting wagons on unloading station sidings and the resulting efficiency gains. The analysis was based on June 2024 data for 1,781 import containers unloaded at 12 terminals of the main stations, including Amgalan, Ulaanbaatar, and Tolgoit, along the Ulaanbaatar railway line (Table 2). Based on historical data, the total number

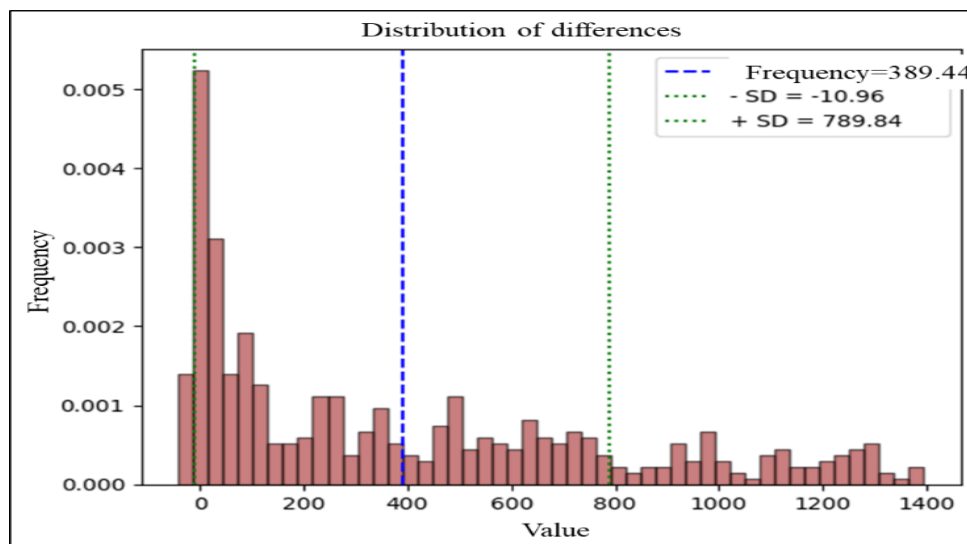
of incoming containers, the distribution of containers destined for each terminal (Figure 6), the waiting time before the sidings are cleared for unloading, and the estimated cost savings after simulating the optimal allocation of containers during loading onto wagons by reach stacker at Zamyn-Uud station were calculated. (Table 4)

Table 2.

Number of containers dispatched from Zamyn-Uud in June 2024.

No.	Terminal	Branch line code	Number of containers	Percent
1	UB MCh	722	237	13.3071
2	Tuushin	302006	213	11.9596
3	Mongol Express	302007	153	8.59068
4	Material Impex	302008	194	10.8928
5	Progress	302009	128	7.18697
6	Erin	302010	3	0.16844
7	Technic Import	302024	484	27.1757
8	Amgalan	809	263	14.767
9	Interdecision	302025	40	2.24593
10	Mongol Trans	302005	55	3.08815
11	Tolgoit MCh	302023		0
12	Nomin Trading	302011	11	0.61763
	Total		1781	

A histogram was created showing the distribution of waiting times during the unloading of containers from wagons by crane at the receiving station sidings, as well as the additional time spent while waiting for the unloading front on the sidings to be cleared (Figure 5).



Source: Developed by the researcher

Figure 6. Histogram showing the distribution of waiting times, including idle times on sidings and technological operation times

At Zamyn-Uud station, the cost of using the container handling mechanism (Kalmar) for loading and unloading on wagons is presented in Table 3. The cost of one hour of shunting operation at the unloading station for separating containers due to improper classification was calculated as 210,368 MNT. Without considering the capacity of the container yard or unloading track, the cost of waiting for the siding to be cleared when loading containers in bulk for a single receiver was estimated at 900 MNT per wagon per hour, or 20,000 MNT per wagon per day.

Table 3.

Hourly operation cost of the Kalmar (reach stacker)

Loading/Unloading Mechanism Hourly Cost			TTTZ LLC		UBTZ JVC	
			Purpose	Cost/MNT	Purpose	Cost/MNT
Kalmar	Summer		15L diesel / 3,140	47100	24L diesel	75360
	Winter		18L diesel	56520	25L diesel	78500
		Kalmar driver hourly rate		17919	15000	
		Total		74439	93500	

The following methods were used to optimize the allocation of the decision-making function:

- Random: Allocating containers in a random manner;
- Controlled: Allocating containers with a 0.7 probability that consecutive containers are assigned to the same terminal;
- Smart: Allocating containers at Zamyn-Uud based on their arrival date (“First In- First Out”) and their designated receiving terminal, ensuring that the allocation does not exceed the capacity of each terminal.

