

АСТ

АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

ARCHITECTURE • CONSTRUCTION • TRANSPORT



Том 5, № 3
2025

16+

АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

Научно-информационный журнал
открытого доступа

Издается с 2021 года

ARCHITECTURE CONSTRUCTION TRANSPORT

Open access scientific and information
journal

The journal has been published since 2021

**Том 5, № 3
2025**

Цели и задачи

Научно-информационный журнал «Архитектура, строительство, транспорт» посвящен рассмотрению широкого круга вопросов теоретического и практического характера, направленных на решение проблем в области архитектуры, строительства и транспорта. Его основной целью является создание доступного информационно-коммуникационного пространства для обсуждения новых знаний и подходов, осмысления давно существующих и анализа и объяснения лишь недавно выявленных феноменов, внедрения научных и технических достижений в практику.

Задачами журнала являются: предоставление ученым возможности публиковать результаты своих исследований, привлечение внимания к актуальным и перспективным научным разработкам, а также освещение передового опыта и реальных достижений в заглавных областях знаний.



Наименование и содержание рубрик журнала соответствуют отраслям науки и группам специальностей научных работников Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.

2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)
2.1.2 Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки)
2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)
2.1.4 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки)
2.1.5 Строительные материалы и изделия (технические науки)

2.1.8 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)
2.1.9 Строительная механика (технические науки)
2.1.11 Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура, технические науки)
2.1.12 Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура, технические науки)
2.9.5 Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки)

Также редакция принимает к публикации материалы по следующим специальностям:

2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)

2.5.6 Технология машиностроения (технические науки)



Журнал издается с 2021 г.

Периодичность: 4 раза в год

Тираж: 400 экз.

Префикс DOI: 10.31660

Регистрационный номер: ПИ № ФС77-80657 от 07.04.2021 года, выдан Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Условия распространения материалов: контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License

Учредители: ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Главное управление строительства Тюменской области

Издатель: ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», 625000, Тюмень, ул. Володарского, 38, +7 (3452) 28-35-91

© Архитектура, строительство, транспорт, оформление макета, 2025

Сайт журнала: <https://www.ast.tyuiu.ru>

Индексирование: журнал входит в перечень изданий, рекомендованных ВАК, индексируется в РИНЦ, международных базах DOAJ, ROAD

Подписной индекс: в каталоге агентства «Пресса России» – 79619 (www.pressa-rf.ru)

Цена: свободная

Адрес редакции: 625001, Тюмень, ул. Луначарского, 2, к. 117

Телефон редакции: +7 (3452) 28-37-50

E-mail: ast@tyuiu.ru

Редакторы-корректоры: Маслова Е. А., Вахрушева Н. В.

Верстка: Николук С. А.

Отпечатано: ООО «Издательско-полиграфический центр "Экспресс"», 625048, Тюмень, ул. Минская, 3г, к. 3, +7 (3452) 55-58-47

Дата выхода: 03.10.2025

Aims and Scope

The scientific and information journal "Architecture, Construction, Transport" ("Arhitektura, stroitel'stvo, transport") addresses a wide range of theoretical and practical issues aimed at solving problems in the field of architecture, construction, and transport. The purpose of the journal is to create an accessible information and communication space for discussing new knowledge and approaches, making sense of long-standing phenomena, analyzing and explaining recently discovered ones, and introducing scientific and technical achievements into practice.

The main objectives of the journal are: providing scientists with the opportunity to publish the results of their research, drawing attention to the currently important and promising scientific research results, as well as covering best practices and real achievements in major areas of knowledge.



The name and content of the journal sections correspond to the branches of science and groups of specialties of scientific workers according to the Nomenclature of Scientific Workers' Specialties for which academic degrees are awarded.

2.1.1 Building structures, buildings and facilities (engineering sciences)
2.1.2 Bases and foundations, underground structures (engineering sciences)
2.1.3 Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply, and illumination (engineering sciences)
2.1.4 Water supply and sanitation, construction systems for water resources protection (engineering sciences)
2.1.5 Construction materials and products (engineering sciences)

2.1.8 Design and construction of roads, subways, airfields, bridges, and transportation tunnels (engineering sciences)
2.1.9 Structural mechanics (engineering sciences)
2.1.11 Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture, engineering sciences)
2.1.12 Architecture of buildings and structures. Creative concepts of architectural activity (architecture, engineering sciences)
2.9.5 Road transport operation (engineering sciences)

The editorial board also considers manuscripts in the following specialties:

2.5.5 Technology and equipment for mechanical, physical and technical processing (engineering sciences)

2.5.6 Mechanical engineering technology (engineering sciences)



The journal has been published since 2021

Frequency: 4 times a year

Print run: 400 copies

DOI Prefix: 10.31660

Registration Number: PI No. FS77-80657 as of 07 April 2021 issued by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roscomnadzor)

Distribution: content is distributed under Creative Commons Attribution 4.0 License

Founders: Industrial University of Tyumen, General Administration of Construction of the Tyumen region

Publisher: Industrial University of Tyumen, 625000, Tyumen, 38 Volodarskogo St., +7 (3452) 28-35-91

Website: <https://www.ast.tyuiu.ru>

© Architecture, Construction, Transport, design, 2025

Indexation: the journal is included in the index of periodical publications recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles, and in the RISC database, in DOAJ, ROAD databases

Subscription Index: in the Russian Press Agency catalog – 79619 (www.pressa-rf.ru)

Price: flexible

Address of editorial office: 625001, Tyumen, 2 Lunacharskogo St., office 117

Editorial office phone number: +7 (3452) 28-37-50

E-mail: ast@tyuiu.ru

Editors-proofreaders: Evgenia A. Maslova, Natalia V. Vakhrusheva

Page layout: Svetlana A. Nikolyuk

Printed by LLC "Express", 625048, Tyumen, 3g Minskaya St., +7 (3452) 55-58-47

Published: 03.10.2025

Главный редактор

Мальцева Т. В., д. ф.-м. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень (Российская Федерация); <https://orcid.org/0000-0002-0274-0673>, Scopus Author ID 57190863290

Редакционная коллегия

Абдикаримов Р. А., д. ф.-м. н., профессор, Ташкентский архитектурно-строительный университет, Ташкент (Республика Узбекистан)

Абдураманов А. А., д. т. н., профессор, Таразский региональный университет им. М. Х. Дулати, Тараз (Республика Казахстан)

Амирзода О. Х., д. т. н., доцент, Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе (Республика Таджикистан)

Арынов К. К., доктор архитектуры, профессор, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана (Республика Казахстан)

Асенов А. Ц., PhD, доцент, Русенский университет имени Ангела Кынчева, Русе (Республика Болгария)

Барсуков В. Г., д. т. н., профессор, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно (Республика Беларусь)

Бартоломей Л. А., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень (Российская Федерация)

Бородинец А. В., д. т. н., профессор, Рижский технический университет, Рига (Латвийская Республика)

Ватин Н. И., д. т. н., профессор, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Власов В. М., д. т. н., профессор, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва (Российская Федерация)

Грдич З., д. т. н., профессор, Нишский университет, Ниш (Республика Сербия)

Джозеф О. О., PhD, доцент, Университет Ковенанта, Ота (Федеративная Республика Нигерия)

Захаров Н. С., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень (Российская Федерация)

Кудрявцев С. А., д. т. н., профессор, член-корреспондент РААСН, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск (Российская Федерация)

Мамян З. Г., кандидат архитектуры, профессор, Национальный университет архитектуры и строительства Армении, Ереван (Республика Армения)

Менендес Пидаль И., PhD, профессор, Политехнический университет Мадрида, Мадрид (Испания)

Миронов В. В., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень (Российская Федерация)

Мурали Г., PhD, доцент, Университет SASTRA, Танджавур (Республика Индия)

Набоков А. В., к. т. н., доцент, Тюменский индустриальный университет, Тюмень (Российская Федерация)

Овчинников Е. В., д. т. н., профессор, Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, Гродно (Республика Беларусь)

Овчинников И. Г., д. т. н., профессор, действительный член Академии транспорта РФ, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь (Российская Федерация)

Панфилов А. В., кандидат архитектуры, доцент, Департамент строительства, архитектуры и земельных отношений Администрации города Салехарда, Салехард (Российская Федерация)

Попов А. Ю., д. т. н., профессор, Омский государственный технический университет, Омск (Российская Федерация)

Попок Н. Н., д. т. н., профессор, Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой, Новополоцк (Республика Беларусь)

Райчик М., д. т. н., профессор, Ченстоховский технологический университет, Ченстохова (Республика Польша)

Савинкин В. В., д. т. н., доцент, Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Петропавловск (Республика Казахстан)

Саксена А., PhD, профессор, Уттаракхандский университет Дев Бхуми, Дехрадун (Республика Индия)

Соколов В. Г., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень (Российская Федерация)

Султанова Д. Н., доктор архитектуры, профессор, Самаркандский архитектурно-строительный университет им. Мирзо Улугбека, Самарканд (Республика Узбекистан)

Тарасенко А. А., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень (Российская Федерация)

Уляшева В. М., д. т. н., профессор, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург (Российская Федерация)

Федюк Р. С., д. т. н., доцент, Владивостокский государственный университет, Владивосток (Российская Федерация)

Ци Ч., д. ф.-м. н., профессор, Пекинский университет гражданского строительства и архитектуры, Пекин (Китайская Народная Республика)

Чекардовский М. Н., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень (Российская Федерация)

Чжао В., PhD, профессор, Северо-Восточный университет, Шэньян (Китайская Народная Республика)

Якунин Н. Н., д. т. н., профессор, Оренбургский государственный университет, Оренбург (Российская Федерация)

Editor-in-Chief

Tatyana V. Maltseva, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen (Russian Federation); <https://orcid.org/0000-0002-0274-0673>, Scopus Author ID 57190863290

Editorial Board

Rustamkhan A. Abdikarimov, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Tashkent University of Architecture and Civil Engineering, Tashkent (Republic of Uzbekistan)

Abdumanap A. Abduramanov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, M. Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz (Republic of Kazakhstan)

Orif H. Amirzoda, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe (Republic of Tajikistan)

Kaldybai K. Arynov, Dr. Sci. (Architecture), Professor, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana (Republic of Kazakhstan)

Asen Ts. Asenov, PhD, Associate Professor, "Angel Kanchev" University of Ruse, Ruse (Republic of Bulgaria)

Vladimir G. Barsukov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno (Republic of Belarus)

Leonid A. Bartolomey, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen (Russian Federation)

Anatoly V. Borodinets, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Riga Technical University, Riga (Republic of Latvia)

Nikolay I. Vatin, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg (Russian Federation)

Vladimir M. Vlasov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University, Moscow (Russian Federation)

Zoran Grdić, Dr. Sci. (Engineering), Professor, University of Niš, Niš (Republic of Serbia)

Olufunmilayo O. Joseph, PhD, Associate Professor, Covenant University, Ota (Federal Republic of Nigeria)

Nikolay S. Zakharov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen (Russian Federation)

Sergey A. Kudryavtsev, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Corresponding Member of RAACS, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk (Russian Federation)

Zaruhi G. Mamyan, Cand. Sci. (Architecture), Professor, National University of Architecture and Construction of Armenia, Yerevan (Republic of Armenia)

Ignacio Menendez Pidal, PhD, Professor, Madrid Polytechnic University, Madrid (Spain)

Victor V. Mironov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen (Russian Federation)

Gunasekaran Murali, PhD, SASTRA Deemed to be University, Thanjavur (Republic of India)

Alexander V. Nabokov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen (Russian Federation)

Evgeniy V. Ovchinnikov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno (Republic of Belarus)

Igor G. Ovchinnikov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Full Member of the Academy of Transport of Russian Federation, Perm National Research Polytechnic University, Perm (Russian Federation)

Alexander V. Panfilov, Cand. Sci. (Architecture), Associate Professor, Department of Construction, Architecture and Land Relations of the Administration of Salekhard, Salekhard (Russian Federation)

Andrej Yu. Popov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Omsk State Technical University, Omsk (Russian Federation)

Nikolay N. Popok, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Euphrosyne Polotskaya State University of Novopolotsk, Polotsk (Republic of Belarus)

Marlena Rajchik, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Czestochowa University of Technology, Czestochowa (Republic of Poland)

Vitalii V. Savinkin, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Kozybayev University, Petropavlovsk (Republic of Kazakhstan)

Abhishek Saxena, PhD, Professor, Dev Bhoomi Uttarakhand University, Dehradun (Republic of India)

Vladimir G. Sokolov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen (Russian Federation)

Dilshoda N. Sultanova, Dr. Sci. (Architecture), Professor, Samarkand State Architectural and Civil Engineering University named Mirzo Ulugbek, Samarkand (Republic of Uzbekistan)

Alexander A. Tarasenko, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen (Russian Federation)

Vera M. Ulyasheva, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg (Russian Federation)

Roman S. Fediuk, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Vladivostok State University, Vladivostok (Russian Federation)

Chengzhi Qi, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Professor, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing (China)

Mikhail N. Chekardovskiy, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen (Russian Federation)

Wen Zhao, PhD, Professor, Northeastern University, Shenyang (China)

Nikolay N. Yakunin, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Orenburg State University, Orenburg (Russian Federation)

Содержание

АРХИТЕКТУРА

О. Ю. Костко, И. Г. Минулин, К. А. Туранская

Интеграция искусственного интеллекта
в архитектурное образование:
философско-культурологические вызовы и
педагогические стратегии 8

СТРОИТЕЛЬСТВО

В. И. Логанина, А. Д. Рыжов

Влияние известковоперлитовых штукатурных
покрытий на влажностный режим
ограждающих конструкций 26

У. Р. Сидаравичуте, С. И. Маций

Анализ нормативно-технической документации
производства геотехнического мониторинга
оползневых процессов 34

**Н. И. Шестаков, Н. В. Данилина, Р. С. Федюк,
М. Хематибахар, В. И. Петухов**

Критериальный метод оценки воздействия
асфальтобетонных заводов на окружающую среду
в промышленных зонах (на английском языке) 55

ТРАНСПОРТ

И. А. Тетерина, А. Б. Летопольский, А. В. Жданов

Параметры пневмоаккумулятора погрузочно-
разгрузочного оборудования экскаватора 74

А. В. Затонский, В. В. Данилов

Улучшение системы контроля за движением
общественного транспорта с помощью
методов машинного обучения 83

Ю. Д. Ишкин

Влияние надежности автомобилей на формирование
потребности в запасных частях на примере
автомобилей КАМАЗ-54901 94

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Правила подготовки рукописи (на русском языке) 104

Правила подготовки рукописи (на английском языке) 106

Contents

Oksana Yu. Kostko, Ilfat G. Minulin, Karolina A. Turanskaya

AI integrating into architectural education:
philosophical and cultural challenges
and pedagogical strategies 8

Valentina I. Loganina, Anton D. Ryzhov

The influence of lime-perlite plaster coatings
on the moisture regime of building envelopes 26

Ulyana R. Sidaravichute, Sergey I. Matsiy

Analysis of normative and technical documentation
for geotechnical monitoring of landslide processes 34

Nikolay I. Shestakov, Nina V. Danilina, Roman S. Fediuk,

Mohammad Hematibahar, Valery I. Petukhov

Environmental impact of asphalt concrete plants
on industrial areas via criteria-based method assessing 55

Irina A. Teterina, Anton B. Letopolsky, Aleksey V. Zhdanov

Parameters of the pneumatic accumulator
for excavator loading and unloading equipment 74

Andrey V. Zatonskiy, Vsevolod V. Danilov

Improving the public transport monitoring system
using machine learning methods 83

Yuri D. Ishkin

Vehicle reliability impact on the formation
of the need for spare parts using
the example of KAMAZ-54901 94

Manuscript preparation guidelines (In Russian) 104

Manuscript preparation guidelines (In English) 106

ARCHITECTURE

CONSTRUCTION

TRANSPORT

INFORMATION
FOR AUTHORS

Архитектура, строительство, транспорт

Architecture, Construction, Transport

2025;5(3)

Научная статья / Original research article

УДК 72; 37.013.75

DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-8-25>EDN: <https://elibrary.ru/cplnda>

2.1.12 Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура)



Интеграция искусственного интеллекта в архитектурное образование: философско-культурологические вызовы и педагогические стратегии

О. Ю. Костко, И. Г. Минулин, К. А. Туранская ✉

Тюменский индустриальный университет

Тюмень, ул. Володарского, 38, 625000, Российская Федерация

✉ turanskaya02@inbox.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме внедрения искусственного интеллекта в учебные планы и программы по специальности «Архитектура». Искусственный интеллект рассматривается в качестве неотъемлемого фактора современного творчества и анализируется как интегративная модель с точки зрения его положительных и отрицательных сторон для подготовки будущих специалистов. Поскольку профессия архитектора находится под сильным влиянием технологических достижений, в том числе искусственного интеллекта, архитектурное образование, во многом сохраняющее традиции классической школы, должно выработать новый системный подход к интеграции данных инноваций в образовательный процесс. В статье анализируются современные способы интеграции искусственного интеллекта в архитектурное образование российских вузов (МАРХИ, ННГАСУ, УрГАХУ, НГАСУ (Сибстрин)), приводится практический опыт работы студентов, выпускников и преподавателей кафедры дизайна архитектурной среды Тюменского индустриального университета. Исследование выявило, что при отсутствии методологической рамки интеграции искусственного интеллекта в архитектурное образование изучение данных технологий становится необходимым условием профессиональной подготовки современного специалиста. Предлагается концептуальная модель поэтапной интеграции, основанная на принципах культурной преемственности, прогрессивной сложности и критической рефлексии.

Ключевые слова: архитектурное образование, искусственный интеллект, педагогические стратегии, архитектурное бюро, дизайн

Для цитирования: Костко О. Ю., Минулин И. Г., Туранская К. А. Интеграция искусственного интеллекта в архитектурное образование: философско-культурологические вызовы и педагогические стратегии. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(3):8–25. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-8-25> EDN: CPLNDA

AI integrating into architectural education: philosophical and cultural challenges and pedagogical strategies

Oksana Yu. Kostko, Ilfat G. Minulin, Karolina A. Turanskaya ✉

Industrial University of Tyumen

Tyumen, 38 Volodarskogo St., 625000, Russian Federation

✉ turanskaya02@inbox.ru



Abstract. This article addresses the issue of integrating artificial intelligence into curricula and programs in the "Architecture" specialty. AI is considered as an essence of modern creative work and is analyzed as an integrative model in terms of its positive and negative aspects for training future specialists. Since the architectural profession is heavily influenced by technological advancements, including AI, architectural education, which largely preserves the traditions of the classical school, must develop a new systemic approach to integrating these innovations into the educational process. The study analyzes contemporary methods for integrating AI into the architectural education of Russian universities (Moscow Architectural Institute (State Academy), Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Ural State University of Architecture and Art, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)). It also presents practical experiences of students, graduates, and lecturers from the Department of Architectural Environment Design at the Industrial University of Tyumen. The research revealed that in the absence of a methodological framework for integrating AI into architectural education, studying these technologies is becoming a necessary condition for the professional training of modern specialists. The authors propose a conceptual model for phased integration, based on the principles of cultural continuity, progressive complexity, and critical reflection.

Keywords: architectural education, artificial intelligence (AI), pedagogical strategies, architectural firm, design

For citation: Kostko O. Yu., Minulin I. G., Turanskaya K. A. AI integrating into architectural education: philosophical and cultural challenges and pedagogical strategies. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(3):8–25. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-8-25>



1. Введение / Introduction

Искусственный интеллект (ИИ) – это эффективный инструмент и необходимая составляющая современного творчества (живописи, дизайна, архитектуры). Цифровой метод проектирования – «электронное барокко» – еще в конце 1990-х вызывал массу философских и гуманитарных вопросов: что должно быть механизировано, а что – предстать для машины как некое табу?

Развитие ИИ в России получило стратегический импульс с принятием в 2019 г. Национальной стратегии развития искусственного интеллекта до 2030 года¹. В документе искусственный интеллект называют «одной из важнейших технологий, которая положительно влияет на рост экономики, повышает качество медицинской помощи, труда, жизни, а также образования». Эта стратегия, нацеленная на быстрое и повсеместное его внедрение, предопределяет, что высшее образование в целом и творческие специальности в частности уже столкнулись или столкнутся в ближайшем будущем с ИИ в учебном процессе и проектной практике.

Однако, как отмечает заместитель президента Российской академии архитектуры Павел Жбанов, перед системой образования стоит дилемма: как сохранить классическую архитектурную школу и одновременно адаптироваться к требованиям цифровой трансформации, необходимость которой – вопрос решенный².

Статистические данные подтверждают существующий разрыв между потребностями и реальной подготовкой специалистов. В альманахе «Искусственный интеллект. Индекс 2021 года»³ отмеча-

¹ Указ Президента РФ от 10.10.2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» (ред. от 15.02.2024). URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731> (дата обращения: 04.08.2025).

² Студентам-архитекторам нужна цифровая среда. URL: <https://www.comnews.ru/content/234989/2024-09-02/2024-w36/1008/studentam-arkhitektozam-nuzhna-cifrovaya-sreda> (дата обращения: 04.08.2025).

³ Искусственный интеллект. Индекс 2021 года: аналитический сборник. Выпуск № 10. URL: https://ai.gov.ru/knowledgebase/investitsionnaya-aktivnost/2022_alymanah_iskusstvennyy_intellekt_indeks_2021_goda_mfti/ (дата обращения 01.09.2025).

ется, что только 3.7 тыс. выпускников в 2021 г. обладали нужными навыками в области машинного и глубокого обучения.

Усугубляют сложившуюся ситуацию риски, связанные с недостатком исследований в области использования генеративного ИИ в высшем образовании, что может привести к снижению творческой активности студентов. Отсутствует глубокий анализ возможностей и потенциала ИИ в архитектурном образовании⁴. Существуют вполне оправданные опасения, что студенты подсознательно вместо личностного эмоционального подхода к проектному решению предпочтут делегировать полномочия машине и в результате получают сугубо рациональное, деловое, грамотное, но сухое и бездушное творение. Как следствие – эмоциональное выгорание, потеря интереса к работе и отсутствие коммуникационных навыков командной работы.

Таким образом, выявленные данные демонстрируют фундаментальные противоречия: при значительных государственных инвестициях в развитие ИИ-образования архитектурные вузы России испытывают серьезные структурные трудности с интеграцией этих технологий в учебный процесс, что создает риск отставания от мировых тенденций в области цифровизации архитектурного образования. Использование ИИ в архитектурной деятельности заслуживает большого внимания со стороны как теоретиков, так и практиков. Постоянное совершенствование технологий и широкая доступность новых программ выводят его применение на новый уровень.

Целью данного исследования являлось обоснование стратегической модели последовательной интеграции искусственного интеллекта в архитектурное образование, направленной на формирование у будущих специалистов способности к осознанному и критическому использованию ИИ как инструмента, усиливающего творческий потенциал при сохранении гуманистических основ профессии. В ходе исследования проведен анализ современных работ по проблематике использования ИИ в сфере архитектурного образования, осмыслен опыт коллег из архитектурных вузов России, а также обобщены практический опыт и теоретические наработки преподавателей и студентов кафедры дизайна архитектурной среды (ДАС) института архитектуры и дизайна (АРХиД) Тюменского индустриального университета (ТИУ).

В конечном счете это исследование, представляющее основу для дальнейших обсуждений текущего состояния традиционной архитектурной подготовки и определения будущих тенденций в этой области, призвано предложить ценную информацию преподавателям архитектуры и практикам.

2. Методы / Methods

Метод сравнения. Был рассмотрен опыт использования ИИ на факультетах архитектуры российских вузов для анализа существующих стратегий, а также развивающиеся образовательные стратегии института архитектуры и дизайна ТИУ.

Метод аналогии. В процессе работы были проанализированы современные отечественные и зарубежные исследования, затрагивающие проблему и перспективы интеграции искусственного интеллекта в архитектурную практику и образование, а именно:

- философско-методологические работы, формирующие этико-эстетический контекст внедрения технологий (А. В. Тимофеев, С. В. Карпов, К. Мангейм);

⁴ Rakhmatullaev M. Analysis of current trends and activities related to the integration of artificial intelligence into higher education in the Commonwealth of Independent States (CIS) Republics. URL: <https://en.ichei.org/Uploads/Download/2025-04-10/67f777f29687f.pdf> (дата обращения: 04.08.2025).

- исследования, посвященные конкретным инструментам и методам ИИ – генеративному дизайну, параметрическому моделированию и работе с большими данными в урбанистике (P. Schumacher, J. Ko, H. Li, V. Calixto, М. Л. Власова и др.);
- педагогические исследования и кейсы, рассматривающие трансформацию архитектурного образования под влиянием ИИ (A. Alshahrani, S. Jin, C. Lan, J. H. Park, K. E. Hedges и др.).

Веским аргументом для применения в архитектурном образовании и в проектировании нейронных сетей является деятельность успешных архитектурных бюро. Zaha Hadid Architects, например, разработали собственное программное обеспечение ZHA Code. Однако имеющаяся на русскоязычных сайтах экспериментальная база пока локальна и недостаточна, поэтому не может служить аргументированной позицией для общих выводов и рекомендаций.

Метод синтеза и обобщений. Отмечена роль преподавательских инициатив кафедры ДАС на примере кейса преподавателя-практика, руководителя компании «ИСТ» И. Г. Минулина.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

ИИ в философии архитектуры

«Труд человека и состоит в том, чтобы из данных условий возникали новые идеи, а из идей – новые условия» [1]. Философская антропология XIX в., опираясь на прагматику и позитивизм, оперировала понятием человека деятельного, который, приумножая успехи научно-технического прогресса, должен был сохранять активность и креативность мышления.

Для понимания неоднозначности этой ситуации достаточно привести несколько цитат-манифестов корифеев архитектуры того времени: «меньше есть больше» (Мис ван дер Роэ); «форму определяет функция» (Луис Салливан); «дом – машина для жилья» (Ле Корбюзье). Идея прогресса архитектуры как техники, воплощенная в знаменитом поступательном движении – от «жилья для машины» к «машине для жилья» Ле Корбюзье, демонстрировала примат инженерной мысли над эстетской архитектурой почти на всем протяжении XX в. Не может ли так получиться, что архитектор будет зависеть от самой машины? Архитекторы в роли операторов – страшный сон современного зодчего или потенциально возможное будущее? В то время как системы искусственного интеллекта становятся все более распространенными, растет беспокойство тем, что архитекторы могут стать всего-навсего операторами техники, а не активными участниками процесса проектирования. Эта тенденция может привести к снижению уровня критического мышления, навыков решения проблем и прочим не менее серьезным рискам, которые будут не раз упомянуты в данной работе.

Лабораторный статус позволяет трактовать использование ИИ как экспериментальное потенциально перспективное направление, где субъект – *homo sapiens autocreator* (человек самосозидающий) – будет ожидать от дуалистической человеко-машинной цивилизации не вытеснения, а, скорее, смены парадигм, как предсказывают некоторые философы. «Усугубляющееся вторжение инструментального интеллекта в самые интимные основы бытия приведет к перерождению биологического вида *homo sapiens* в надбиологический, адаптированный для человеко-машинной цивилизации, связь с которыми все более совершенствует и трансформирует нас» [2].

Усугубляются данные потенции безусловными преимуществами машины, теми качествами ее работы, с которыми человек не в силах конкурировать, – точностью и непредвзятостью. Аналитическая версия, рожденная машиной, зачастую вызывает у чиновников или заказчиков больше доверия, нежели экзистенциальная позиция архитектора. Само проектное творчество при этом обесценивается и главный посыл архитектурного объекта превращается в тег – иллюстрацию к аналитическому отчету.

Полистилистика сегодня вполне отзывается на принцип поиска мировых аналогов. Поэтому отдельным архитекторам и специализированным бюро-мастерским, принимающим на работу

или проектную практику студентов, приходится объяснять, почему особое внимание необходимо уделять традициям и национальной идентичности, тогда как задействование ИИ в архитектурном проектировании дает возможность использовать и перерабатывать постоянно обновляющуюся базу данных [3].

Недостаточно представить эти инновации, например, только в виде перехода от старых методов представления – макетирования и аксонометрического изображения от руки – к быстрому и фотореалистичному рендеру, точному и гибкому разворачиванию, легкой интеграции 3D-двойника объекта в уже существующий средовой ансамбль. Суть заключается в нетождественности логически, математически объяснимого и иррационального. Если светодизайн напрямую связан со структурой электросетей, а колористика объясняется спецификой ландшафта и материалов, то решение более сложных, эмоциональных задач, таких как поиск духа места, не всегда совпадет с машинной рациональной аналитикой. Подтверждение этому можно найти, когда сложные тексты с использованием гипербола или уподоблений становятся ИИ непонятными. Так, используя цитату Г. Земпера, назвавшего свою «Практическую эстетику» «лоцией», мы столкнулись с корректировкой: «не используйте морскую терминологию».

Таким образом, внедрение ИИ ознаменует не просто появление новых технических инструментов, но и стадию зарождения принципиально новых педагогических и философских идей. Система архитектурного образования оказывается в эпицентре философского спора, где пересмотр целей, методов и самой концепции творчества необходим для подготовки осознанного специалиста. Компетенции в данной области должны включать как овладение ИИ в качестве практического инструментария, так и его осмысление в качестве глубокой философско-методологической и этической проблемы, связанной с трансформацией самого процесса творчества. В связи со стремительной эволюцией технологий компьютерного проектирования прогнозируется постепенная интеграция ИИ в учебные планы – от элективных курсов до базовых дисциплин. Авторы отдают себе отчет, что анализ назревших изменений в образовательных стандартах в сфере архитектурного проектирования должен идти в различных направлениях, образуя синтетический подход: рассмотрение опыта использования нейронных сетей в процессе проектирования; фиксация не подлежащих автоматизации задач архитектора; оценка потенциальных рисков применения искусственного интеллекта.

Возможности и необходимость

Моисей Гинзбург, размышляя о рождении нового стиля эпохи, писал о машине как о силе, которая сперва воспринималась как «апофеоз пошлости и грубости реального мира, его печальная неизбежность», нечто чужеродное для «художественно воспитанного человека». Машина была антитезой искусству, но при этом нельзя игнорировать значение средств производства любой эпохи, которые неизбежно становились фундаментом нового мироощущения: «С каждым годом ее становилось все больше и больше. Она стала проникать во все поры нашего быта, нашей жизни». Согласно известной цитате М. Гинзбурга, «искусство, в особенности архитектура, жить оторванной от экономики и техники, пейзажа, быта и человеческой психики, конечно, не в состоянии»; как итог – ее перерождение, новая эстетика, новый ритм и новые формы.

Столетие спустя мы находимся в ситуации схожего тектонического сдвига. Искусственный интеллект – новый апофеоз, цифровой и алгоритмический, проникающий в нашу реальность неуловимо, но стремительно: от алгоритмов ленты новостей до систем управления мегаполисами. Нельзя было не провести эту параллель: ИИ видят угрозой индивидуальному творчеству, человеческой уникальности – очередной печальной неизбежностью технократического будущего. Но как архитектура 1920-х не могла существовать вне реальности фабрик, элеваторов и рабочих домов, современное искусство не может оставаться в стороне в мире, тотально преобразованном ИИ.

Проектирование и строительство под тяжестью глобализации и ускоряющегося темпа жизни требуют все большей точности и координации. Ресурсы, затраченные на эти сложные процес-

сы, сокращаются за счет внедрения технологий виртуальной реальности, информационного моделирования зданий и искусственного интеллекта. На всех этапах – планирования и проектирования, строительства, эксплуатации, реновации и сноса, – данные технологии повышают эффективность и продуктивность, улучшают визуализацию и упрощают работу с большими данными. Это особенно актуально при комплексном средовом подходе, где необходимы симуляция, анализ и оптимизация сложных систем.

Повышение разнообразия форм, а также создание адаптивных структур, отвечающих заданным условиям ландшафта, часто ограничиваются традиционными процессами проектирования, будь то ручные методы или возможности программного обеспечения. Алгоритмы генеративного проектирования снимают эти ограничения и способствуют дальнейшему развитию творческих возможностей [4].

Машинное обучение, генеративный дизайн и нейронные сети – это основные компоненты искусственного интеллекта в сфере архитектуры и дизайна. Алгоритмы машинного обучения анализируют исторические данные для выявления закономерностей и составления обоснованных прогнозов, помогая при выборе материалов и прогнозировании энергопотребления [5]. Делаются большие шаги в сторону устойчивого развития, когда анализ данных позволяет оптимизировать работу здания [6]. Особо следует выделить дизайн архитектурной среды, где отмечается последовательный рост интереса к устойчивому развитию территорий [7] и многоуровневый подход к проектированию умных городов на основе разных типов данных и вычислительных методов [8].

Генеративный дизайн использует алгоритмы для создания широкого спектра проектных альтернатив, позволяя архитекторам быстро оценить множество вариантов и выбрать оптимальные решения [9]. Сокращение сроков реализации проектов и минимизация ошибок на ранних этапах проектирования позволяют избежать дорогостоящих исправлений на стадиях строительства или эксплуатации. Нейронные сети, особенно модели глубокого обучения, сыграли важную роль в улучшении визуализации и моделирования в архитектуре. С помощью этих моделей можно создавать реалистичные рендеринги и виртуальные среды, предоставляя клиентам возможность полного погружения в предлагаемые проекты. Кроме того, эффективность увеличивается многократно при комплексном использовании разного рода систем. Так, языковой ассистент в сцепке с моделью для преобразования эскизов в фотореалистичные изображения помогает визуализировать идеи и ускорить согласование: идеальный пример того, как машинное обучение улучшает понимание между архитектором и клиентом, который в ходе сложных коммуникационных ситуаций не может четко сформулировать свои ожидания [10].

ИИ и машинное обучение, хоть и находящиеся на начальных этапах своего развития, ежедневно доказывают свою эффективность в профессиональной среде. Следовательно, они уже сейчас должны рассматриваться в качестве одних из компонентов методологии проектирования.

Поэтическая ностальгия, как правило, сменяется осознанием неизбежности. ИИ, как и подарившая миру эстетику конструктивизма машина, без сомнения, станет катализатором рождения новой эстетики. Однако нельзя не учитывать риски, поджидающие архитектора без должного их осмысления.

Риски и вызовы

Несомненно, искусственный интеллект предлагает множество потенциальных преимуществ, что делает его весьма привлекательным инструментом для современных архитекторов и строителей, которые постоянно ищут способы оптимизации процессов и создания более устойчивых, инновационных и эффективных проектов. Однако этот технологический прогресс не лишен существенных недостатков.

Социопсихологические риски. Проблема гармонизации, основанной на принципах симметрии, тектоники и темпоральности, представляет собой междисциплинарный феномен, общий для пространственных и временных искусств. Совокупность этих принципов, проверенных временем

правил и исключений веками служила инструментом созидания эстетически совершенного порядка. Однако конечный эффект зачастую не объясняется логически и рационально, а уходит корнями в область интуитивного, чувственного восприятия. Архитектура по своей сути является областью, требующей комплексного решения проблем и творческого мышления. Процесс проектирования зданий включает в себя нечто большее, чем просто технические знания; он требует глубокого понимания пространственных отношений, эстетики и человеческих потребностей. Однако искусственный интеллект, как правило, в значительной степени полагается на уже существующие данные и алгоритмы для создания проектов. Такой подход может ограничить настоящие инновации, поскольку системы искусственного интеллекта обычно работают в рамках данных, на которых они были обучены, таким образом, не принимая во внимание новые идеи и нетрадиционные решения.

В контексте активного включения цифровых инструментов в архитектурное образование актуализируется ряд социальных и психологических рисков. Один из них заключается в потенциальной подмене личностно-эмоционального взаимодействия в образовательном процессе на сугубо рационально-деловую коммуникацию. Это может привести к двум значимым последствиям: эмоциональному выгоранию студентов вследствие дегуманизации образовательной среды и дефициту формирования критически важных навыков непосредственного человеческого общения.

Профессиональные риски. Архитектура – это отражение человеческой цивилизации и интеллектуального прогресса в ее проявлениях. Чрезмерная зависимость от ИИ создает соблазн переложить на компьютер не только рутинные обязанности, но и принятие решений более важных. И так как ИИ берет на себя все больше профессиональных аспектов, эта зависимость может привести к значительным последствиям для профессии.

Для решения проектных задач требуется творческий созидательный подход. Мультифункциональность вычислительной среды неявно ведет к рационализации и алгоритмизации процессов, традиционно относимых к сфере интуитивно-творческой и духовной. Здесь кроется угроза для развития творчества, креативного и критического мышления, которые, согласно исследованиям, приводят к инновационным решениям [11]. Например, такие известные архитекторы, как Фрэнк Ллойд Райт, Заха Хадид и Ле Корбюзье, известны не только своим техническим мастерством, но и своим особым художественным видением и инновационными подходами к дизайну. Их работы пронизаны личным мироощущением и креативностью, отражающими их уникальные взгляды.

Ценностные установки, профессиональный опыт и творческий замысел архитектора – человеческие факторы, накладывающие свой отпечаток на эффективность и смысловую наполненность алгоритмов. По мере того как системы ИИ становятся все более сложными, растет беспокойство, что они могут затмить суждения автора. Сдвиг парадигмы «точность за машиной, креативность за архитектором» в сторону отказа от привилегированного положения человеческого суждения в пользу машинного превосходства может привести к потере самовыражения и низведет архитекторов до уровня простых операторов [12], превратит их в простые автоматы. В перспективе архитекторы, которые в значительной степени будут полагаться на рекомендации ИИ, могут стать менее опытными в технических и творческих навыках, необходимых для их работы.

Использование ИИ в образовании также актуализирует проблему академической недобросовестности. Бездумное применение новых алгоритмов, как, в сущности, и плагиат, есть форма уклонения от обучения: студент замещает собственный интеллектуальный труд готовым, мертвым продуктом, будь то работа другого автора или результат работы ИИ [13]. Подобные практики – не просто нарушение правил; они несут прямую угрозу профессиональному становлению будущего специалиста. Архитектор, не развивший в процессе обучения критическое мышление, творческие и аналитические способности, оказывается неспособен к самостоятельному решению сложных проектных задач, профессиональной рефлексии. Сиюминутное стремление облегчить учебный процесс за счет

чужих решений ведет к несостоятельности выпускников в реальной практике и творческому бессилию, а профессиональная деградация может произойти незаметно для самих обучающихся.

Наконец, при автоматизации многих аспектов архитектурного проектирования возникает риск необходимости смены работы в рамках профессии или, при более радикальном исходе, – сокращения численности архитекторов. Появление новых ролей, сосредоточенных на управлении и интерпретации результатов ИИ, может привести к реструктуризации рабочей сферы и потребовать от архитекторов приобретения новых навыков. Это движение становится все более ощутимым и болезненным, особенно для студентов, для которых крайне важно после выпуска быть конкурентоспособными на рынке труда и отвечать запросам работодателей.

Конфликт систем. В индустрии доминирует прагматичный подход, что дает архитектурным бюро прямое конкурентное преимущество: скорость, снижение затрат. Академическая система гораздо более инертна. Учебный план, ориентированный на фундаментальные дисциплины, меняется медленно. Во многом консерватизм вузовской подготовки вступает в конфликт с гибкой и технологически оснащенной системой реального проектирования – алогичная с рациональной точки зрения диспропорция, поскольку именно академическая среда призвана быть авангардом внедрения новых методик.

Исследование в Саудовской Аравии выявило статистически значимый разрыв: 75.2 % студентов проявляли высокий интерес к изучению ИИ, в то время как среди преподавателей было только 31.8 % заинтересованных [14]. Причина этому – скептическое отношение многих преподавателей к использованию ИИ и опасения, что он способен подавить креативность студентов.

В современной архитектурно-образовательной среде наметились две позиции. С одной стороны, перспективный взгляд, который, несмотря на признание возможной автоматизации, не предполагает тотальной замены человека машиной. С другой – ностальгическая позиция, которая находит выражение, в частности, в выставках ручной архитектурной графики и профессионального рисунка. Консервативный вуз делает акцент на индивидуальном мастерстве, авторском замысле и оттачивании традиционных навыков. Но при этом наблюдается устойчивая тенденция к деградации качества ручной подачи. Это объясняется сокращением аудиторных часов, отводимых на данные дисциплины, и повсеместным внедрением цифровых инструментов, нивелирующих необходимость в оттачивании классических техник. Проектирование в цифровой среде, анализ алгоритмов, отбор сгенерированных материалов при работе с ИИ требуют переосмысления роли архитектора как независимого и единственного творца, готовя студентов к работе в гибридной среде «человек – машина» [15]. В такой системе можно увидеть эффективность во взаимодействии ее составляющих, которые, формируя друг друга, (co)создают новую реальность [16].

Чтобы снизить риски, крайне важно найти баланс между внедрением технологий и сохранением человеческой активности. Искусственный интеллект следует использовать как инструмент для улучшения, а не замены работы архитекторов. Благодаря осмысленной интеграции ИИ в рабочие процессы, архитекторы могут использовать его для обработки повторяющихся задач и анализа данных, освобождая больше времени для творческого и стратегического мышления.

Анализ современных педагогических стратегий интеграции ИИ в архитектурное образование российских вузов

Преодоление разрыва между рисками и возможностями требует пересмотра устоявшихся педагогических методик и поиска новых форматов развития узкоспециализированных компетенций. Например, Real-Time Virtual Engine (инструмент, не используемый в образовательном процессе) в теории позволил бы студентам погружаться в виртуальные аналоги своих проектов, тестировать пространственные сценарии и корректировать их, в то время как работа исключительно с чертежами и макетами может искажать восприятие масштаба и конструктивных решений [17]. Подобные эксперименты и инициативы являются катализаторами улучшений в сфере архитектурного образования.