Results

By optimally organizing train assembly and loading operations at Zamyn-Uud station, taking into account destination stations, receiving sidings, unloading front capacity, and zoning, it is possible to assemble trains accurately following the “First In- First Out” (FIFO) principle, ensuring that containers arriving first are loaded first. This approach reduces the number of shunting operations required to position wagons on the sidings at the unloading station, thereby lowering related costs. Furthermore, the waiting time of loaded wagons for the unloading front to be cleared is shortened, decreasing waiting-related expenses.

To evaluate these effects, a simulation was developed in Python using the following functions:

- generate_containers: Creating containers with terminal allocations based on a probability distribution;
- generate_trains: Generating empty trains for cargo loading
- train_to_terminal_sequence: Analyzing the sequence of train allocations to terminals and implementing this process in code;
- count_transitions_load_containers_to_trains: Calculating the number of transitions when loading containers onto trains, with results presented in Table 4.

Table 4

Comparison of total costs across container loading alternatives

	Kalmar Operation Cost	Cost of sorting for unloading sidings	Waiting Time Cost	Delivery Cost	Total Cost	Savings
Random	25,712,500	96,332,250	1,078,260	100,957,500	224,080,510	
Actual (70%)	37,248,062	36,317,750	1,108,082	90,311,550	164,985,444	
Optimized	50,692,583	10,955,000	1,333,733	64,491,000	127,472,316	23%

Monthly savings = 37,513,128 MNT

Annual savings = 450,157,536 MNT

By optimally marshalling trains at the loading station, the total cost can be minimized to approximately 127 million MNT. Compared with the Random allocation scenario, this reduces costs by about 97 million MNT, and compared with the Actual (70%) scenario, by about 38 million MNT, achieving a total savings of 23%.

To verify the accuracy of the Python-based total cost savings calculations, a simulation was conducted using the “Train Switch Optimizer” program, which confirmed the results. The “Train Switch Optimizer” software system is designed to optimize container flow in railway cargo operations and improve the efficiency of shunting operations. The program operates through the following stages:

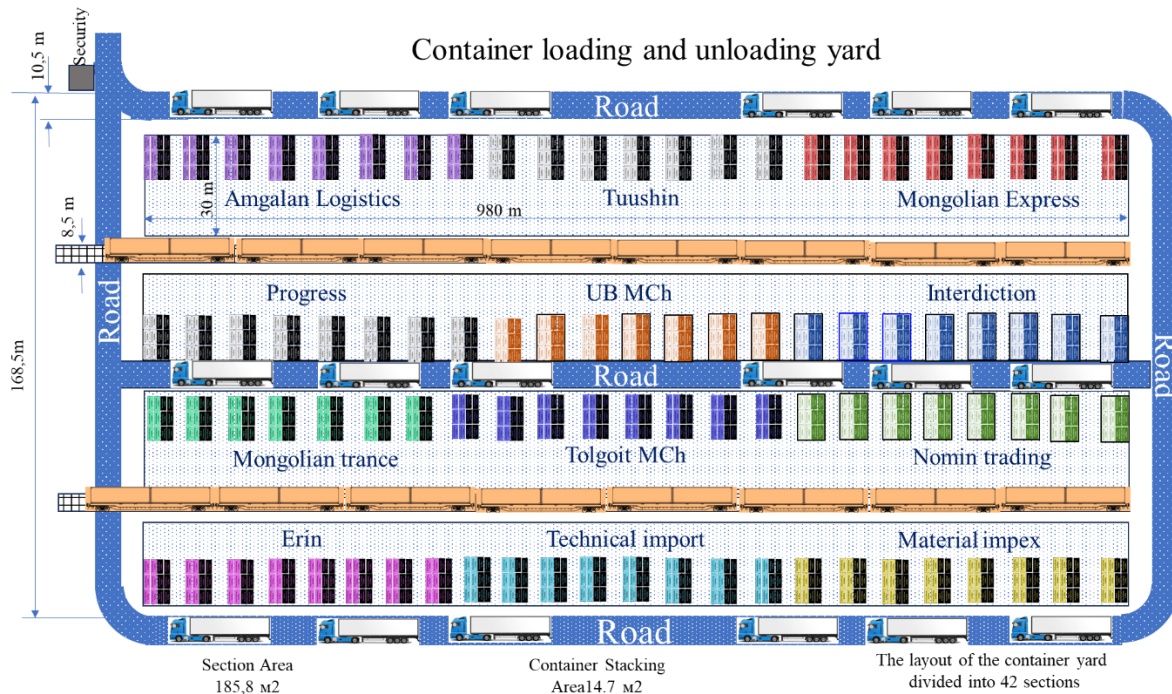
1. Data Input: The program utilizes primary information such as the number of containers, destination terminals, arrival time, and loading/unloading conditions. It also accounts for the number of wagons per train (40–55 containers) and the capacity of each terminal. Cost data include indicators for loading, unloading, waiting time, and delivery expenses.
2. Allocation Algorithm: Several decision-making methods are applied when allocating containers to wagons and terminals:

- Random allocation: Assigning containers in a completely random manner;

- Controlled allocation: Allocating containers with a 0.7 probability of being directed consecutively to the same terminal;
 - Smart allocation: Optimally allocating containers based on arrival time (“First In- First Out”), designated unloading terminal, and terminal capacity constraints.
3. Simulation and Calculation: The program simulates container flow according to the selected algorithm and calculates metrics such as average delay time, terminal utilization rate, shunting efficiency, time reduction percentage, total cost, and potential savings.
4. Dashboard: The results are visualized in a dashboard format, using charts and tables. This provides a comprehensive view of terminal capacity utilization, daily throughput, average waiting time, total costs, and efficiency trends.
5. Decision-making: Based on the analysis, management can determine which allocation method (Random, Controlled, or Smart) yields the lowest cost, the greatest time savings, and the highest shunting efficiency, thereby supporting optimal decision-making.

The Train Switch Optimizer is a decision support system aimed at enhancing the management of railway container transportation by simulating container flows based on input data, selecting the most efficient allocation scenario, calculating performance metrics, and visualizing the results.

In accordance with the Government of Mongolia’s 2024–2028 Action Program, the “Vision-2050” long-term development strategy, the “New Revival Policy”, and the Master Plan for Ulaanbaatar City’s development through 2030, a new railway branch line is planned along the Bagakhangai–Khushgiin Khundii corridor, alongside the establishment of economic free zones, industrial zones, and transport-logistics hubs (B. Tamir, A. Baldandorj, 2025). Relocating these terminals to the Khushgiin Khundii transport-logistics center is projected to handle an anticipated import cargo volume of 3.5–20 million tons, effectively preventing an estimated 316–1,800 large trucks per day from entering Ulaanbaatar’s urban traffic (B. Delgersaikhan, 2025).



Source: Developed by the researcher

Figure 7. Layout of the transport-logistics center in Khushgiin Khundii

Within the framework of the above policies, the establishment of a new economic free zone, industrial zone, and transport-logistics hub along the Bagakhangai–Khushgiin Khundii corridor, together with the commissioning of a centralized terminal consolidating Ulaanbaatar’s existing terminals, enables loaded containers from Zamyn-Uud station to be optimally allocated for loading according to the sequence of transport and logistics organizations shown in Figure 7 using the Train Switch Optimizer program. This approach ensures correct train composition, streamlines loading and unloading operations at the terminal, increases the utilization and productivity of equipment-particularly Kalmar cranes-and reduces operational costs, thereby delivering direct economic benefits.

Implementing new technology in loading operations is a key step to enhancing railway efficiency, safety, and productivity. At the same time, potential risks must be anticipated and appropriate mitigation measures planned. Risk analysis identifies internal and external factors that could affect both the transition process and daily operations, and determines strategies to minimize their impact.

During system implementation, operational risks such as workflow disruptions, employee resistance, and challenges in system integration may arise (Figure 8).

The new system should be introduced in phases, supported by comprehensive measures such as employee training and preparation of backup procedures. Operational risks, including equipment malfunctions, adverse weather, and regulatory changes, should be foreseen in advance. Establishing flexible management and maintenance systems, and planning in advance the measures to be taken in case of unexpected situations, is important.