И. Г. Минулин является учредителем и генеральным директором ООО «Архитектурно-инженерная группа ИСТ», компании, успешно работающей на рынке с 2000 г. в сфере архитектурного проектирования. Как практик, он активно внедряет в работу бюро современные технологии: для разработки концепций и презентационных материалов его компания использует искусственный интеллект и машинное обучение.

Свой профессиональный опыт И. Г. Минулин, доцент кафедры ДАС, передает и в академической среде. Он преподаёт дисциплину «Правовые основы архитектурно-строительной деятельности» для студентов пятого года обучения. Формально целью курса является освоение нормативной базы и правил проектирования «на бумаге». Итоговая курсовая работа – творческое задание, где студентам необходимо разработать концепцию жилого района на потенциально развивающейся городской территории. Задача: соблюдая все необходимые строительные нормы и правила при разработке генерального плана, предложить оригинальную концепцию района.

В 2025 г. после проведения традиционного предпроектного анализа и поиска аналогов преподаватель, руководствуясь желанием приблизить обучение к актуальным отраслевым реалиям, предложил двум группам (23 студента) использовать искусственный интеллект для быстрого создания визуального представления своих проектных решений (рис. 1). Для выполнения поставленной задачи студентами были выбраны разные платформы: ChatGPT-4 (для генерации технического задания и кон-



Рис. 1. Визуализация концепции с помощью искусственного интеллекта
(фрагменты из студенческих проектов ТИУ)

Fig. 1. Concept visualization using artificial intelligence
(fragments from projects by students of Industrial University of Tyumen)

цептуальных описаний), Stable Diffusion и онлайн-платформа mnml.ai (для создания архитектурных визуализаций и рендеринга 3D-моделей). С помощью ИИ облик фасадов спроецирован на 3D-модель.

Сложности, с которыми столкнулись обучающиеся (не учитывая ограничения программ): временные затраты на освоение новых инструментов и поиск платформ, не требующих финансовых затрат при сохранении качества. Главный положительный результат состоял в том, что этот шаг, не предусмотренный официальной программой дисциплины, позволил будущим выпускникам понять, как сегодня работает практика проектирования и коммуникации с заказчиком, где скорость зачастую играет важную роль. Студенты получили возможность апробировать один из передовых инструментов концептуального поиска, с которым им предстоит столкнуться в профессиональной деятельности. Этот пример показывает, как возможно преодолеть конфликт двух систем: профессионально-практической и академической.

Точечные инициативы архитекторов-практиков – важный шаг, но для масштабных изменений необходима системная интеграция на институциональном уровне. И такие системы уже запущены: искусственный интеллект активно внедряется в архитектурное образование российских вузов с помощью разных подходов и на разных уровнях. Так, в Московском архитектурном институте (МАРХИ) введена дисциплина «Цифровые технологии в архитектурном проектировании и презентации», которая включает изучение параметрического проектирования и специализированных 3D-программ в профессиональной деятельности архитектора; с 2024 г. запущен экспериментальный образовательный модуль «Программы ИИ в архитектурном проектировании», включенный в программу дисциплины «Компьютерная графика» кафедры ИТАрх (3 курс бакалавриата). МАРХИ имеет многолетний опыт преподавания дисциплины «Компьютерный композиционно-комбинаторный курс», направленной на активизацию ассоциативного и образного мышления студентов-архитекторов. Двумя десятками лет учебной практики доказана способность комбинаторных операций провоцировать рождение идей и образов. Ректор МАРХИ Дмитрий Швидковский подчеркивает важность адаптации образования к новым реалиям: «В области архитектуры теперь оказывается важнее поставить задачу, чем ее исполнить. Придется обучать студентов правильно формулировать задачи для ИИ и затем оценить предложенные решения»⁵.

Другой пример – Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, который первым в России начал обучать большую языковую модель GigaChat профессиональным знаниям в области архитектуры и строительства, в частности, дисциплине «Архитектура жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений»; подобная двусторонняя адаптация создает принципиально новую образовательную среду, где академические знания становятся основой для машинного обучения. Важным достижением в этой области является запуск с 2022 г. образовательных программ магистратуры в сфере ИИ, включая профиль «Искусственный интеллект в строительной отрасли».

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) с 2022 г. готовит специалистов по направлению «Прикладная информатика в архитектуре»; профиль ориентирован на формирование навыков информационного моделирования зданий и сооружений, а также автоматизацию создания объемно-пространственных композиций в архитектуре и дизайне. В 2024 г. одновременно с магистерской программой «Искусственный интеллект в строительстве» университет запустил программу «Технологии информационного моделирования зданий и соору-

⁵ Нейронки для стройки. Будущее архитектуры обсудили ученые в МГСУ. URL: <https://ardexpert.ru/article/28321> (дата обращения: 17.09.2025).

жений», направленную на смежное использование BIM-технологий и элементов искусственного интеллекта.

Уральский государственный архитектурно-художественный университет (УрГАХУ) является одним из пионеров в области интеграции цифровых технологий. В частности, в университете действует студенческая научно-исследовательская лаборатория «ИТ в архитектуре» (СНИЛ ИТ), деятельность которой включает изучение новых технологий проектирования и искусственного интеллекта, информационное моделирование современных и исторических зданий, практическую работу с технологиями AR/VR и нейросетями и др.

Помимо государственных вузов, активную позицию занимают частные образовательные учреждения: архитектурная школа МАРШ предлагает специализированный курс «Нейросети в архитектуре», направленный на поиск новых подходов к творческим процессам. Программа курса включает изучение технических основ ИИ для осознанного выбора архитектурных инструментов, работу с языковыми моделями для создания технических заданий, генерацию концептуальных идей и эскизов и т. д.

Параллельно с интеграцией в учебные планы развивается и событийная деятельность. Например, в Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете в 2024 г. был проведен воркшоп с участием промышленных партнеров на тему «Искусственный интеллект: архитектор будущего или иллюзия прогресса?». В том же году в Ленинградской области прошел первый конкурс «Искусственный интеллект в архитектуре и градостроительстве». В нем приняли участие студенты из семи вузов Санкт-Петербурга, разрабатывающие проекты в четырех номинациях с обязательным использованием ИИ. А в УрГАХУ на регулярной основе проводятся конференции «Новые информационные технологии в архитектуре и строительстве», где рассматриваются вопросы применения ИИ в архитектурном образовании. Событийная деятельность позволяет студентам и преподавателям познакомиться с ИИ-технологиями в безопасной среде, снижая подсознательное сопротивление инновациям. Это соответствует принципу поэтапности: от единичных экспериментов к системному внедрению.

Анализ представленных практик позволяет выделить три основные стратегии интеграции ИИ в архитектурное образование на данный момент:

- экспериментально-модульную (внедрение ИИ через отдельные курсы и экспериментальные модули с постепенным расширением охвата);
- системно-программную (создание целых образовательных программ, специализированных на ИИ-технологиях в строительстве и архитектуре);
- исследовательско-лабораторную (развитие через студенческие научно-исследовательские лаборатории с акцентом на практическое освоение технологий).

Именно системное внедрение новых практико-ориентированных технологий в академический процесс способно закрыть разрыв между возможностями инструментов ИИ и традиционными педагогическими методиками.

Стратегическая модель – концептуальный подход

На основе выявленных конфликтов, рисков и возможностей, связанных с внедрением искусственного интеллекта в сферу архитектурного образования, рассматривается концептуальный подход, основанный на балансе сохранения профессиональной традиции и освоения цифровых компетенций.

Изменение роли преподавателя и образовательные педагогические тренинги. На практике преподаватели выражают беспокойство, что их заменят системы ИИ. Студенты, в свою очередь, склонны полагаться на ИИ для решения дизайнерских задач и воспринимают традиционные методы обучения, такие как рисование от руки и создание моделей, как устаревшие. И несмотря на то, что

рисование остается важным навыком в творческом процессе и преподавателям следует продолжать подчеркивать этот постулат студентам-первокурсникам [18], изучение влияния ИИ на архитектурное образование и поиск способов эффективной интеграции технологий ИИ в учебную программу при сохранении традиционных методов преподавания имеет важное значение не только для учеников, но и для самих учителей.

Принцип прогрессивной сложности. Анализ учебных планов бакалавриата кафедры ДАС ТИУ на примере наборов 2020 и 2023 гг. наглядно показывает попытку системы адаптироваться к технологическим вызовам. Студенты, поступившие в 2023 г., уже имеют в учебном плане специализированную дисциплину, связанную с ИИ, на четвертом курсе. Безусловно, это позитивный шаг вперед, позволяющий студентам освоить основные методы теории интеллектуальных систем, приобрести навыки по их использованию, изучить основные методы представления знаний и моделирования рассуждений. Однако существуют риски столкновения с двумя проблемами: 1) студенты подойдут к этому курсу без базовой систематизированной подготовки, основываясь лишь на стихийном фрагментарном опыте работы с ИИ, который они приобрели, используя эти технологии с интуитивно понятным интерфейсом в открытом доступе; 2) внедрение изучения ИИ на старших курсах предполагает, что предыдущие учебные проекты были сделаны в рамках традиционных методик, без использования новых технических моделей, тогда как в реальности современные абитуриенты и студенты младших курсов уже активно используют открытые ИИ-инструменты (например, ChatGPT) для личных и учебных целей. Университету важно найти способы контроля и систематизации этого процесса.

Таким образом, зреет необходимость более раннего введения основ искусственного интеллекта в учебные планы и программы определенных дисциплин. Отличный пример: компьютерные технологии преподаются с первого курса несмотря на то, что основные работы по архитектурно-дизайнерскому проектированию вплоть до третьего курса выполняются в ручной подаче. Это постепенно и планомерно подготавливает учащихся к разработке учебного проекта – от концепции до визуализации и вывода готового широкоформатного планшета – с использованием возможностей программного обеспечения и проектирования в цифровой среде. Так, при адаптации учебных курсов и включении новых инструментов уже сейчас существует ряд возможностей: инструменты генеративного ИИ (Midjourney, Stable Diffusion) могут быть использованы в архитектурно-дизайнерском проектировании для быстрого исследования концепции, визуального представления атмосферы; языковые модели (ChatGPT) могут служить для проведения мозгового штурма, структурирования и анализа больших массивов информации; ИИ может применяться для обработки картографических и экологических данных при предпроектном анализе. Экспериментально доказано, что внедрение в процесс учебного проектирования технологий искусственного интеллекта к уже существующему компьютерному 3D-моделированию оказывает положительное влияние на обучение студентов, повышает их средний балл и эффективность работы [19], а также помогает прийти к более новаторским результатам, чем процесс, ограниченный использованием только традиционных инструментов [20].

Акцент на критическом мышлении и этике. Знание фундаментальных основ и насмотренность закладывают профессиональную основу. Генеративная модель, способная выдать бесчисленное количество результатов, должна регулироваться архитектором, обладающим необходимым базисом: здесь возникает проблема выбора необходимого решения для определенной среды, исторического и социокультурного контекстов. Исследование [21] подтверждает, что обучение работе с ИИ должно обязательно включать модули по этике и философии архитектуры, вопросам авторского права в отношении сгенерированного контента.

С целью недопущения рисков, с которыми может столкнуться профессиональная архитектурная среда в будущем, необходимо доносить до студентов положительные стороны сбалансирован-

ного подхода и последствия, к которым может привести отказ от него: истощение культурного и интеллектуального богатства, которое и определяет человеческую цивилизацию. Использование ИИ в качестве инструмента, а не императива, – залог сохранения сущности человеческого интеллекта и художественного самовыражения в архитектуре.

Предлагаемая концептуальная модель интеграции ИИ в архитектурное образование строится на принципе постепенного, поэтапного погружения, где синтез традиций и технологий играет главную роль.

Формирование фундамента (младшие курсы). Акцент делается на базовые архитектурные компетенции: ручное исполнение, освоение архитектурной графики, рисунка, а также изучение теории и истории архитектуры в широком общекультурном и философско-эстетическом контексте. Это формирует базовое понимание жанрового и функционального многообразия, вкус и критическое мышление, объясняет взаимодействие с другими видами искусств. Взаимодействие с ИИ происходит в ознакомительном режиме, как с одним из инструментов современной практики.

Критический анализ (средние курсы). Акцент смещается на развитие аналитических способностей: студенты знакомятся с ранними и более предсказуемыми версиями ИИ-инструментов, где роль человека-куратора остается определяющей. Задача этапа – не генерация, а критический анализ. Студенты учатся формулировать запросы (например, для Stable Diffusion или Midjourney), оценивать эстетическую и конструктивную состоятельность сгенерированных вариантов, отбирать и дорабатывать их (рис. 2). Это развивает навык осознанного управления алгоритмом, а не пассивного потребления его результатов.



Рис. 2. Процесс работы над проектом, в котором финальная часть представлена сгенерированными с помощью ИИ визуализациями (фрагменты из студенческих проектов ТИУ)

Fig. 2. The project workflow with AI-generated visualizations in its final stage (fragments from projects by students of Industrial University of Tyumen)

Творческая интеграция (старшие курсы). Происходит синтез традиционных методов с возможностями ИИ: студенты работают с новейшими ИИ-системами, используя мультимодальный ввод (эскизы, тексты, данные), и сочетают машинные возможности с авторским замыслом и сохранением контроля над процессом. При этом им уже известен и доступен широкий выбор инструментов, позволяющих проводить градостроительный анализ (работа с большими данными [22]), разрабатывать концепции (подсказки генеративного дизайна и эволюционные алгоритмы [23]), проектировать (BIM-моделирование, оптимизация и симуляторы [24]) и производить вывод (компьютерная визуализация и автоматизация) на новом профессиональном уровне. Итогом подобного подхода станет компетентный специалист, обладающий проектной культурой.

4. Заключение / Conclusions

Архитектура всегда была средством личного самовыражения и художественного видения. Каждый архитектор под влиянием происхождения, образования и культурного контекста привносит в свою работу уникальный взгляд и жизненный опыт, придавая своим проектам индивидуальность и культурную значимость. Эта индивидуальность – то, что делает архитектуру, окружающий человека материальный мир богатым и разнообразным, где каждое здание рассказывает уникальную историю. Искусственному интеллекту не хватает способности улавливать эти нюансы.

Проведенное исследование подтверждает, что интеграция искусственного интеллекта в архитектурное образование представляет собой не просто технологическую модернизацию, а комплексный философско-культурологический и педагогический вызов. Анализ показал, что ИИ обладает значительным потенциалом для трансформации традиционных подходов к обучению, предлагая новые инструменты для генерации и анализа проектных решений, оптимизации процессов и расширения творческих возможностей. Однако его внедрение сопряжено с серьезными рисками: снижением роли критического мышления и усилением разрыва между быстро развивающейся профессиональной практикой и консервативной академической средой. Вместе с тем, анализ практик российских архитектурных вузов показывает готовность образовательной системы к поэтапной интеграции ИИ; единая методологическая рамка пока только формируется, но в будущем она позволит масштабировать успешные практики и избежать дублирования ошибок.

Ключевым выводом работы является необходимость разработки сбалансированной и поэтапной модели интеграции ИИ, которая бы сочеталась с сохранением фундаментальных основ архитектурного образования. Предложенный стратегический подход, включающий этапы от формирования базовых профессиональных компетенций и критического освоения технологий до их полного внедрения в проектный процесс, направлен на подготовку специалиста, способного к осознанному и этичному использованию ИИ как инструмента, усиливающего, а не подменяющего человеческое творчество. Но несмотря на концептуальную обоснованность, тема требует дальнейшего осмысления и проработки из-за имеющихся ограничений:

- институциональных: поэтапная системная интеграция ИИ в образовательный процесс требует значительных финансовых вложений в техническое оборудование, лицензии на ПО и повышения квалификации преподавательского состава;
- кадровых проблем: существует дефицит преподавателей, владеющих одновременно архитектурными компетенциями и знаниями в области ИИ;
- технологических рисков: развитие ИИ-технологий создает проблему быстрого устаревания образовательного контента из-за потери актуальности программ;
- культурных рисков: может возникать сопротивление изменениям со стороны как преподавателей, так и студентов, предпочитающих классические методы обучения;
- этических дилемм: традиционные критерии оценки архитектурных проектов не учитывают

специфику работы с ИИ-инструментами, что может привести к неравенству в оценке студенческих работ.

В конечном счете успешная интеграция ИИ в архитектурное образование возможна лишь при условии его рассмотрения не как самоцели, а как элемента более широкой системы, направленной на формирование архитектора нового поколения, способного отвечать на вызовы современности, сохраняя при этом гуманистические ценности и ответственность за формирование окружающей среды.



Вклад авторов. Костко О. Ю.: научное руководство, разработка общей концепции и методологии исследования, формулировка философско-методологического раздела, разработка и предложение основных положений. Минулин И. Г.: представление эмпирических данных и опыта практического применения ИИ в архитектурном проектировании и образовательном процессе. Туранская К. А.: разработка структуры исследования, сбор и анализ литературы, визуализация данных, общее редактирование текста, описание практического кейса на основе личного опыта участия в учебном проекте с применением ИИ.

Author contributions. Oksana Yu. Kostko: scientific supervision, development of the general concept and research methodology, formulation of the philosophical and methodological section, development and proposal of main provisions. Ilfat G. Minulin: presentation of empirical data and practical experience in applying AI to architectural design and the educational process. Karolina A. Turanskaya: development of the research structure, literature review and analysis, data visualization, general text editing, description of a practical case study based on personal experience in an AI-integrated educational project.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests. The authors declare no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Мангейм К. *Диагноз нашего времени*. Москва: Юрист; 1994. 700 с. ISBN 5-7357-0046-4.
2. Назаретян А. П. Человек для биосферы? *Человек*. 1997;(2).
3. Флах П. *Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных*. Москва: ДМК Пресс, 2015. 400 с. ISBN 978-5-97060-273-7.
4. Lere H. M., Bilkisu H. AI-driven architectural design: opportunities and ethical challenges. *ARC International Journal of Sustainable Development*. 2025;14(2):97–110. URL: <https://arcnjournals.com/wp-content/uploads/2025/05/2726-4-573-1-1430-1.pdf>
5. Ko J., Ajibefun J., Yan W. Experiments on generative AI-powered parametric modeling and BIM for architectural design. *ArXiv*. 2023;2308.00227. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.00227>
6. Sourek M. Artificial intelligence in architecture and built environment development 2024: a critical review and outlook. *Remspace*. 2024. <https://www.wemakespaces.archi/uploads/Artificial-Intelligence-in-Architecture-and-Built-Environment-Development.pdf>
7. Anwar M. R., Sakti L. D. Integrating artificial intelligence and environmental science for sustainable urban planning. *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*. 2024;5(2):179–191. <https://doi.org/10.34306/itsdi.v5i2.666>
8. Calixto V., Canuto R., Noronha M., Afrooz A., Gu N., Celani G. A layered approach for the data-driven design of smart cities. In: *Projections: Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2021), Hong Kong, 29 March – 1 April 2021. Vol. 2*. Hong Kong: The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA); 2021. P. 739–748. URL: <https://research.monash.edu/en/publications/a-layered-approach-for-the-data-driven-design-of-smart-cities>
9. Zhu Shuyan, Mac Henlong, Xiang Ke. Research on the architectural generative design practices driven by optimization algorithms. *Journal of South Architecture*. 2024;1(3):14–25. URL: <https://doi.org/10.33142/jsa.v1i3.13922>