Conclusion

By optimally planning loading operations according to the destination station, the zoning of receiving sidings, and the capacity of unloading tracks, arranging the sidings by coding, and improving the transshipment technology at Zamyn-Uud station, it becomes possible to enhance the utilization of shunting locomotives at the station and reduce idle time and rearrangement periods for local wagons.

By properly marshalling trains at the loading station, total costs can be reduced to approximately 127 million MNT, saving around 97 million MNT compared to the Random case and 38 million MNT compared to the actual case, achieving a 23% overall cost reduction. These results demonstrate that proper train marshalling is an effective strategy for improving railway shunting efficiency and reducing operational expenses.

Based on the research analysis, implementing the optimization has proven to be highly efficient in terms of finance, operations, risk management, and competitiveness, while being easy to manage and feasible to execute. Therefore, further expanding and applying this optimization solution represents an important step in contributing significant value to the development of the sector.

Introducing new technology into shunting operations is a vital measure to enhance railway efficiency, safety, and productivity. However, it is essential to anticipate potential risks that may arise and to plan appropriate management measures in advance. Risk analysis plays a key role in identifying internal and external factors that could affect both the transition process and daily operations, as well as in determining appropriate measures to reduce adverse effects.

References

1. Bianca Pascariu. (2025). Formulation and solution framework for real-time railway traffic. IET Intelligent Transport Systems, e12610.
2. D.May, A. (1994). Traffic Management from Theory to Practice: Past, Present, Future. Transportation Research Record No. 1457, 5-14.
3. Fayol, H. (1916 оны November 21). General and Industrial Management. Internet Archive: <https://archive.org/details/generalandindust031038mbp-ээс> Гаграсан

4. James P. Womack, Daniel T. Jones, Daniel Roos. (1990). The Machine That Changed the World. New York: Rawson Associates.
5. Michael Hammer, James Champy. (1993). Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. New York: HarperCollins imprint.
6. Michael Hammer, James Champy. (1993). Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. New York: HarperCollins imprint.
7. Taylor, F. W. (1911 оны June 1). The Principles of Scientific Management. Project Gutenberg: <https://www.gutenberg.org/ebooks/6433-ээс> Гаграсан
8. Zajac, M. (2021). The model of reducing operations time at a container terminal by assigning places and sequence of operations. Applied Sciences, 1-13.
9. Delgersaikhan, B. (2025, April 25). The Bagakhangai–Khushgiin Khundii branch line will be one of the major national construction projects. Ministry of Road and Transport Development of Mongolia. Retrieved from <https://mrt.gov.mn/i/4513>
10. Tamir, B., & Baldandorj, A. (2025). Feasibility Study for the Bagakhangai–Khushgiin Khundii Branch Railway Line. Ulaanbaatar: Mongolian Railway.
11. (2025). Technological Regulations of Zamiin-Uud Station. Dornogovi Province: Zamiin-Uud Station.

CONCLUSION

Issue No. 10(2) of the International Journal of Professional Science showcases a diversity of scientific approaches and practical developments aimed at solving modern technical, environmental, and management challenges. The combination of research on cybersecurity, occupational safety, geodynamic analysis, methodological foundations of mathematics, start-up support, modernization of engineering education, and the implementation of technological solutions highlights the need for a comprehensive approach to the development of professional activity.

The presented articles demonstrate that effective solutions require not only specialized knowledge but also the integration of data, methods, and practices from various fields—from digital simulators and drone surveys to water supply management systems and optimization of transport operations. Of particular importance are studies aimed at improving the safety and sustainability of industrial processes, as well as training qualified personnel capable of implementing modern engineering and information technologies.

We thank the authors for their contributions and hope that the materials in this issue will serve as practical guidance for specialists, researchers, and project managers, as well as a source of ideas for further scientific research and interdisciplinary collaboration.

Warm regards,
Krasnova N.
Editor-in-Chief
International Journal Of Professional Science

Electronic scientific editions

International journal of Professional Science

international scientific journal
№10(2)/2025

Please address for questions and comments for publication as well as suggestions
for cooperation to e-mail address mail@scipro.ru



Format 60x84/16. Conventional printed
sheets 5,8
Circulation 100 copies
Scientific public organization
“Professional science”