10. Cheng-Lin Chuang, Sheng-Fen Chien. Facilitating architect-client communication in the pre-design phase. In: *Projections: Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2021), Hong Kong, 29 March – 1 April 2021. Vol. 2.* Hong Kong: The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA); 2021. P. 71–80. URL: https://caadria2021.org/wp-content/uploads/2021/03/caadria2021_415.pdf
11. Park J. H., Niu W., Cheng L., Allen H. Fostering creativity and critical thinking in college: a cross-cultural investigation. *Frontiers in Psychology*. 2021;12:760351. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.760351>
12. Choulwoong Kwon, Yonghan Ahn. Critical views on AI (Artificial Intelligence) in building design. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. 2024;15(2):240–246. <https://doi.org/10.22712/susb.20240017>
13. Hedges K. E. Artificial Intelligence (AI) art generators in the architectural design curricula. In: *2023 ASEE Annual Conference & Exposition, June 25–28, 2023.* ASEE, 2023. URL: <https://peer.asee.org/artificial-intelligence-ai-art-generators-in-the-architectural-design-curricula.pdf>
14. Alshahrani A., Mostafa A. M. Enhancing the use of artificial intelligence in architectural education – case study Saudi Arabia. *Frontiers in Built Environment*. 2025;11:1610709. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1610709>
15. Yu Ch., Zheng P., Peng T., Xu X., Vos S., Ren X. Design meets AI: challenges and opportunities. *Journal of Engineering Design*. 2025;36(5–6):637–641. <https://doi.org/10.1080/09544828.2025.2484085>
16. Тимофеев А. В. Сущность и проблемы искусственного интеллекта в контексте современных научных и философских представлений. *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Философские науки*. 2020;(2):127–133. URL: <https://www.elibrary.ru/oqmksa>
17. Moleta T. Traversing unknown territories: notes on researching the learners' experience of real-time virtual engines in the architectural design studio. In: *Projections: Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2021), Hong Kong, 29 March – 1 April 2021. Vol. 2.* Hong Kong: The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA); 2021. P. 55–60. URL: https://caadria2021.org/wp-content/uploads/2021/03/caadria2021_290.pdf
18. Chih-Wen Lan. Adapting architectural design education for the AI era: preliminary findings and future directions. In: *END 2023 International Conference on Education and New Developments*. Lisbon; 2023. P. 380–384. <https://doi.org/10.36315/2023v1end080>
19. Jin Sh., Tu H., Li J., Fang Yu., Qu Zh. Xu F., et al. Enhancing architectural education through artificial intelligence: a case study of an AI-assisted architectural programming and design course. *Buildings*. 2024;14(6):1613. <https://doi.org/10.3390/buildings14061613>
20. Cudzik J., Nyka L., Szczepański J. Artificial intelligence in architectural education – green campus development research. *Global Journal of Engineering Education*. 2024;26(1):20–25. URL: https://www.researchgate.net/publication/378149030_Artificial_intelligence_in_architectural_education_-_green_campus_development_research
21. Карпов С. В. Философия архитектуры как этико-эстетическое основание архитектурной практики. *Гуманитарные ведомости ТГПУ им. Л. Н. Толстого*. 2021;(2):77–83. URL: <https://www.elibrary.ru/cofjbo>
22. Салех М. С. Внедрение цифровых методов на различных этапах архитектурного проектирования. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021;1(54):268–278. <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2021-1-268-278>
23. Chaillou S. *AI + Architecture Towards a New Approach: Master's thesis*. Harvard University; 2019. URL: https://www.academia.edu/39599650/AI_Architecture_Towards_a_New_Approach
24. Власова Е. Л., Власова М. Л., Боровикова Н. В., Карелин Д. В. Искусственный интеллект в архитектурно-градостроительном проектировании. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2023;(4):311–324. <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2023-4-311-324>

References

1. Mannheim K. *Diagnosis of our time*. Moscow: Yurist; 1994. (In Russ.) ISBN 5-7357-0046-4.
2. Nazaretyan A. P. Is man for the biosphere? *Chelovek*. 1997;(2). (In Russ.)
3. Flach P. *Machine learning. The art and science of algorithms that make sense of data*. Cambridge: Cambridge University Press; 2012. 416 p. URL: https://thepearlie.com/wp-content/uploads/2023/11/Machine-Learning-The-Art-and-Science-of-Algorithms-that-Make-Sense-of-Data-by-Peter-Flach-z-lib.org_.pdf

4. Lere H. M., Bilkisu H. AI-driven architectural design: opportunities and ethical challenges. *ARCN International Journal of Sustainable Development*. 2025;14(2):97–110. URL: <https://arcnjournals.com/wp-content/uploads/2025/05/2726-4-573-1-1430-1.pdf>
5. Ko J., Ajibefun J., Yan W. Experiments on generative AI-powered parametric modeling and BIM for architectural design. *ArXiv*. 2023;2308.00227. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.00227>
6. Sourek M. Artificial intelligence in architecture and built environment development 2024: a critical review and outlook. *Remspace*. 2024. <https://www.wemakespaces.archi/uploads/Artificial-Intelligence-in-Architecture-and-Built-Environment-Development.pdf>
7. Anwar M. R., Sakti L. D. Integrating artificial intelligence and environmental science for sustainable urban planning. *IATC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*. 2024;5(2):179–191. <https://doi.org/10.34306/itsdi.v5i2.666>
8. Calixto V., Canuto R., Noronha M., Afrooz A., Gu N., Celani G. A layered approach for the data-driven design of smart cities. In: *Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia: Projections, CAADRIA 2021, Hong Kong, 29 March – 1 April 2021*. Vol. 2. Hong Kong: The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA); 2021. P. 739–748. URL: <https://research.monash.edu/en/publications/a-layered-approach-for-the-data-driven-design-of-smart-cities>
9. Zhu Shuyan, Mac Henlong, Xiang Ke. Research on the architectural generative design practices driven by optimization algorithms. *Journal of South Architecture*. 2024;1(3):14–25. URL: <https://doi.org/10.33142/jsa.v1i3.13922>
10. Cheng-Lin Chuang, Sheng-Fen Chien. Facilitating architect-client communication in the pre-design phase. In: *Projections: Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2021), Hong Kong, 29 March – 1 April 2021*. Vol. 2. Hong Kong: The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA); 2021. P. 71–80. URL: https://caadria2021.org/wp-content/uploads/2021/03/caadria2021_415.pdf
11. Park J. H., Niu W., Cheng L., Allen H. Fostering creativity and critical thinking in college: a cross-cultural investigation. *Frontiers in Psychology*. 2021;12:760351. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.760351>
12. Choulwoong Kwon, Yonghan Ahn. Critical views on AI (Artificial Intelligence) in building design. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. 2024;15(2):240–246. <https://doi.org/10.22712/susb.20240017>
13. Hedges K. E. Artificial Intelligence (AI) art generators in the architectural design curricula. In: *2023 ASEE Annual Conference & Exposition, June 25–28, 2023*. ASEE, 2023. URL: <https://peer.asee.org/artificial-intelligence-ai-art-generators-in-the-architectural-design-curricula.pdf>
14. Alshahrani A., Mostafa A. M. Enhancing the use of artificial intelligence in architectural education – case study Saudi Arabia. *Frontiers in Built Environment*. 2025;11:1610709. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2025.1610709>
15. Yu Ch., Zheng P., Peng T., Xu X., Vos S., Ren X. Design meets AI: challenges and opportunities. *Journal of Engineering Design*. 2025;36(5–6):637–641. <https://doi.org/10.1080/09544828.2025.2484085>
16. Timofeev A. V. The essence and problems of artificial intelligence in the context of modern scientific and philosophical conceptions. *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Philosophy*. 2020;(2):127–133. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/oqmksa>
17. Moleta T. Traversing unknown territories: notes on researching the learners' experience of real-time virtual engines in the architectural design studio. In: *Projections: Proceedings of the 26th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2021), Hong Kong, 29 March – 1 April 2021*. Vol. 2. Hong Kong: The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA); 2021. P. 55–60. URL: https://caadria2021.org/wp-content/uploads/2021/03/caadria2021_290.pdf
18. Chih-Wen Lan. Adapting architectural design education for the AI era: preliminary findings and future directions. In: *END 2023 International Conference on Education and New Developments*. Lisbon; 2023. P. 380–384. <https://doi.org/10.36315/2023v1end080>
19. Jin Sh., Tu H., Li J., Fang Yu., Qu Zh. Xu F., et al. Enhancing architectural education through artificial intelligence: a case study of an AI-assisted architectural programming and design course. *Buildings*. 2024;14(6):1613. <https://doi.org/10.3390/buildings14061613>
20. Cudzik J., Nyka L., Szczepański J. Artificial intelligence in architectural education – green campus development research. *Global Journal of Engineering Education*. 2024;26(1):20–25. URL: https://www.researchgate.net/publication/378149030_Artificial_intelligence_in_architectural_education_-_green_campus_development_research

21. Karpov S. V. Philosophy of architecture as an ethical and aesthetic foundation of architectural practice. *Gumanitarny`e vedomosti TGPU im. L. N. Tolstogo*. 2021;(2):77–83. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/cofjbo>
22. Saleh M. S. Implementation of digital methods at different stages of architectural design. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2021;1(54):268–278. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2021-1-268-278>
23. Chaillou S. *AI + Architecture Towards a New Approach: Master's thesis*. Harvard University; 2019. URL: https://www.academia.edu/39599650/AI_Architecture_Towards_a_New_Approach
24. Vlasova E. L., Vlasova M. L., Borovikova N. V., Karelin D. V. Artificial intelligence in architectural and urban design. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2023;(4):311–324. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2023-4-311-324>



Информация об авторах

Костко Оксана Юрьевна, доцент кафедры дизайна архитектурной среды, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, oksandra-muz@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5203-7926>

Минулин Илфат Гумарович, доцент кафедры дизайна архитектурной среды, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, aigist@yandex.ru

Туранская Каролина Андреевна, выпускница кафедры дизайна архитектурной среды, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, turanskaya02@inbox.ru

Information about the authors

Oksana Yu. Kostko, Associate Professor in the Department of Architectural Environment Design, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, oksandra-muz@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5203-7926>

Ilfat G. Minulin, Associate Professor in the Department of Architectural Environment Design, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, aigist@yandex.ru

Karolina A. Turanskaya, Graduate of the Department of Architectural Environment Design, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, turanskaya02@inbox.ru

Получена 18 августа 2025 г., одобрена 23 сентября 2025 г., принята к публикации 25 сентября 2025 г.
Received 18 August 2025, Approved 23 September 2025, Accepted for publication 25 September 2025

Научная статья / Original research article

УДК 691.5

DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-26-33>EDN: <https://elibrary.ru/fkiaxs>2.1.5 Строительные материалы
и изделия (технические науки)

Влияние известковоперлитовых штукатурных покрытий на влажностный режим ограждающих конструкций

В. И. Логанина ✉, А. Д. Рыжов

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Пенза, ул. Германа Титова, 28, 440028, Российская Федерация

✉ loganin@mail.ru

Аннотация. Исследовано влияние штукатурного слоя на основе разработанной сухой смеси с использованием синтезированных алюмосиликатов на тепловое и влажностное состояние ограждающих конструкций при различных условиях эксплуатации в городах Новосибирске и Пензе. При проведении расчетов были проанализированы два варианта отделочных работ: первый предполагал использование известково-песчаного раствора с плотностью $1\,600\text{ кг/м}^3$ для отделки как внутренних, так и наружных поверхностей, второй предусматривал применение такого же раствора для внутренней отделки, для наружной использовалась штукатурная смесь с плотностью 700 кг/м^3 на основе разработанной рецептуры. Полученные результаты позволили говорить об эффективности применения разработанной теплоизоляционной штукатурки в климатических условиях обоих городов: было обеспечено более быстрое высыхание конструкции по сравнению с цементно-песчаными растворами, наблюдалось смещение на $1.6\text{--}3\text{ мм}$ нулевой изотермы в область более низких температур. Применение штукатурки на основе разработанной рецептуры также позволило уменьшить количество выпадающего конденсата в стеновой конструкции в климатических условиях Новосибирска в 19.4 раза, Пензы – практически полностью; значение влажности материала в 4.7 (для Новосибирска) и в 3.2 раза (для Пензы) ниже по сравнению с известково-песчаными аналогами. Это свидетельствует о повышении теплоизоляционных свойств наружной ограждающей конструкции.

Ключевые слова: известковый состав, теплоизоляционная штукатурка, паропроницаемость, тепло-влажностный режим конструкции, нулевая изотерма, количество конденсата

Для цитирования: Логанина В. И., Рыжов А. Д. Влияние известковоперлитовых штукатурных покрытий на влажностный режим ограждающих конструкций. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(3):26–33. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-26-33> EDN: FKIAXS

The influence of lime-perlite plaster coatings on the moisture regime of building envelopes

Valentina I. Loganina ✉, Anton D. Ryzhov

Penza State University of Architecture and Construction

Penza, 28 German Titov St., 440028, Russian Federation

✉ loganin@mail.ru

Abstract. This study investigates the influence of plaster coating based on a developed dry mix containing synthesized aluminosilicates on the thermal and moisture regime of building envelopes under various operating conditions in the cities of Novosibirsk and Penza. Two finishing options were analyzed during the calculations:

the first used a lime-sand mortar with a density of 1.600 kg/m^3 for finishing both interior and exterior surfaces, while the second used the same mortar for the interior finishing but employed a plaster mix with a density of 700 kg/m^3 based on the developed formulation for the exterior. The results obtained suggested that the developed thermal insulation plaster was effective in the climatic conditions of both cities. It ensured faster drying of the wall structure compared to cement-sand mortars, and a 1.6–3 mm shift of the zero isotherm towards lower temperatures was observed. Furthermore, using the plaster based on the developed formulation reduced the amount of condensation within the wall structure by a factor of 19.4 in Novosibirsk and almost completely eliminated it in Penza. The moisture content of the material was 4.7 times lower in Novosibirsk and 3.2 times lower in Penza compared to lime-sand analogues. This indicates an increase in the thermal insulation properties of the external building envelope.

Keywords: lime composition, thermal insulation plaster, vapor permeability, thermal humidity regime of the structure, zero isotherm, amount of condensate

For citation: Loganina V. I., Ryzhov A. D. The influence of lime-perlite plaster coatings on the moisture regime of building envelopes. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(3):26–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-26-33>



1. Введение / Introduction

Известковые составы традиционно используются для отделки фасадов зданий, особенно при реставрации исторических построек [1–3]. Однако известковая штукатурка обладает сравнительно низкой устойчивостью к неблагоприятным внешним воздействиям, таким как перепады температур, атмосферные осадки и циклы замораживания-оттаивания [4–6]. Для повышения долговечности и прочности известковых покрытий в их состав добавляют различные модифицирующие добавки, целью которых является улучшение водостойкости, морозостойкости и механической прочности [7–10].

Наиболее распространенными дефектами покрытий являются отслоение от основания или образование сети мелких трещин, напоминающих паутину. Одна из главных причин таких повреждений – конденсация влаги на границе между стеной здания и штукатурным слоем [11–13]. Влага, проникающая в поры материала, при замерзании увеличивается в объеме, создавая значительное внутреннее напряжение, которое в конечном итоге приводит к разрушению штукатурки [14–17].

Для повышения эксплуатационной стойкости известковых покрытий к воздействию внешней среды предложено вводить в рецептуру добавку на основе аморфных алюмосиликатов. Нами разработана технология, заключающаяся в смешении микроскопического порошка алюминия с жидким натриевым стеклом [18–20]. Смешивание происходит при температуре от 60 до 90 °C и длится от полчаса до двух часов. Полученную смесь затем высушивают при температуре 100 °C.

Основным компонентом добавки является оксид алюминия, его содержание составляет 51.03 %. Добавка состоит из частиц разного размера: небольшая часть (2.48 %) имеет размер от 0.010 до 2.0 мкм, а очень малая доля (0.07 %) – от 200.000 до 300.000 мкм. Средняя плотность добавки равна 550 kg/m^3 . Согласно данным проведенных исследований, содержание добавки в известковом растворе составляет 10 % от массы извести. Прочность на сжатие известкового раствора после 28 суток воздушного сухого твердения составляет 2.21–2.86 МПа.

Для повышения теплозащитных свойств покрытий на основе разрабатываемого состава предложено вводить в рецептуру перлитовый песок. Разработанный состав сухой строительной смеси характеризуется быстрыми сроками схватывания, высокой водоудерживающей способностью. Покрытия на основе разработанного состава обладают способностью к самоочищению за счет введения фотокатализатора, иммобилизованного на модифицирующей добавке, имеют низкие значения остаточных деформаций. Марка по морозостойкости составляет F35, коэффициент паропроницаемости –

0.18 мг/(м·ч·Па), когезионная прочность – 0.39 МПа, коэффициент теплопроводности – 0.18 Вт/(м²·°С). Сухая строительная смесь предназначена для отделки наружных и внутренних стен зданий.

Целью исследования являлось изучение влияния штукатурного слоя на основе разработанной сухой смеси на тепловое и влажностное состояние ограждающих конструкций при различных условиях эксплуатации. Изучение эффективности использования разработанного состава при различных условиях эксплуатации определяет актуальность данного исследования.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Для оценки влияния штукатурного слоя на основе разработанной сухой смеси на тепловое и влажностное состояние ограждающих конструкций был выполнен теплотехнический расчет стены, конструктивное решение которой приведено на рис. 1.

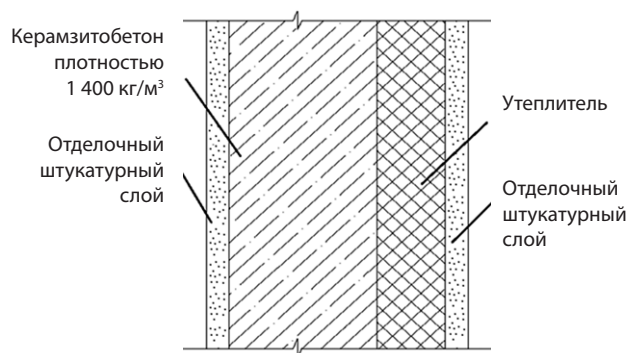


Рис. 1. Расчетная схема наружной стены (рисунок авторов)

Fig. 1. Calculation scheme of the external wall (prepared by the authors)

Расчеты были проведены для климатических условий городов Новосибирска и Пензы. Выбор города Новосибирска обусловлен тем, что он расположен в климатическом подрайоне 1В, для которого характерны достаточно холодные зимы, что позволяет учесть экстремальные погодные условия, влияющие на влажностное состояние наружных ограждающих конструкций, и оценить эффективность предлагаемого штукатурного состава. В том случае, если в результате исследований будет показана высокая эффективность применения разработанного состава в рассматриваемых ограждениях, можно будет сделать вывод, что в более теплом климате (г. Пенза) влажностный режим в стенах будет еще более благоприятным.

При проведении расчетов были проанализированы два варианта отделочных работ. Вариант 1 предполагал использование известково-песчаного раствора с плотностью 1 600 кг/м³ для отделки как внутренних, так и наружных поверхностей. Вариант 2 предусматривал применение того же известково-песчаного раствора (1 600 кг/м³) для внутренней отделки, однако для наружной отделки использовалась штукатурная смесь на основе разработанной рецептуры, характеризующаяся значительно меньшей плотностью – 700 кг/м³. В качестве теплоизоляционного материала в обоих вариантах рассматривались минераловатные плиты. В таблице 1 приведены характеристики данных материалов.

Таблица 1. Характеристика материалов
Table 1. Material properties

Вариант отделки	№ слоя	Материал	δ , м	ρ , кг/м³	λ_{Ar} , Вт/(м·К)	μ , мг/(м·ч·Па)
1	1	Штукатурка известково-песчаная	0.02	1 600	0.81	0.120
	2	Керамзитобетон	0.50/0.40*	1 400	0.44	0.11
	3	Минераловатные плиты	0.018	175	0.052	0.40
	4	Штукатурка известково-песчаная	0.02	1 600	0.81	0.12
2	1	Штукатурка известково-песчаная	0.02	1 600	0.81	0.12
	2	Керамзитобетон	0.50/0.40*	1 400	0.44	0.11
	3	Минераловатные плиты	0.10	175	0.052	0.40
	4	Разработанный состав	0.02	700	0.18	0.18

* Значения для условий Новосибирска / Пензы

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Предварительно был выполнен теплотехнический расчет, в соответствии с которым конструкции наружных стен соответствуют требованиям СП 50.13330.2024¹.

Количество конденсата ΔG , мг/м², отдельно для каждого месяца рассчитывали по формуле:

$$G_{\kappa}^y = \frac{e_s - E_{\kappa}}{\frac{1}{\alpha_s^n} + \sum \frac{\delta_i}{\mu_i}} - \frac{E_{\kappa} - e_n}{\frac{1}{\alpha_n^n} + \sum \frac{\delta_n}{\mu_n}}, \quad (1)$$

где e_s, e_n – действительная упругость водяного пара внутреннего и наружного воздуха, Па;

E_{κ} – максимальная упругость водяного пара в плоскости конденсации, Па;

α_s^n, α_n^n – коэффициент паропроницаемости внутренней и наружной поверхности стены, мг/м·ч·Па;

δ_i, δ_n – толщина слоев, расположенных до и после плоскости конденсации;

μ_i, μ_n – паропроницаемость слоев, расположенных до и после плоскости конденсации, мг/м·ч·Па.

Количество конденсата ΔG за период z , сут, определяли по уравнению:

$$\Delta G = (G_c - G_d)24z, \quad (2)$$

где z – продолжительность периода влагонакопления, сут;

G_c, G_d – количество водяного пара в граммах, прошедшего за один час через 1 м² сечения ограждения до и после зоны конденсации.

При определении теплотехнических характеристик ограждающих конструкций учитывались следующие климатические данные Новосибирска и Пензы, полученные из СП 131.13330.2012²:

- среднемесячная температура января (самого холодного месяца);
- температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0.92.

Расчетные параметры внутреннего воздуха принимались следующими:

- температура 21.0 °С;
- относительная влажность 50 %.

Увеличение влажности стеновой конструкции вследствие выпадения конденсата определяли по формуле:

$$W = \frac{G_{\kappa}}{\rho \cdot \delta} \cdot 100, \quad (3)$$

где ρ – средняя плотность материала увлажненного слоя, кг/м³;

δ – толщина слоя конденсации, м.

Результаты расчетов, полученные по формулам (2), (3), позволили сравнить оба варианта отделки с точки зрения их эффективности в предотвращении образования конденсата и, следовательно, риска возникновения плесени и других проблем, связанных с повышенной влажностью.

¹ СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий = Thermal performance of the buildings: утвержден приказом министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 15 мая 2024 г. № 327/пр: введен в действие 16.06.2024 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1306326592?ysclid=mdehe713a0606632228> (дата обращения: 27.01.2025).

² СП 131.13330.2012. Строительная климатология = Building climatology: Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*: утвержден приказом министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. № 275; введен в действие 01.01.2013 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095546?ysclid=mdehp8m1wu8973832> (дата обращения: 27.01.2025).

В таблице 2 приведены значения расстояния от границы утеплителя до нулевой изотермы в теплоизоляционном слое.

Таблица 2. Расстояние от границы утеплителя до нулевой изотермы
Table 2. Distance from the edge of the insulation layer to the zero-degree isotherm

Вариант отделки	Расстояние до нулевой изотермы, м			
	по данным наиболее холодной пятидневки		по данным среднемесячной температуры в январе	
	для Новосибирска	для Пензы	для Новосибирска	для Пензы
1	0.0051	0.019	0.037	0.058
2	0.0067	0.021	0.039	0.061

Исследования показали, что применение разработанной теплоизоляционной штукатурки для наружной отделки стен обеспечивает более эффективное высыхание конструкции по сравнению с цементно-песчаными растворами. Наблюдается смещение на 1.6–3 мм нулевой изотермы в область более низких температур. В Новосибирске по данным наиболее холодной пятидневки расстояние от границы утеплителя до нулевой изотермы при использовании предлагаемой штукатурки составляет 0.0067 м, в то время как при использовании цементно-песчаного раствора – 0.0051 м. Подобные результаты получены и для климатических условий Пензы. Для условий Пензы смещение нулевой изотермы составляет 2–3 мм.

Результаты расчета количества выпадающего конденсата в стеновой конструкции приведены в таблице 3.

Таблица 3. Количество выпадающего конденсата в стеновой конструкции
Table 3. Amount of condensate accumulation in the wall structure

Вариант отделки	Количество конденсата ΔG , г/м ³		Весовая влажность материала ΔW_i , %	
	для Новосибирска	для Пензы	для Новосибирска	для Пензы
1	102.52	37	16.28	4.44
2	5.28	0.38	3.42	1.36

Анализ результатов расчета показал, что второй вариант отделки обеспечивает снижение конденсации и весовой влажности в ограждающей конструкции. Так, для условий Новосибирска весовая влажность материала составляет 3.42 %, что в 4.7 раз ниже, чем при первом варианте отделки (16.28 %). Снижение весовой влажности положительно влияет на тепловлажное состояние ограждающей конструкции, поскольку избыточная влага в утеплителе снижает его тепловое сопротивление и препятствует диффузии водяного пара из конструкции. Применение разработанного состава способствует смещению зоны конденсации в сторону пониженных температур.

4. Заключение / Conclusions

В ходе проведенного исследования установлено, что применение штукатурки на основе разработанной рецептуры позволяет уменьшить количество выпадающего конденсата в стеновой конструкции в климатических условиях Новосибирска в 19.4 раза, значение влажности материала в 4.7 раза ниже по сравнению с известково-песчаными аналогами. Выявлено смещение нулевой изотермы на 1.6–3 мм в сторону более низких температур. Для климатических условий Пензы смещение нулевой изотермы составляет 2–3 мм, весовая влажность снижается в 3.2 раза. Это свидетельствует о повышении теплоизоляционных свойств наружной ограждающей конструкции и эффективности применения штукатурки на основе разработанного состава.



Вклад авторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Author contributions. All authors made an equal contribution to the preparation of the publication.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Баталин Б. С. Исследования эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей. *Успехи современного естествознания*. 2007;(7):60–62. URL: <https://www.elibrary.ru/ijiyzz>
2. Sarier N., Onder E. Organic modification of montmorillonite with low molecular weight polyethylene glycols and its use in polyurethane nanocomposite foams. *Thermochimica Acta*. 2010;510(1):113–121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2010.07.004>
3. Ventolà L., Vendrell M., Giraldez P., Merino L. Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics. *Construction and Building Materials*. 2011;25(8):3313–3318. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.020>
4. Володченко А. Н., Лесовик В. С. Силикатные автоклавные материалы с использованием нанодисперсного сырья. *Строительные материалы*. 2008;(11):42–44. URL: <https://www.elibrary.ru/jxkgtr>
5. Строкова В. В., Везенцев А. И., Колесников Д. А., Шиманская М. С. Свойства синтетических нанотубулярных гидросиликатов. *Вестник БГТУ им. Шухова*. 2010;(4):30–34. URL: <https://www.elibrary.ru/rmrrwt>
6. Овчаренко Г. И., Свиридов В. Л., Казанцев Л. К. *Цеолиты в строительных материалах*. Барнаул: АлтГТУ; 2000. 320 с. ISBN: 5-7568-0203-7.
7. Кашников А. М., Бродский Ю. А., Файнштейн А. М. Технология приготовления и введения в лакокрасочные системы паст отечественного органобентонита. *Лакокрасочные материалы и их применение*. 2007;(1-2):56–59. URL: <https://elibrary.ru/hyjsxr>
8. Логанина В. И., Макарова Л. В., Тарасов Р. В., Давыдова О. А. Оптимизация состава композитов общестроительного назначения, модифицированных наноразмерными добавками. *Региональная архитектура и строительство*. 2010;(2):53–57. URL: <https://elibrary.ru/mxhssl>
9. Логанина В. И., Петухова Н. А., Горбунов В. Н., Дмитриева Т. Н. Перспективы изготовления органо-минеральной добавки на основе отечественного сырья. *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2009;(9):36–39. URL: <https://izvuzstr.sibstrin.ru/fulltext/>
10. Frias M., Cabrera J. Influence of MK on the reaction kinetics in MK/lime and MK-blended cement systems at 20 °C. *Cement and Concrete Research*. 2001;31(4):519–527. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00465-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00465-8)
11. Логанина В. И., Фролов М. В., Скачков Ю. П. Оценка влияния отделочных покрытий на изменение влажностного режима газобетонной ограждающей конструкции. *Вестник МГСУ*. 2018;13(11):1349–1356. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36588462>
12. Куприянов В. Н., Сафин И. Ш., Шамсутдинов М. Р. Влияние конструкции ограждения на конденсацию парообразной влаги. *Жилищное строительство*. 2012;(6):29–31.
13. Куприянов В. Н. Основные принципы конструирования наружных стен с ограничением конденсации в них парообразной влаги. *Строительство и реконструкция*. 2015;(2):120–126. URL: <https://elibrary.ru/tpzjvf>
14. Ватин В. И., Горшков А. С., Глумов А. В. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков. *Инженерно-строительный журнал*. 2011;(1):28–33. URL: <https://elibrary.ru/psefir>
15. Крайнов Д. В., Садыков Р. А. Влияние влагосодержания на теплозащитные свойства ограждающей конструкции из ячеистого бетона. *Вестник МГСУ*. 2011;(3-1):404–410. URL: <https://elibrary.ru/ovyouv>
16. Луговой А. Н. Повышение энергоэффективности ограждающих конструкций. *Строительные материалы*. 2011;(3):32–33.
17. Корниенко С. В., Ватин Н. И., Петриченко М. Р., Горшков А. С. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015;(6):19–33. URL: <https://elibrary.ru/uqfydb>
18. Loganina V., Zhegera K., Fediuk R., Timokhin R., Liseitsev Y., Zayakhanov M. Amorphous aluminosilicates as a structure-forming additive in cementitious systems. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2020;32(5):06020004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002995](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002995)

19. Loganina V. I., Skachkov Y. P., Ryzhov A. D. Additive based on aluminosilicates for lime dry mortar mixes. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;441:012028. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/441/1/012028>
20. Munoz J. F., Silva J. M. S., Perry L., Youtcheff J., Sobolev K. Interaction of amorphous nano-aluminosilicates with cement pore solution and the effect on the early hydration reaction of portland cement. In: *Sobolev K., Shah S. (eds.) Nanotechnology in Construction*. Springer, Cham; 2015. P. 161–166. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17088-6_19

References

1. Batalin B. S. A Study of the Effectiveness of Additives Used in the Production of Dry-Mix Mortar. *Advances in Current Natural Sciences*. 2007;(7):60–62. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/ijjyzz>
2. Sarier N., Onder E. Organic modification of montmorillonite with low molecular weight polyethylene glycols and its use in polyurethane nanocomposite foams. *Thermochimica Acta*. 2010;510(1):113–121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2010.07.004>
3. Ventola L., Vendrell M., Giraldez P., Merino L. Traditional organic additives improve lime mortars: New old materials for restoration and building natural stone fabrics. *Construction and Building Materials*. 2011;25(8):3313–3318. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.03.020>
4. Volodchenko A. N., Lesovik V. S. Autoclaved silicate materials using nanodispersed raw materials. *Construction materials*. 2008;(11):42–44. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/jxkgtr>
5. Strokova V. V., Vezentsev A. I., Kolesnikov D. A., Shimanskaya M. S. Properties of Synthetic Nanotubular Hydrosilicates. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2010;(4):30–34. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/rmrrwt>
6. Ovcharenko G. I., Sviridov V. L., Kazantsev L. K. *Zeolites in construction materials*. Barnaul: AltSTU, 2000. (In Russ.) ISBN: 5-7568-0203-7.
7. Kashnikov A. M., Brodsky Yu. A., Fainshtein A. M. The procedures to prepare suspensions of domestically available organo-bentonite and to introduce them into paints. *Russian Coatings Journal*. 2007;(1-2):56–59. URL: <https://elibrary.ru/hyxxjr>
8. Loganina V. I., Makarova L. V., Tarasov R. V., Davydova O. A. Optimization of general purpose composites structure, modified by nano-dimensional additives. *Regional architecture and engineering*. 2010;(2):53–57. URL: <https://elibrary.ru/mxhssl>
9. Loganina V. I., Petukhova N. A., Gorbunov V. N., Dmitrieva T. N. Prospects of making organic mineral addition on basis of domestic raw material. News of higher educational institutions. *Construction*. 2009;(9):36–39. (In Russ.) URL: <https://izvuzstr.sibstrin.ru/fulltext/>
10. Frias M., Cabrera J. Influence of MK on the reaction kinetics in MK/lime and MK-blended cement systems at 20 °C. *Cement and Concrete Research*. 2001;31(4):519–527. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00465-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00465-8)
11. Loganina V. I., Frolov M. V., Skachkov Yu. P. Evaluation of the influence of finishing coatings on the change of the moisture regime of the gas-concrete fencing construction. *Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*. 2018;13(11):1349–1356. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36588462>
12. Kupriyanov V. N., Safin I. Sh., Shamsutdinov M. R. The influence of enclosure design on condensation of water vapor. *Housing construction*. 2012;(6):29–31. (In Russ.)
13. Kupriyanov V. N. General principles for design of external walls with limited condensation of moisture vapor in them. *Building and Reconstruction*. 2015;(2):120–126. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/tpzjvf>
14. Vatin V. I., Gorshkov A. S., Glumov A. V. The influence of the physico-technical and geometric characteristics of plaster coatings on the moisture regime of homogeneous autoclaved aerated concrete block walls. *Magazine of Civil Engineering*. 2011;(1):28–33. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/pcefip>
15. Krajnov D. V., Sadykov R. A. Moisture content influence on heat-reflecting properties of a building envelope from porous concrete. *Vestnik MGSU*. 2011;(3-1):404–410. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/ovyouv>
16. Lugovoy A. N. Improving the energy efficiency of building envelopes. *Construction materials*. 2011;(3):32–33. (In Russ.)
17. Korniyenko S. V., Vatin, N. I., Petritchenko M. R., Gorshkov A. S. Evaluation of hygrothermal performance of multilayered wall design in annual cycle. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015;(6):19–33. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/uqfydb>

18. Loganina V., Zhegera K., Fediuk R., Timokhin R., Liseitsev Y., Zayakhanov M. Amorphous aluminosilicates as a structure-forming additive in cementitious systems. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2020;32(5):06020004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002995](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002995)
19. Loganina V. I., Skachkov Y. P., Ryzhov A. D. Additive based on aluminosilicates for lime dry mortar mixes. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;441:012028. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/441/1/012028>
20. Munoz J. F., Silva J. M. S., Perry L., Youtcheff J., Sobolev K. Interaction of amorphous nano-aluminosilicates with cement pore solution and the effect on the early hydration reaction of portland cement. In: *Sobolev K., Shah S. (eds.) Nanotechnology in Construction*. Springer, Cham; 2015. P. 161–166. https://doi.org/10.1007/978-3-319-17088-6_19



Информация об авторах

Логанина Валентина Ивановна, д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой управления качеством, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Российская Федерация, loganin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7532-0074>

Рыжов Антон Дмитриевич, старший преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Российская Федерация, penza48@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4861-7352>

Information about the authors

Valentina I. Loganina, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Quality Management, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation, loganin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7532-0074>

Anton D. Ryzhov, Senior Lecturer in the Department of Information and Computing Systems, Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation, penza48@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4861-7352>

Получена 21 марта 2025 г., одобрена 24 мая 2025 г., принята к публикации 23 июля 2025 г.

Received 21 March 2025, Approved 24 May 2025, Accepted for publication 23 July 2025

Научная статья / Original research article
УДК 528.4 : 699.8
DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-34-54>
EDN: <https://elibrary.ru/fviuwa>

2.1.2 Основания и фундаменты,
подземные сооружения (технические науки)



Анализ нормативно-технической документации производства геотехнического мониторинга оползневых процессов

У. Р. Сидаравичуте ✉, С. И. Маций
Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина
Краснодар, ул. Калинина, 13, 350044, Российская Федерация

✉ dd600902@gmail.com

■ **Аннотация.** В работе проведен индуктивный анализ действующей нормативно-технической документации, регламентирующей производство геотехнического мониторинга. На его основе определены основные разногласия и неточности и предложены меры по их устранению. В ходе исследования проанализированы 26 действующих нормативных документов по 32 критериям. Первоначально определялось, включены ли документы в Перечень национальных стандартов и сводов правил, что непосредственно влияет на обязательность исполнения требований документа. Документы, не имеющие конкретных требований к производству работ или имеющие четко ограниченный ареал применения, были исключены из дальнейшего анализа. Последующий анализ произведен по таким критериям, как сроки и цикличность производства работ; расположение исходных и съемочных точек, их количество; точность определения положения точек; особые указания при работе на оползнях и др. В результате между нормативно-техническими документами, регламентирующими производство мониторинговых работ на оползневых участках, выявлены значительные разногласия в требованиях к срокам и цикличности производства работ (варьируются от 1 дня до полугода). Также нет достоверного перечня контролируемых параметров, который был бы идентичен для нескольких документов. В качестве направлений дальнейших исследований определены: разработка системы зависимостей предельных значений контролируемых параметров; стандартизация оптимального количества точек в зависимости от масштаба оползневых явлений и топографических условий производства работ.

Ключевые слова: геотехнический мониторинг, нормативно-техническая документация, индуктивный анализ, оползни, оползнеопасные территории, мониторинг оползневых процессов

Для цитирования: Сидаравичуте У. Р., Маций С. И. Анализ нормативно-технической документации производства геотехнического мониторинга оползневых процессов. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(3):34–54. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-34-54> EDN: FVIUWA

Analysis of normative and technical documentation for geotechnical monitoring of landslide processes

Ulyana R. Sidaravichute ✉, Sergey I. Matsiy
Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin
Krasnodar, 13 Kalinina St., 350044, Russian Federation

✉ dd600902@gmail.com

■ **Abstract.** This study provides an inductive analysis of current normative and technical documentation for geotechnical monitoring. Based on it, the main disagreements and inaccuracies were identified and

measures to eliminate them were proposed. During the study, 26 current normative documents were analyzed through 32 criteria. Initially, it was determined whether these documents were included in the List of National Standards and Codes of Practice, which directly affects the obligation to comply with the document requirements. Documents without concrete requirements to monitoring or with limited range of application were excluded from further analysis. The subsequent analysis was carried out according to criteria such as the timing and cyclicity of work; the location of the source and survey points, and their quantity; the accuracy of determining the position of the points; special instructions when working on landslides, etc. As a result, significant differences have been identified among normative and technical documents governing geotechnical monitoring of landslide processes, specifically in their requirements for the timing and cyclicity of work (they range from 1 day to six months). Furthermore, there is no reliable list of controlled parameters that would be identical for several documents. The following research areas have been identified: developing a system of dependencies of the limit values for controlled parameters; standardizing the optimal number of points depending on the scale of landslide phenomena and topographic conditions of work.

Keywords: geotechnical monitoring, normative and technical documentation, inductive analysis, landslides, landslide-prone areas, monitoring of landslide processes

For citation: Sidaravichute U. R., Matsiy S. I. Analysis of normative and technical documentation for geotechnical monitoring of landslide processes. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(3):34–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-34-54>



1. Введение / Introduction

Современный мониторинг деформаций оползней предъявляет строгие требования к сметной стоимости и высокому уровню надежности для обеспечения широкой сферы применения и точного раннего оповещения об оползневой опасности. К примеру, в Китае, где расположены протяженные территории пересеченной местности и оползневые процессы наносят большой вред, мониторинг опасных геологических процессов ведется путем контроля деформаций и осадков на поверхности, что, однако, является недостаточным для выявления оползней [1]. В работе [1] говорится о необходимости стандартизации существующих исследований с целью определения рациональных путей развития отрасли. Согласно нормативной документации, а именно GB/T 38509-2020¹, периодичность строительного мониторинга следует определять с учетом таких факторов, как скорость оползневых деформаций, устойчивость склона, количество осадков, наличие и амплитуда колебаний уровня грунтовых вод.

В истории США зафиксировано несколько катастрофических оползневых бедствий. Оползень Мамейес (Mameyes) сошел в течение часа тремя отдельными фазами (Пуэрто-Рико, 1985 г.). Первые две фазы – скольжение двух двенадцатиметровых плит известково-песчаниковой коренной породы, а третья фаза – опрокидывание блока с последующим распадом, сопровождавшимся камнепадом. Максимальная ширина тела оползня составила 0.25 км, площадь – 3.5 км². В результате оползневой активности на большой территории погибли 129 человек [2, 3]. На ликвидацию последствий от схода оползня Маркагунт (Markagunt) было потрачено свыше 400 млн долларов (Тистл, штат Юта, 1983 г.), тело оползня на сегодняшний день составляет более 5 000 км², а длина превышает 95 км [4, 5]. В 2003 г.

¹ GB/T 38509-2020. Code for the design of landslide stabilization: National Standard of the people's Republic of China. URL: <https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/GBT38509-2020> (accessed 18.04.2025).

в США опубликован документ Circular 1244², который кратко излагает потребности страны в исследованиях, мониторинге, картировании и оценке оползневых опасностей на всей территории. Большое значение для страны имеет мониторинг в реальном времени для активных оползней как наиболее эффективный метод контроля [6]. Для достижения достаточного уровня достоверности обработки полевых измерений требуется соблюдение требований документа Assuring Quality in Geotechnical Reporting Documents³, однако большое количество организаций разработали собственные технические документы с требованиями к качеству и количеству видов работ при геотехническом мониторинге (например, к типу и частоте отбора проб).

Согласно СП 116.13330.2012⁴, на территории России только в 18 субъектах не зарегистрированы проявления оползней. По данным Гидроспецгеологии, по состоянию на II квартал 2025 г. на территории России были зафиксированы 655 случаев активизации опасных экзогенных геологических процессов, преимущественно оползневых, максимальное количество – 137 – зафиксировано в Приволжском федеральном округе⁵. От общего числа зафиксированных экзогенных геологических



Рис. 1. Оползневая активизация с разрушением дорожного полотна отрезка автодороги 03К-453 у северной окраины с. Измайловка (фото ЮРЦ ГМСН «Гидроспецгеология»)

Fig. 1. Landslide activity leading to the destruction of the road pavement on the highway segment 03K-453, located near the northern border of Izmaylovka settlement (photo by Southern Regional Center for State Monitoring of Subsoil Conditions "Gidrospetsgeologiya")

процессов оползневые составляют 49 %. А наибольшее количество случаев негативного воздействия на объекты антропогенного происхождения зафиксировано в Северо-Кавказском федеральном округе – 26 % от общего количества таких воздействий – 266.

Например, в Хостинском районе на низовом откосе автомобильной дороги 03К-453 отмечена повторная активизация оползневого процесса (первичная – декабрь 2024 г.). Оползень блоково-консистентный, площадь активизации 29.6 тыс. м² (длина 300 м, ширина 100 м). Оползневый процесс развит по бортам руслового вреза, высота стенки срыва в головной части – около 3 м, наблюдается высачивание грунтовых вод. Фактор активизации: атмосферные осадки, эксплуатация автодороги. Активизация оказала негативное воздействие на автодорогу 03К-453, полностью разрушено 15 м дорожного полотна (рис. 1).

² U.S. Geological Survey Circular 1244. National Landslide Hazards Mitigation Strategy – A Framework for Loss Reduction. URL: <https://pubs.usgs.gov/circ/c1244/c1244.pdf> (accessed 18.04.2025).

³ Assuring Quality in Geotechnical Reporting Documents: FHWA-HIF-17-016. U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration, 2016. URL: <https://vulcanhammer.net/wp-content/uploads/2018/03/hif17016.pdf> (accessed 12.03.2025).

⁴ СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения = Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. Basic principles: Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095540?ysclid=melcjk506q378111675> (дата обращения: 02.03.2025).

⁵ Информационная сводка о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации. 2 квартал 2025 г. URL: https://geomonitoring.ru/download/EGP/svodka/%D0%A4%D0%9E/2025_II_CFO.pdf?ysclid=meqnatmg8u524904416 (дата обращения: 07.07.2025).

В нашей стране производство геотехнического мониторинга для целей строительства (сопровождение, контроль деформаций уникальных зданий и др.) регламентирует большое количество нормативно-технической документации, применение которой зависит от условий производства работ. Для производства работ на объектах повышенной ответственности необходимо применение СТО. Например, для работы на атомных станциях разработали СТО СРО-Г 60542954 00007-2023⁶.

Согласно ОДМ 218.4.022-2015⁷, принята следующая классификация геотехнического мониторинга по видам наблюдений: визуальные, геодезические, гидрогеологические, геофизические, тензометрические, виброметрические. В соответствии с СП 22.13330.2016⁸ и СП 305.1325800.2017⁹, выделяют только 5 категорий: визуальные, геодезические, гидрогеологические, геофизические, виброметрические. Согласно СП 412.1325800.2018¹⁰, выделяют 5 категорий: визуально-инструментальные, геодезические, параметрические, виброметрические, геофизические.

На отечественных электронных ресурсах (eLibrary, КиберЛенинка, библиотеки высших учебных заведений) представлено свыше 300 работ в открытом доступе по теме геотехнического мониторинга [7]. В числе научных работ, изучающих существующую систему регулирования производства работ по геотехническому мониторингу, можно назвать исследование В. В. Левшина и М. М. Козелкова [8]. Авторы заключили, что действующая нормативно-техническая документация не позволяет внятно сформулировать виды, объемы работ и требования к подрядным организациям, осуществляющим научно-техническое сопровождение строительства [9, 10]. А. И. Уваров пишет о необходимости регулярного обновления нормативно-технической документации с учетом возможностей современного геодезического оборудования, а также выявляет необоснованность рекомендуемой точности измерений [11]. В работе [12] говорится о необходимости повышения точности измерений за счет использования приборов и датчиков, отвечающих современным техническим требованиям к точности, надежности, долговечности, а также ужесточении требований к контролю результатов геотехнического мониторинга.

Проблема исследования – противоречивость и декларативность требований в действующих нормативно-технических документах. Несовершенство нормативно-технической базы усложняет практическую организацию мониторинговых мероприятий, а недостатки в производстве работ препятствуют накоплению данных для совершенствования стандартов. Для выявления таких противо-

⁶ СТО СРО-Г 60542954 00007-2023. Геодезический мониторинг деформации зданий и сооружений атомных станций. Обработка данных и анализ. URL: <https://informproekt.ru/docs/1304411864/?ysclid=mcugz21y3515648114> (дата обращения: 02.03.2025).

⁷ ОДМ 218.4.022-2015. Рекомендации по проведению геотехнического мониторинга строящихся и эксплуатируемых автоторговых тоннелей. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200125028?ysclid=meqqcgwx1i861014668> (дата обращения: 02.03.2025).

⁸ СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений = Soil bases and structures. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054206?ysclid=meqswv60hs606730040> (дата обращения: 15.03.2025).

⁹ СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве = Buildings and structures. The rules of geotechnical monitoring under construction. URL: <https://docs.cntd.ru/document/556330134?ysclid=meqt0a0nym344795755> (дата обращения: 15.03.2025).

¹⁰ СП 412.1325800.2018. Конструкции фундаментов высотных зданий и сооружений. Правила производства работ = Design of foundations of high-rise buildings and structures. Work rules. URL: <https://docs.cntd.ru/document/554403224?ysclid=mes8r3tqzg225979530> (дата обращения: 02.03.2025).

реций действующие нормативно-технические документы были проанализированы на всех уровнях (рис. 2).

При производстве мониторинговых работ руководствуются нормативно-технической документацией (НТД) различных уровней, начиная с Конституции Российской Федерации и заканчивая методическими указаниями и пособиями (рис. 2) [13, 14].

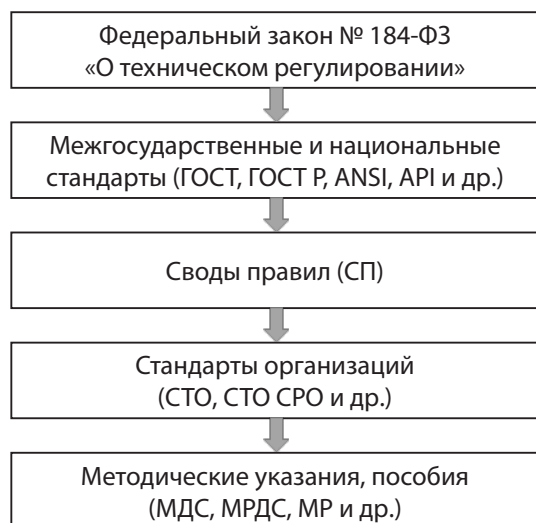


Рис. 2. Иерархия анализируемой документации
(схема составлена авторами)

Fig. 2. Hierarchy of analyzed documentation
(scheme created by the authors)

Проведение геотехнического мониторинга предусмотрено Федеральным законом РФ № 384-ФЗ от 30.12.2009 г.¹¹ (гл. 5, ст. 18 и 36), но не является обязательным, в связи с чем во многих случаях возникают сложности с финансированием мониторинговых мероприятий. Так, непосредственно перемещения в системе XYZ получают в ходе геодезических работ, регулируемых Федеральным законом от 30 декабря 2015 г. № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»¹² [14].

Объектом исследования являются действующие нормативно-технические документы, которые регулируют производство работ по геотехническому мониторингу.

Цель исследования – провести индуктивный анализ действующей нормативно-технической

документации, регламентирующей производство геотехнического мониторинга в условиях оползнеопасности, на его основе определить основные разногласия или неточности и предложить меры по их устранению.

Тенденция освоения земель со сложными инженерно-геологическими условиями в пересеченной местности, например, строительство в Сочи ЖК «Кислород» (застройщик «AVA Group»), ЖК «Сочи Парк» (застройщик ИСК «Еврострой»), а также других проектов, реализующихся на склонах горы Бытха, где неоднократно активировались оползневые процессы, как правило, при затяжных ливневых осадках [15, 16], свидетельствует об актуальности исследования. Производство работ в условиях оползнеопасности рекомендуется проводить с непосредственным включением мониторинговых работ.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Необходимость стандартизации производства работ обусловлена не только требованием обеспечить высокое качество конечного продукта / результата, но и сохранением существующих затрат

¹¹ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями и дополнениями): Федеральный закон РФ № 384-ФЗ от 30.12.2009 г. URL: <https://base.garant.ru/12172032/?ysclid=mcvhsr9ct1830692774> (дата обращения: 12.03.2025).

¹² О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 30 декабря 2015 г. № 431-ФЗ. URL: <https://base.garant.ru/71295988/?ysclid=mcuhce8xf1947312843> (дата обращения: 12.03.2025).

на производство мониторинговых работ [17, 18]. С этой целью в таблице 1 представлены особенности действующей нормативно-технической документации в отношении геотехнического мониторинга без учета зарубежных и недействующих или неопубликованных стандартов; также не включены стандарты организаций (исключение – СТО СРО-Г 60542954 00007-2023) и территориальные стандарты (исключение ТР 182-08¹³).

Таблица 1. Особенности действующей нормативно-технической документации
в отношении геотехнического мониторинга
Table 1. Specifics of current normative and technical documentation for geotechnical monitoring

№ п/п	Норма	Нахождение в Перечне НС и СП*	Особенности
1	Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений (1975 г.) URL: https://gostrf.com/normadata/1/4293826/4293826952.htm?ysclid=mer0zjnv19562028966	отсутствует	Общие требования к производству работ. Требование к составлению программы работ. Методы производства геодезических работ. Обработка результатов. Оборудование для производства работ. Общие требования. Требования к размещению съемочных точек и исходных реперов. Требования к точности производства работ. Съемка нивелиром (1–3 классы). Особенности измерения осадок фундаментов на различных грунтах. Метод стереофотограмметрии. Комбинированный метод. Измерение кренов сооружений. Наблюдения за трещинами. Особенности работы с оползнями
2	ГОСТ 24846-2019. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений = Soils. Measuring methods of strains of structures and building bases URL: https://docs.cntd.ru/document/1200174422?ysclid=mer14g0ixn218759358	отсутствует	Методы измерения горизонтальных перемещений. Погрешность крена. Общие положения определения крена. Общие положения стереофотограмметрического метода. Обработка результатов измерений: общие положения
3	ГОСТ 31937-2024. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния = Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition URL: https://docs.cntd.ru/document/1305691614?ysclid=mer179bts218696842	включен	Общие положения при проведении мониторинговых работ при определении технического состояния зданий, в том числе уникальных
4	ГОСТ 32019-2012. Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений. Правила проектирования и установки стационарных систем (станций) мониторинга = Technical condition monitoring of the unique buildings and constructions Rules of design and installation of permanent systems (stations) of monitoring URL: https://docs.cntd.ru/document/1200100943?ysclid=mer200c4z5503429767	отсутствует	Основные положения при выборе оборудования. Общие положения производства мониторинговых работ

¹³ ТР 182-08. Технические рекомендации по научно-техническому сопровождению и мониторингу строительства большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений. URL: <https://gostrf.com/normadata/1/4293832/4293832621.pdf?ysclid=mcvhw6nf1427141239> (дата обращения: 12.03.2025).

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

№ п/п	Норма	Нахождение в Перечне НС и СП*	Особенности
5	ГОСТ Р 22.1.04-2022. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг аэрокосмический. Номенклатура контролируемых параметров чрезвычайных ситуаций = Safety in emergencies. Aerospace monitoring. Nomenclature controlled parameters of emergencies URL: https://docs.cntd.ru/document/1200184375?ysclid=mer23vmsli178247787	отсутствует	Контролируемые параметры природных и техногенных ЧС (таблицы 1 и 2)
6	ГОСТ Р 22.1.06-2023. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов. Общие требования = Safety in emergencies. Monitoring and forecasting of hazardous geological phenomena and processes. General requirements URL: https://docs.cntd.ru/document/1304365933?ysclid=mer26rpocd975280634	отсутствует	Общие требования к системе мониторинга и прогнозирования опасных геологических процессов и явлений: при землетрясении, вулканических извержениях, оползнях, обвалах, карстах, курумах, суффозиях, просадках, овражных эрозиях, переработках берегов (таблица 1)
7	МДС 13-22.2009. Методика геодезического мониторинга технического состояния высотных и уникальных зданий и сооружений URL: https://gostinform.ru/direktivnye-pisma-polozheniya-rekomendacii-i-dr/mds-13-22-2009-obj44941.html?ysclid=mes7kjlmvf563195450	отсутствует	Общие требования к производству работ. Методы производства геодезических работ. Обработка результатов. Оборудование для производства работ. Общие требования
8	ОДМ 218.2.052-2015. Проектирование и строительство противоселевых сооружений для защиты автомобильных дорог URL: https://docs.cntd.ru/document/456050231?ysclid=mes7mxepi2721655188	отсутствует	Состав работ при визуальном обследовании селей, периодичность обследований и др.
9	ОДМ 218.2.091-2017. Геотехнический мониторинг сооружений инженерной защиты автомобильных дорог URL: https://docs.cntd.ru/document/456075700?ysclid=mes7oc0pxu662190608	отсутствует	Общие требования к производству работ. Геофизические методы производства работ, установка датчиков, перечень контролируемых параметров. Общая схема расположения оборудования на участках автомобильных дорог с протекающими оползневыми процессами. Особенности производства работ на оползнеопасных участках дорог. Описание производства мониторинга, методы визуального, геодезического, гидрогеологического, гидрологического, виброметрического, геофизического, тензометрического мониторинга
10	ОДМ 218.3.008-2011. Рекомендации по мониторингу и обследованию подпорных стен и удерживающих сооружений на оползневых участках автомобильных дорог URL: https://docs.cntd.ru/document/1200084892?ysclid=mes7piqwpr958071603	отсутствует	Общие требования к производству работ. Методы производства геодезических работ. Обработка результатов. Наблюдения за трещинами. Требования к обследованию технического состояния зданий. Требования к визуальному обследованию. Периодичность производства работ
11	СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства = Engineering geodesical survey for construction URL: https://docs.cntd.ru/document/871001219?ysclid=mes7qww043735033458	отсутствует	Погрешности для опорных пунктов. Виды геодезических наблюдений, точность измерений. Данные о расположении марок с расстояниями. Наблюдения за креном сооружений – методы

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

№ п/п	Норма	Нахождение в Перечне НС и СП*	Особенности
12	СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения = Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. Basic principles URL: https://docs.cntd.ru/document/1200095540?ysclid=mes83gluda622046607	включен	Основные расчетные положения оползней, информация о распространении опасных геологических процессов. Требования к разработке берегоукреплений и исследований селевых процессов, а также требования к мероприятиям инженерной защиты от термокарста, криогенных склоновых процессов, наледообразования, морозного пучения грунтов, затопления, подтопления, карстов, лавин, селей, оползневых и обвальных процессов
13	СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений = Soil bases of buildings and structures URL: https://docs.cntd.ru/document/456054206?ysclid=mes87ng9o8157154353	включен	Сроки производства мониторинговых работ при строительстве и реконструкции (таблица 12.1). Требования к составлению программы мониторинговых работ. Порядок производства работ
14	СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения = Engineering survey for construction. Basic principles URL: https://docs.cntd.ru/document/456045544?ysclid=mes8a435vc494286520	отсутствует	Требования к производству основных инженерных изысканий (геодезические, геологические, гидрометеорологические, экологические, геотехнические). Требования по подготовке технического задания и программы работ, а также по подготовке технического отчета. Перечень работ по видам изысканий, в том числе для работ по наблюдению за развитием деформационных процессов
15	СП 248.1325800.2023. Сооружения подземные. Правила проектирования = Underground structures. Design principles URL: https://docs.cntd.ru/document/1305115940?ysclid=mes8edagdd394095399	отсутствует	Общие данные для наблюдений за подземными сооружениями. Прогнозирование и точность геотехнического прогноза
16	СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве = Buildings and structures. The rules of geotechnical monitoring under construction URL: https://docs.cntd.ru/document/556330134?ysclid=mes8gfggez990772637	отсутствует	Перечень контролируемых параметров для возводимых/реконструируемых сооружений. Описание производства мониторинга, методы и оборудование, погрешности измерений (Приложение А): визуально-инструментального, геодезического и др. с указанием требований по составлению программы работ и подготовке отчетной документации. Алгоритм действий при обнаружении критических деформаций. Общие данные по мониторингу уникальных зданий и сооружений, в условиях плотной городской застройки, при наблюдательном методе проектирования, на территориях, подверженных сейсмическим воздействиям, на территориях с возможностью карстообразования, на подтопленных территориях и др. Основные контролируемые параметры при мониторинге в потенциально оползнеопасном районе (таблица 8.2б). Использование датчиков: область применения, устройство, погрешности
17	СП 317.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ = Engineering geodetic survey for construction. General regulations for execution of work URL: https://docs.cntd.ru/document/556610334?ysclid=mes8iluzk7322112521	отсутствует	Наблюдаемые параметры, состав техзадания и программы на выполнение геотехнического мониторинга

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

№ п/п	Норма	Нахождение в Перечне НС и СП*	Особенности
18	СП 361.1325800.2017. Здания и сооружения. Защитные мероприятия в зоне влияния строительства подземных объектов = Buildings and constructions. Protective measures in the zone of influence of construction of underground objects URL: https://docs.cntd.ru/document/550566682?ysclid=mes8oxvk4c513148410	отсутствует	Требования к программе работ и общие данные по производству мониторинговых работ при строительстве
19	СП 412.1325800.2018. Конструкции фундаментов высотных зданий и сооружений. Правила производства работ = Design of foundations of high-rise buildings and structures. Work rules URL: https://docs.cntd.ru/document/554403224?ysclid=mes8r3tqzg225979530	отсутствует	Основные требования к производству работ при устройстве плитных, свайно-плитных и свайных фундаментов при возведении высотных зданий и сооружений. Требования к геотехническому мониторингу, надзору за строительством и строительному контролю
20	СП 420.1325800.2018. Инженерные изыскания для строительства в районах развития оползневых процессов. Общие требования = Engineering surveys for construction in the areas of development of landslide processes. General requirements URL: https://docs.cntd.ru/document/554403569?ysclid=mes8tu4cnr402964171	отсутствует	Инженерные изыскания для подготовки документации по планировке территорий. Виды работ в инженерно-геодезических изысканиях. Общие требования по организации мониторинга за оползневыми процессами
21	СП 539.1325800.2024. Научно-техническое сопровождение инженерных изысканий, проектирования и строительства. Общие положения = Scientific and technical support engineering surveys, design and construction. General provisions URL: https://docs.cntd.ru/document/1306457721?ysclid=mes8wfukc9910214921	отсутствует	Требования по научно-техническому сопровождению инженерных изысканий, проектирования и строительства. Требования к техническому и геотехническому мониторингу
22	СТО СРО-Г 60542954 00007-2023. Геодезический мониторинг деформации зданий и сооружений атомных станций. Обработка данных и анализ URL: https://informproekt.ru/docs/1304411864/?ysclid=mcugz21y3515648114	отсутствует	Методы производства геотехнических работ (геодезия), количество марок и их расположение, погрешности производства работ на атомных станциях
23	МРДС 02-08. Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных URL: https://snip.ruscable.ru/Data1/53/53995/index.htm?ysclid=mes98bs158871512545	отсутствует	Требования к расположению измерительных пунктов для установки приборов (датчики для крепов). Требования к научно-техническому сопровождению строительства. Требования к составу отчетной документации. Требования к геотехническому мониторингу, мониторингу уникальных зданий и ограждающих конструкций
24	СП 126.13330.2017 (СНиП 3.01.03.84). Геодезические работы в строительстве = Geodetic works in building URL: https://docs.cntd.ru/document/550965720?ysclid=mes91cw2ja243608966	отсутствует	Производство геодезических работ в строительстве. Мониторинговые работы в строительстве, величины осадок

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

№ п/п	Норма	Нахождение в Перечне НС и СП*	Особенности
25	ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения = Reliability for constructions and foundations. General principles URL: https://docs.cntd.ru/document/1200115736?ysclid=mes94732bb962415682	включен	Общие принципы обеспечения надежности строительных конструкций и оснований
26	ТР 182-08. Технические рекомендации по научно-техническому сопровождению и мониторингу строительства большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений URL: https://snip.ruscable.ru/Data1/54/54692/index.htm?ysclid=mes9688zy3379701448	отсутствует	Для специалистов, выполняющих работы по научно-техническому сопровождению строительства и мониторингу состояния конструкций большепролетных, высотных и других уникальных зданий и сооружений, возводимых в г. Москве

* До 1 сентября 2024 г. соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»¹⁴ регламентировал Перечень национальных стандартов и сводов правил (Постановление Правительства РФ от 28.05.2021 г. № 815), который включал обязательные для применения документы. В настоящее время Постановление утратило силу, аналогов нет.

При анализе таблицы 1 получены следующие результаты:

1. Наиболее полно описывает производство геодезических работ при геотехническом мониторинге (в том числе на оползнях) Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений (1975 г.). За эталон принят проект производства геодезических работ, который является обязательным документом в строительстве любых инженерных объектов независимо от их типа, назначения, габаритов или других характеристик. Требования к такому документу предъявлены в СП 126.13330.2017 и ГОСТ Р 51872-2024¹⁵. К критериям полноты производства геодезических работ относятся: перечень оборудования и методик измерений; методы геодезической разбивки и/или привязки объектов; предельные отклонения (невязки и погрешности); наличие планово-высотных схем (требования к ним); проверка точности расчетов, предъявление требований к таким расчетам; соответствие нормативным данным; подготовка отчетных материалов в соответствии с установленным форматом. Полнота описания производства геодезических работ при геотехническом мониторинге (в том числе на оползнях) – степень включения нормативных требований с учетом детализации технологических процессов, проверкой расчетных критериев, установленных в проекте производства геодезических работ. При этом Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений (1975 г.) включает требования по подготовке программы

¹⁴ Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями и дополнениями): Федеральный закон РФ № 384-ФЗ от 30.12.2009 г. URL: <https://base.garant.ru/12172032/?ysclid=mcvhsr9ct1830692774> (дата обращения: 12.03.2025).

¹⁵ ГОСТ Р 51872-2024. Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения = Executive geodetic documentation. Performance rules: введен 01.11.2024 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1310017739?ysclid=mesen877c060657331> (дата обращения: 02.03.2025).

работ, а также требования по наблюдению как за сдвиговыми процессами, так и отдельно за деформационными.

2. Предъявляет конкретные требования к производству других видов работ при геотехническом мониторинге (визуальном, гидрогеологическом, гидрологическом, виброметрическом, геофизическом, тензометрическом исследовании) ОДМ 218.2.091-2017.
3. Предъявляет требования к производству работ на участках со сложными инженерно-геологическими условиями (органоминеральными и органическими грунтами / насыпными грунтами / просадочными грунтами / многолетнемерзлыми грунтами / на подрабатываемых территориях / в потенциально оползнеопасных районах), а также ко всему циклу производства работ (от подготовки технического задания до ликвидации последствий ЧС) – СП 305.1325800.2017.

С целью выявления разночтений действующие НТД проанализированы по 32 критериям (таблица 2). При этом в дальнейшем анализе учтены только 19 НТД из таблицы 1. Исключены:

- ОДМ 218.2.052-2015, так как включает только требования к производству наблюдений за селевыми процессами;
- СТО СРО-Г 60542954 00007-2023, так как является стандартом саморегулируемой организации при производстве работ на атомных электростанциях. Невозможно (необязательно) повсеместное применение стандарта;
- СП 47.13330.2016, так как содержит требования только к производству основных видов изысканий, экологическому и гидрометеорологическому мониторингу;
- СП 126.13330.2017 (СНиП 3.01.03.84), так как описывает производство геодезических работ в строительстве. Не применяется на оползнеопасных территориях. Описывает мониторинговые работы только в строительстве, учитывает величины осадок;
- СП 539.1325800.2024, так как документ ориентирован только на научно-техническое сопровождение строительства, содержит требования к составу, целям, срокам и другим параметрам научно-технического сопровождения, а также требования к техническому мониторингу;
- ГОСТ 27751-2014, так как устанавливает только общие принципы обеспечения надежности строительных конструкций и оснований, не применяется при работе на оползневых территориях;
- ТР 182-08, так как предъявляет требования только к научно-техническому сопровождению строительства уникальных зданий, применяется только на территории г. Москвы.

В перечень критериев включены все особенности проанализированных нормативно-технических документов, которые встречались в процессе изучения, например, требования к алгоритму действий при выявлении возможности реализации аварийных ситуаций были описаны только в СП 305.1325800.2017 (п. 29). Перечень критериев ранжирован в порядке производства работ от составления технического задания до принятия мер по стабилизации аварийных ситуаций, в конце приведены работы в особых условиях (на органоминеральных, заторфованных грунтах, на теплоэлектростанциях). Наиболее важные, по мнению авторов, критерии выделены курсивом. Их важность определена путем практических исследований. Эти критерии напрямую влияют на качество получаемых данных без учета узконаправленных разделов (работа на органоминеральных грунтах, работа на теплоэлектростанциях и т. д.) при условии отсутствия таких требований в техническом задании. Разделение параметров на «наблюдения за деформациями сооружений» и «наблюдения за сдвигами сооружений» основано на аналогичном разделении параметров в Руководстве по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений (1975 г.), такое же деление принято авторами в дальнейшем анализе других нормативно-технических документов. При этом раздел «Наблюдения за сдвигами сооружений (геодезические методы): работы на оползнях» учитывает работы непосредственно на оползневых территориях, а раздел «Наблюдения за деформациями сооружений (геодезические методы)» включает в себя все возможные деформации зданий и сооружений, кроме сдвиговых.

Таблица 2. Сравнение НТД для геотехнического мониторинга
Table 2. Comparison of normative and technical documentation for geotechnical monitoring

№ п/п	Требование	Рук. 1975	Г 24846	Г 31937	Г 32019	Г 22.1.04	Г 22.1.06	МДС 13-22	ОДМ 218.2.091	ОДМ 218.3.008	СП 11-104	СП 22	СП 248	СП 305	СП 317	СП 361	СП 412	СП 420	МРДС
1	Требования к составлению технического задания работ по ГТМ	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
2	Требования к составлению программы работ по ГТМ	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-
3	Требования к срокам и целостности производства работ	+	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	-
4	Требования к визуальному осмотру	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Требования к обследова- нию технического состояния зданий	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+
Наблюдения за деформациями сооружений (геодезические методы)																			
6	Требования к располо- жению исходных точек (реперов)	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
7	Требования к количеству исходных точек	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
8	Требования к расположе- нию съёмочных точек	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Требования к количеству съёмочных точек	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Требования к геодезиче- ским методам производ- ства работ	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+
Наблюдения за сдвигами сооружений (геодезические методы); работы на оползнях																			
11	Требования к располо- жению исходных точек (реперов)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	Требования к количеству исходных точек	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
13	Требования к расположе- нию съёмочных точек	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Требования к количеству съёмочных точек	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Требования к геодезиче- ским методам производ- ства работ	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Общее																			
16	Требования к точности определения положения точек (исходных)	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

№ п/п	Требование	Рук. 1975	Г 24846	Г 31937	Г 32019	Г 22.1.04	Г 22.1.06	МДС 13-22	ОДМ 218.2.091	ОДМ 218.3.008	СП 11-104	СП 22	СП 116	СП 248	СП 305	СП 317	СП 361	СП 412	СП 420	МРДС
17	Требования к точности определения положения точек (съёмочных)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	Требования к измерению крена сооружений	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+
19	Требования к наблюдению за трещинами	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-
20	Перечень контролируемых параметров	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	-	+
21	Требования к обработке результатов мониторинга	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
22	Предельные значения контролируемых параметров	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+
23	Требования к производству геофизических работ	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-
24	Требования к автоматизации мониторинговых работ	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
25	Особые указания при работе на оползнях	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
26	Требования при работе с уникальными зданиями	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+
27	Требования к прогнозированию	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
28	Требования к точности геотехнического прогноза	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
29	Требования к алгоритму действий при выявлении возможности реализации аварийных ситуаций	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
30	Особенности при работе на насыпных, просадочных, загорофированных, вечномерзлых, засоленных, набухающих грунтах	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
31	Особенности при работе на органических грунтах	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
32	Особенности при работе на теплоэлектростанции	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечания:

1. При составлении таблицы не учитывались размытые требования, например «... указывается в программе работ».
2. Полное наименование сокращений НТД в шапке см. в таблице 1.
3. Под наблюдениями за сдвигом сооружений подразумевается работа на оползневых грунтах.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Главным критерием при анализе всего массива нормативно-технической документации определено предъявление требований к производству работ по геотехническому мониторингу на оползнеопасных территориях, по аналогичному требованию, но более укрупненному, при составлении таблицы 2 были исключены документы, которые не описывали производство мониторинговых работ на оползневых территориях. После проведения детального анализа, исходя из таблицы 2 (пп. 20 и 25), требования к работам на оползневых территориях выявлены лишь в следующих документах, которые при этом имеют перечень контролируемых параметров:

- Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений (1975 г.);
- ГОСТ Р 22.1.04-2022. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг аэрокосмический. Номенклатура контролируемых параметров чрезвычайных ситуаций;
- ГОСТ 22.1.06-2023. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование опасных геологических явлений и процессов;
- ОДМ 218.3.008-2011. Рекомендации по мониторингу и обследованию подпорных стен и удерживающих сооружений на оползневых участках автомобильных дорог;
- СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства;
- ОДМ 218.2.091-2017. Геотехнический мониторинг сооружений инженерной защиты автомобильных дорог;
- СП 305.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве.

Особенность применения отраслевых дорожных методик (ОДМ) заключается в том, что они носят рекомендательный характер и, как следует из расшифровки аббревиатуры, применяются при производстве работ на дорожных объектах. Следовательно, регламентируют проведение работ на оползнеопасных территориях 7 НТД, 3 из них носят рекомендательный характер (таблица 3).

Таблица 3. Перечень контролируемых параметров, регламентируемый нормативно-технической документацией

Table 3. List of parameters regulated by normative and technical documentation

№ п/п	Обозначение	Перечень контролируемых параметров
1	ГОСТ Р 22.1.04-2022	Координаты, размеры, направления и скорость движения оползней, крутизна рельефа, структура поверхности земли в зоне ЧС
2	ГОСТ 22.1.06-2023	Площадная пораженность территории, %; площадь оползневых проявлений на одном участке, км ² ; объем сместившейся массы, тыс. м ³ ; скорость смещения, м/с; частота проявления, ед. год; уровни грунтовых и подземных вод, м; гидрометеорологический режим; физические свойства пород (плотность, г/см ³ , объемная масса, м ³ ; пористость, %, и трещиноватость, %; инфильтрационные характеристики, мм/мин, почв и грунтов оползня и примыкающей к нему водосборной площади; плавучесть пород; анизотропия (различные пространственные изменения физических свойств пород, слагающих оползень); коэффициент устойчивости склона; интегральные показатели глинистости, увлажненности, трещиноватости, уплотненности, контрастности (по ГОСТ 25100)
3	ОДМ 218.3.008-2011 (рекоменд.)	Целостность конструкций (сколы, трещины, отслоение защитного слоя бетона, коррозия и т. д.); деформации и смещение конструкций (крен, сдвиг, осадка и т. д.); состояние грунтов основания (свойства породы, сплошность, пустоты, обводнения и т. д.); напряжения в несущих конструкциях; колебания конструкций от сейсмических и техногенных воздействий
4	ОДМ 218.2.091-2017 (рекоменд.)	На склонах: состояние дневной поверхности оползня (трещины отрыва, бровки срыва, валы выпирания, покосившаяся растительность и т. д.); состояние вновь образованных поверхностей скольжения оползневого тела; смещение тела оползня (на дневной поверхности, по поверхности скольжения); режим подземных вод (уровень подземных вод, поровое давление) в теле оползня; устойчивость оползневого склона от сейсмических и техногенных воздействий

Продолжение таблицы 3 / Continuation of table 3

№ п/п	Обозначение	Перечень контролируемых параметров
5	СП 11-104-97	Координаты (вертикальные и горизонтальные смещения); раскрытие трещин; уточненные границы активного оползня, величины и скорости подвижек поверхности на разных участках, смещения склона на разных глубинах, границы зон растяжения и сжатия, местоположение плоскости (или плоскостей) скольжения, начало активизации деформационных процессов на склоне при его подрезке, обводнении территории (наполнение водохранилища), взрывных работах и т. п.
6	Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений (1975 г.) (рекоменд.)	Вертикальные перемещения, горизонтальные перемещения и крены
7	СП 305.1325800.2017	При мониторинге на оползневых грунтах: плановые и вертикальные перемещения на поверхности оползня; деформации грунтового массива по глубине; уровень подземных вод; визуальные признаки активизации оползневого процесса (заколы, валы выпора и т. д.)

Таким образом, при условии, что производство мониторинговых работ часто обусловлено необходимостью контроля и своевременной защиты объектов различного назначения (дорог, опор линий связи и электропередачи, рекреационных комплексов, жилых и общественных зданий и др.), перечень параметров в ГОСТ Р 22.1.04-2022 ограничен контролем только физических характеристик существующего (стабилизировавшегося или активного) оползня, не учтена возможность появления новых подвижек в характерных местах. В свою очередь ГОСТ 22.1.06-2023 предъявляет требования к изучению физико-механических свойств грунтов, пораженности территории и другим немаловажным, но не столь наглядным параметрам, как, например, определение перемещений в координатах или других зависимостях. Оба эти НТД (ГОСТ Р 22.1.04-2022, ГОСТ 22.1.06-2023) относятся к группе НТД «Безопасность в чрезвычайных ситуациях», что подразумевает скорость и надежность (достаточность) в определении исходных параметров для дальнейшего принятия решений по стабилизации на местности. Надежность и безопасность в условиях ЧС может быть достигнута путем рекогносцировки местности с производством инженерно-топографических работ и непосредственно производством инженерно-геологических изысканий. Для длительного геотехнического мониторинга определение только перечисленных здесь параметров может оказаться недостаточным.

ОДМ 218.2.091-2017 включает и перечень параметров для контроля деформаций конструкций, и для контроля параметров смещений грунта. Однако документ регламентирует производство работ на автомобильных дорогах и не может быть применен к мониторингу производственных, жилых зданий или других объектов. Это может быть обусловлено необходимостью заложения специальных устройств для последующего мониторинга (датчиков, марок и др.).

СП 11-104-97 не рассматривает изучение физико-механических свойств грунтов, а также возможных изменений уровня подземных вод, что не позволяет в полной мере описать текущие/стабилизировавшиеся оползневые процессы. Однако свод правил содержит основные положения для производства геодезических работ в строительстве, соответственно, рассматривает поверхность земли, а не ее строение. Аналогично для Руководства по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений (1975 г.), в котором не регламентируется необходимость инженерно-геологического изучения территории.

В отличие от ОДМ 218.2.091-2017, в СП 305.1325800.2017 определение целостности конструкции (сколы, трещины, отслоение защитного слоя бетона, коррозия и т. д.) не включено в перечень контролируемых параметров для сооружений. При работе на территориях с распространением

оползневых процессов в документе не предусмотрена необходимость изучения физико-механических свойств грунта. Без производства маршрутных наблюдений в мониторинге велика вероятность протекания скрытых оползневых процессов. В свою очередь, при фиксации только деформаций грунтового массива по глубине невозможно принять быстрое решение при возникновении ЧС и дать детальное заключение при окончании цикла.

Таким образом, универсальный документ¹⁶, регламентирующий достаточный перечень контролируемых параметров, отсутствует. На сегодняшний день информация по производству геотехнического мониторинга фрагментирована, что видно из таблицы 2. Например, в СП 11-104-97 изложены требования к количеству точек и их расположению, требования к геодезическим методам производства работ, но отсутствуют требования к сроку и цикличности производства работ, а также отсутствуют требования к производству визуального осмотра, следовательно, дополнительно необходимо использовать документ, который включает такие требования (при условии отсутствия таких требований в техническом задании на производство работ). При этом основные критерии в большинстве своем повторяются в разных формулировках: уровень подземных вод, разность осадок, крен, состояние грунтов. Однако, в зависимости от области регулирования документа, возможно отсутствие даже основных (часто повторяющихся) критериев в перечне.

Дальнейший анализ проводился только для документов, регламентирующих производство работ в условиях оползнеопасности (рис. 3).

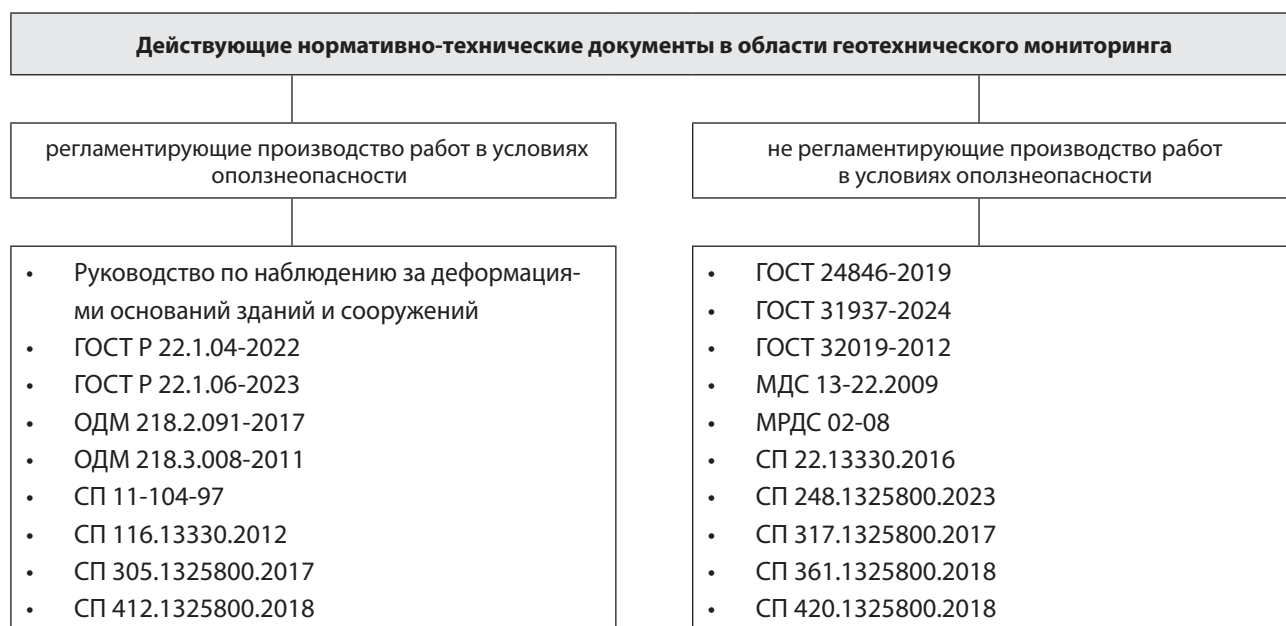


Рис. 3. Действующие нормативно-технические документы в области геотехнического мониторинга
(схема составлена авторами)

Fig. 3. Current normative and technical documents for geotechnical monitoring (scheme created by the authors)

¹⁶ Под универсальным будем понимать такой документ, применение которого обязательно и возможно без необходимости применения при этом схожих нормативно-технических документов, за исключением технических документов, которые регулируют производство работ в сложных ИГУ (органоминеральные, заторфованные грунты и т. д.), или документов, которые имеют узкий профиль применения (работы на ТЭЦ, АЭС и др.).

Из НТД, регламентирующих производство мониторинговых работ, требования к срокам и цикличности производства работ содержат 6 шт., из них для оползней – 4 шт. (3 из них носят рекомендательный характер):

- Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений (1975 г.) – должно быть не меньше трех циклов в течение года с перерывом в 2–4 месяца, а в отдельных случаях – 1 месяц;
- ОДМ 218.2.091-2017 – визуальные наблюдения и развитие трещин не реже одного раза в неделю при активном состоянии оползня, не реже одного раза в месяц при стабилизированном состоянии;
- ОДМ 218.3.008-2011 – для долгосрочного прогноза рекомендуется производить наблюдения до 4 раз в год, для среднесрочного прогноза – 1 раз в месяц, для краткосрочного – 1 раз в неделю или сутки (в зависимости от критичности ситуации). При активизации оползневых явлений или большой вероятности смещения (коэффициент устойчивости равен или близок к единице) частоту наблюдений увеличивают. После землетрясений силой выше 5 баллов или прохождения интенсивных ливней рекомендуется выполнять внеочередной цикл измерений;
- СП 305.1325800.2017 – сроки выполнения работ – до начала подрботки и не менее 1 года после ее завершения; периодичность измерений – не реже 1 раза в месяц.

В части подготовки календарного графика по производству циклов мониторинговых работ данные НТД разнятся и значения варьируются, однако в каждом упоминается периодичность в 1 месяц при тех или иных обстоятельствах. Здесь же следует упомянуть о необходимости заложения определенного количества времени на обработку материалов: при условии мониторинга геодезическими методами оползня сравнительно небольших размеров съемку и обработку возможно исполнить за один восьмичасовой рабочий день. Однако при необходимости фиксации сдвиговых процессов один раз в день (если это обусловлено большой скоростью смещения), следует принимать проектные решения по стабилизации ситуации. Однако же производство полевых работ и обработка материалов за восьмичасовой рабочий день возможна при автоматизированном мониторинге с использованием автономных датчиков, например.

Таким образом, наименее трудозатратный способ – применение наиболее жестких требований из существующих или тех, что чаще повторяются. Например, в сроках и цикличности работ часто упоминается периодичность в 1 месяц. Однако такой метод лишь устранил разногласия в нормативно-технических документах, но не будет являться научно обоснованным подходом к подготовке нормативно-технического документа.

При научно обоснованном устранении выявленных неточностей и разногласий следует провести глубокий анализ отдельно по каждому критерию с целью выявления закономерностей применения, следует также провести анализ массива архивных отчетов в ретроспективе, что позволит выявить оптимальные значения контролируемых параметров при производстве мониторинговых работ на оползнеопасных территориях.

Особое внимание следует уделить пересмотру характера применения Руководства по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений (1975 г.) (носит рекомендательный характер). По результатам анализа, документ отмечен как наиболее полно описывающий производство геодезических работ при наблюдениях за деформациями. Возможно, при глубоком анализе документа потребуются актуализация данных. Геодезический мониторинг на сегодняшний день остается наиболее часто применяемым и доступным [19, 20], а иногда является единственно возможным способом производства мониторинговых работ (например, в условиях лесистой или горной местности). В то время как, к примеру, свободное применение летательных аппаратов системы LiDAR для производства мониторинговых работ на территории Краснодарского края на сегодняшний день невозможно.

4. Заключение / Conclusions

В части требований к срокам и цикличности работ существуют значительные разногласия, устранение которых возможно путем пересмотра и стандартизации существующих НТД. Аналогично с перечнем контролируемых параметров, среди которых есть повторяющиеся (уровень подземных вод, разность осадок, крен, состояние грунтов), всей системе необходима стандартизация. Предельные значения контролируемых параметров не указаны ни в одном нормативно-техническом документе, который носит обязательный характер исполнения (таблица 2, п. 22). Требования к визуальному осмотру предъявляются лишь в двух отраслевых дорожных методиках, которые носят рекомендательный характер (таблица 2, п. 4). Для обследования технического состояния здания предъявляют требования 5 документов, которым нужна стандартизация (таблица 2, п. 5). Должны быть стандартизованы: требования к срокам и цикличности производства работ; требования к визуальному осмотру; требования к обследованию технического состояния зданий; перечень контролируемых параметров; предельные значения контролируемых параметров; особые указания при работе на оползневых территориях.

В части проведения работ на оползнеопасных территориях документы друг другу не противоречат при условии, что отсутствие информации не является противоречием.

Необходима разработка системы или зависимости предельных значений контролируемых параметров, которые на сегодняшний день разнятся, согласно таблице 3, и ее разработка требует детального анализа представленных в таблице 3 нормативно-технических документов. В свою очередь, систему контролируемых параметров для производства геотехнического мониторинга геодезическими методами следует дополнить после стандартизации системы контролируемых параметров, к которым относятся: требования к расположению исходных точек (реперов); требования к количеству исходных точек; требования к расположению съемочных точек; требования к количеству съемочных точек; требования к геодезическим методам производства работ; требования к точности определения положения точек (исходных); требования к точности определения положения точек (съемочных).

На сегодняшний день в Руководстве от 1975 г. регламентированы только предельные значения для средней квадратической ошибки, в некоторых других НТД представлена зависимость для крена сооружений от высоты объекта.

Дальнейшие направления исследований позволят избежать разночтений в действующих НТД. Также предполагается:

- разработка системы зависимостей предельных значений контролируемых параметров;
- стандартизация оптимального количества точек в зависимости от масштаба оползневых явлений и топографических условий производства работ.



Вклад авторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Author contributions. All authors contributed equally to preparing the publication.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Deng L., Yuan H., Zhang M., Chen J. Research progress on landslide deformation monitoring and early warning technology. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*. 2023;63(6):849–864. <https://doi.org/10.16511/j.cnki.qhdxxb.2023.22.002>

2. Randall W. Jibson. The Mameyes, Puerto Rico, landslide disaster of October 7, 1985. *Geological Society of America*. 1992;9. URL: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/books/edited-volume/830/chapter-abstract/4850105/The-Mameyes-Puerto-Rico-landslide-disaster-of>
3. Biek R. F., Rowley P. D., Hacker D. B. The gigantic Markagunt and Sevier gravity slides resulting from mid-cenozoic catastrophic mega-scale failure of the Marysville volcanic field, Utah, USA. *Geological Society of America*. 2019;56. [https://doi.org/10.1130/2019.0056\(01\)](https://doi.org/10.1130/2019.0056(01))
4. K. Stephen Hughes, Alesandra C. Morales-Vélez. Storm-induced and seismic-induced landslides across Puerto Rico's juvenile landscape: hazard recognition, quantification, and long-term impacts. *Geo-Extreme*. 2021;1. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784483695.043>
5. Zamanialavijeh N., Hosseinzadehsabeti E., Ferré E. C., Hacker D. B., Biedermann A. R., Biek R. F. Kinematics of frictional melts at the base of the world's largest terrestrial landslide: Markagunt gravity slide, southwest Utah, United States. *Journal of Structural Geology*. 2021;153:104448. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2021.104448>
6. Chambers J., Holmes J., Whiteley J., Boyd J., Meldrum P., Wilkinson P., et al. Long-term geoelectrical monitoring of landslides in natural and engineered slopes. *The Leading Edge*. 2022;41(11):742–804. <https://doi.org/10.1190/tle41110768.1>
7. Рыкова В. В. Геотехнический мониторинг: анализ информационных массивов зарубежных и российских баз данных. *Строительство и техногенная безопасность*. 2019;(14):155–164. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41414299>
8. Левшин В. В., Козелков М. М. Нормативно-техническая база научно-технического сопровождения строительства. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2020;24(1):78–90. URL: <https://vestnik.cstroy.ru/jour/article/view/66>
9. Шевченко И. С., Погодин Д. А. Необходимость научно-технического сопровождения жизненного цикла зданий и сооружений с заглублением подземной части более 15 метров. *Строительное производство*. 2021;(1):48–57. https://doi.org/10.54950/26585340_2021_1_48
10. Уваров А. И., Горбулин Р. П. Анализ нормативно-технической документации по геодезическому мониторингу деформаций стальных резервуаров. В сб.: *Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития: Сборник материалов II Международной научно-практической конференции, Омск, 26 марта 2020 года*. Омск: Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина; 2020. С. 101–106. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42797874>
11. Шведов С. А., Качаев А. А., Ракова Я. А. Вопросы нормативно-правовой базы геотехнического мониторинга в Российской Федерации. *Проектирование развития транспортной сети Дальнего Востока*. 2022;(10):52–60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49890751>
12. Маций С. И., Маций В. С. Оценка оползневого риска по данным геотехнического мониторинга. В сб.: *Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата «ГЕОРИСК – 2018»: Материалы X Международной научно-практической конференции по проблемам снижения природных опасностей и рисков: в 2 томах, Москва, 23–24 октября 2018 года. Том I*. Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН); 2018. С. 345–349. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36404182>
13. Маций В. С., Маций С. И. *Управление качеством изысканий и проектирования сооружений инженерной защиты: монография*. Краснодар: КубГАУ; 2023. 109 с.
14. Струсь С. С., Сидаравичуте У. Р. Анализ нормативно-технического обеспечения геотехнического мониторинга. В сб.: *Устойчивое развитие земельно-имущественного комплекса муниципального образования: землеустроительное, кадастровое и геодезическое сопровождение: Сборник научных трудов по материалам IV национальной научно-практической конференции, Омск, 23 ноября 2023 года*. Омск: Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2023. С. 150–155. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65438652>
15. Шагаров Л. М. (ред.) *Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий: Сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции, Сочи, 10–12 октября 2018 года. Том 5*. Сочи: ГКУ КК «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности»; 2018. 370 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36358035&selid=36362363>
16. Кузьмин Д. Н. Особенности строительства фундаментов высотных зданий на крутых склонах в районах с высокой сейсмичностью и различных ИГЭ. *Вестник науки*. 2023;4(5):1033–1046. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53838750>
17. Сидаравичуте У. Р., Пшидаток С. К. Управление качеством проведения геотехнических наблюдений за оползневыми процессами. В сб.: *Современные проблемы земельно-имущественных отношений, урба-*

низации территории и формирования комфортной городской среды: сборник докладов Международной научно-практической конференции, Тюмень, 01 декабря 2023 года. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2024. С. 480–485. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65623289>

18. Маций С. И., Безуглова Е. В. Геотехнический мониторинг транспортных сооружений на участках активно-го развития оползневых смещений грунтов. *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2017;(4):36–40. URL: <https://ofmg.ru/index.php/ofmg/article/view/5594>
19. Симонян В. В. *Изучение оползневых процессов геодезическими методами*. Москва: Московский государственный строительный университет; 2011. 172 с. ISBN 978-5-7264-0511-7.
20. Сидаравичуте У. Р., Пшидаток С. К. Геотехнический мониторинг противооползневых сооружений посредством геодезических измерений. *Инженерный вестник Дона*. 2023;(12):467–480. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8909>

References

1. Deng L., Yuan H., Zhang M., Chen J. Research progress on landslide deformation monitoring and early warning technology. *Journal of Tsinghua University (Science and Technology)*. 2023;63(6):849–864. <https://doi.org/10.16511/j.cnki.qhdxxb.2023.22.002>
2. Randall W. Jibson. The Mameyes, Puerto Rico, landslide disaster of October 7, 1985. *Geological Society of America*. 1992;9. URL: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/books/edited-volume/830/chapter-abstract/4850105/The-Mameyes-Puerto-Rico-landslide-disaster-of>
3. Biek R. F., Rowley P. D., Hacker D. B. The gigantic Markagunt and Sevier gravity slides resulting from mid-cenozoic catastrophic mega-scale failure of the Marysvale volcanic field, Utah, USA. *Geological Society of America*. 2019;56. [https://doi.org/10.1130/2019.0056\(01\)](https://doi.org/10.1130/2019.0056(01))
4. K. Stephen Hughes, Alesandra C. Morales-Vélez. Storm-induced and seismic-induced landslides across Puerto Rico's juvenile landscape: hazard recognition, quantification, and long-term impacts. *Geo-Extreme*. 2021;1. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784483695.043>
5. Zamanialavijeh N., Hosseinzadehsabeti E., Ferré E. C., Hacker D. B., Biedermann A. R., Biek R. F. Kinematics of frictional melts at the base of the world's largest terrestrial landslide: Markagunt gravity slide, southwest Utah, United States. *Journal of Structural Geology*. 2021;153:104448. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2021.104448>
6. Chambers J., Holmes J., Whiteley J., Boyd J., Meldrum P., Wilkinson P., et al. Long-term geoelectrical monitoring of landslides in natural and engineered slopes. *The Leading Edge*. 2022;41(11):742–804. <https://doi.org/10.1190/tle41110768.1>
7. Rykova V. Geotechnical monitoring: documents analysis of Russian and foreign databases. *Construction and Industrial Safety*. 2019;(14):155–164. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41414299>
8. Levshin V., Kozelkov M. Regulatory and technical base of scientific and technical support of construction. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2020;24(1):78–90. (In Russ.) URL: <https://vestnik.cstroy.ru/jour/article/view/66>
9. Shevchenko I. S., Pogodin D. A. The need for scientific and technical support of the life cycle of buildings and structures with an embedment of the underground part by more than 15 meters. *Construction Production*. (In Russ.) 2021;(1):48–57. https://doi.org/10.54950/26585340_2021_1_48
10. Uvarov A. I., Gorbulin R. P. Analysis of regulatory and technical documentation on geodesic monitoring of steel reservoir deformations. In: *Geodeziya, zemleustroystvo i kadastry: problemy i perspektivy razvitiya: Sbornik materialov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Omsk, 26 March, 2020*. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin; 2020. P. 101–106. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42797874>
11. Shvedov S.A., Kachaev A.A., Rakova Y.A. Issues of regulatory and legal framework for geotechnical monitoring in the Russian Federation. *Proektirovanie razvitiya transportnoy seti Dal'nego Vostoka [Planning the Development of the Far Eastern Transport Network]*. 2022;(10):52–60. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49890751>
12. Matsiy S. I., Matsiy V. S. Landslide risk assessment from geotechnical monitoring data. In: *Analiz, prognoz i upravlenie prirodnymi riskami s uchetom global'nogo izmeneniya klimata «GEORISK – 2018»: Materialy X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po problemam snizheniya prirodnkh opasnostey i riskov: in 2 vol., Moscow, 23–24 October, 2018. Vol. 1*. Moscow: Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba; 2018. С. 345–349. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36404182>

13. Matsiy V. S., Matsiy S. I. *Managing the quality of investigations and design for civil protection structures: a monograph*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin; 2023. (In Russ.)
14. Struss S. S., Sidaravichute U. R. Analysis of normative and technical provision of geotechnical monitoring. In: *Ustoychivoe razvitie zemel'no-imushchestvennogo kompleksa munitsipal'nogo obrazovaniya: zemleustroitel'noe, kadaстровое i geodezicheskoe soprovozhdenie: Sbornik nauchnykh trudov po materialam IV natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Omsk, 23 November, 2023*. Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin; 2023. P. 150–155. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65438652>
15. Shagarov L. M. (eds.) *Ustoychivoe razvitie osobo okhranyaemykh prirodnnykh territoriy: Sbornik statey V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Sochi, 10–12 October, 2018. Vol. 5*. Sochi: Gosudarstvennoe kazennoe uchrezhdenie Krasnodarskogo kraya "Direktsiya prirodnnykh parkov Krasnodarskogo kraya"; 2018. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36358035&selid=36362363>
16. Kuzmin D. N. Features of the construction of foundations of high-rise buildings on steep slopes in areas with high seismicity and various IGE. *Science Bulletin*. 2023;4(5):1033–1046. (In Russ.) URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=53838750>
17. Sidaravichute U. R., Pshidatok S. K. Managing the Quality of Geotechnical Monitoring of Landslide Processes. In: *Sovremennye problemy zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy, urbanizatsii territorii i formirovaniya komfortnoy gorodskoy sredy: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Tyumen, 01 December 2023*. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2024. P. 480–485. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=65623289>
18. Matsii S. I., Bezuglova E. V. Geotechnical monitoring of transport structures in areas with active development of slipping displacements of soil. *Geotechnical Monitoring*. 2017;54:289–293. <https://doi.org/10.1007/s11204-017-9471-3>
19. Simonyan V. V. *Study of landslide processes using geodetic methods*. Moscow: Moscow State University of Civil Engineering; 2011. (In Russ.)
20. Sidaravichute U. R., Pshidatok S. K. Geotechnical monitoring of anti-landslide structures by means of geodetic measurements. *Engineering Journal of Don*. 2023;(12):467–480. (In Russ.) URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2023/8909>



Информация об авторах

Сидаравичуте Ульяна Роландовна, магистрант, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, dd600902@gmail.com

Маций Сергей Иосифович, д-р техн. наук, профессор кафедры строительных материалов и конструкций, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, matsiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2410-2725>

Information about the authors

Ulyana R. Sidaravichute, Graduate Student, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, dd600902@gmail.com

Sergey I. Matsiy, Dr. Sci. (Engineering), Professor in the Department of Building Materials and Structures, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, matsiy@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2410-2725>

Получена 28 апреля 2025 г., одобрена 11 августа 2025 г., принята к публикации 25 августа 2025 г.
Received 28 April 2025, Approved 11 August 2025, Accepted for publication 25 August 2025

Original research article / Научная статья

UDC 625.088

DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-55-73>

EDN: <https://elibrary.ru/dnfpso>

2.1.8 Design and construction of roads, subways,
airfields, bridges, and transportation tunnels
(engineering sciences)



Environmental impact of asphalt concrete plants on industrial areas via criteria-based method assessing

Nikolay I. Shestakov¹, Nina V. Danilina¹, Roman S. Fediuk^{2,3}✉, Mohammad Hematibahar¹, Valery I. Petukhov⁴

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering
Moscow, 26 Yaroslavskoe Highway, 129337, Russian Federation

² Vladivostok State University
Vladivostok, 41 Gogolya St., 690014, Russian Federation

³ Far Eastern Scientific Research, Design and Technological Institute for Construction
Vladivostok, 14 Borodinskaya St., 690033, Russian Federation

⁴ Far Eastern Federal University
Vladivostok, Russky Island, 10 Ajax Bay, 690922, Russian Federation

✉ roman44@yandex.ru

Abstract. The study addresses the environmental risks posed by asphalt concrete plants operating in industrial zones, focusing on their impact on air, soil, and water resources. The objective was to develop and test an integrated criteria-based methodology for assessing such impacts. Three asphalt concrete plants with different production capacities and gas-cleaning efficiencies were selected as the research objects. The methodology included sequential evaluation in five areas: territorial impact, geological conditions, atmospheric emissions, soil degradation, and water pollution. Data collection involved satellite imagery, cadastral surveys, laboratory analyses of air and soil samples, and field observations. The results show that plants with higher production capacity generate significantly greater environmental loads, with CO₂ and NO_x emissions exceeding permissible levels, and with notable soil degradation and risks to hydrogeological stability. The discussion highlights that upgrading gas-cleaning units, implementing continuous water quality monitoring, and restoring disturbed soils are essential to mitigate the negative impacts. The proposed methodology proved effective for comprehensive environmental risk assessment and can be applied to other industrial facilities with similar environmental profiles.

Keywords: asphalt concrete plants, environmental impact, industrial zones, air emissions, soil degradation, hydrogeological stability, impact boundaries

For citation: Shestakov N. I., Danilina N. V., Fediuk R. S., Hematibahar M., Petukhov V. I. Environmental impact of asphalt concrete plants on industrial areas via criteria-based method assessing. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(3):55–73. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-55-73>

Критериальный метод оценки воздействия асфальтобетонных заводов на окружающую среду в промышленных зонах

Н. И. Шестаков¹, Н. В. Данилина¹, Р. С. Федюк^{2,3}✉, М. Хематибахар¹, В. И. Петухов⁴

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
Москва, Ярославское шоссе, 26, 129337, Российская Федерация

² Владивостокский государственный университет

Владивосток, ул. Гоголя, 41, 690014, Российская Федерация

³ Дальневосточный научно-исследовательский институт по строительству

Владивосток, ул. Бородинская, 14, 690033, Российская Федерация

⁴ Дальневосточный федеральный университет

Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10, 690922, Российская Федерация

✉ roman44@yandex.ru



Аннотация. В процессе работы асфальтобетонных заводов в промышленных зонах возникают экологические риски, связанные с загрязнением воздуха, почвы и водных ресурсов. Авторы ставили перед собой цель разработать и проверить на практике метод комплексной критериальной оценки такого негативного воздействия. В качестве объектов исследования были выбраны три асфальтобетонных завода с различными производственными мощностями и эффективностью газоочистки. Предложенный метод предполагает последовательную оценку пяти критериев: влияния на территорию, геологических условий, выбросов в атмосферу, деградации почв и загрязнения вод. Сбор данных включал изучение спутниковых снимков, кадастровые исследования, лабораторный анализ проб воздуха и почвы и полевые наблюдения. Полученные результаты подтверждают, что предприятия с более высокими производственными мощностями оказывают значительно большее негативное воздействие на окружающую среду: превышены допустимые уровни выбросов CO_2 и NO_x , что ведет к деградации почв и риску гидрогеологической нестабильности. Для нейтрализации негативного воздействия необходимы модернизация газоочистных установок, постоянный мониторинг качества воды и рекультивация почв. Метод комплексной критериальной оценки может быть применен и для оценки других промышленных объектов с аналогичными характеристиками.

Ключевые слова: асфальтобетонные заводы, экологическое воздействие, промышленные зоны, промышленные выбросы, деградация почв, гидрогеологическая устойчивость, площадь воздействия

Для цитирования: Шестаков Н. И., Данилина Н. В., Федюк Р. С., Хематибахар М., Петухов В. И. Критериальный метод оценки воздействия асфальтобетонных заводов на окружающую среду в промышленных зонах. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(3):55–73. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-55-73> EDN: DNFPSO



1. Introduction / Введение

In the context of accelerated urbanization and expansion of infrastructure projects, environmental protection issues are of particular importance [1–3]. Asphalt concrete production plants play a key role in the development of urban and industrial zones, but their activities are associated with serious environmental risks [4, 5]. These risks are associated with negative impacts on ecosystems, which can manifest themselves in both the short and long term [6].

Despite significant developments in environmental research, significant gaps remain, particularly in the long-term impact of industrial facilities on industrial zone ecosystems [7]. Existing assessment methods tend to focus on short-term effects and do not fully take into account the complex interrelations of environmental factors [8, 9]. This is of particular concern, as long-term environmental impacts may be significantly more serious and difficult to reverse.

The main problem is the lack of a clear formulation of the main environmental factors associated with the activities of asphalt concrete plants. Uncertainty in defining the objects and subject of research hinders the creation of effective management strategies.

In Russia, a comprehensive regulatory system for environmental impact assessment of asphalt concrete plants has been established and is legally enforced. It includes risk assessment for public health and relies on a large package of regulatory documents (federal laws, sanitary norms, state standards) and

certified software tools. However, existing procedures are often fragmented: they separately consider atmospheric emissions, soil pollution, or hydrological risks, without providing an integrated picture of cumulative effects. The methodology proposed in this study does not replace the regulatory framework but complements it, offering a multiparametric assessment that integrates territorial-geometric and physical impact parameters. This closes a gap in current practices, ensuring a more complete and systemic evaluation of environmental risks.

Thus, there is a need to develop and test new integration methods capable of taking into account a wide range of environmental and technological parameters. These methods should provide more detailed data that can be used as a basis for making management decisions and strategic planning. The solution to these problems will not only expand the existing scientific base, but will also significantly improve the management of environmental risks associated with the activities of asphalt concrete plants.

Production facilities located in industrial zones pose a serious problem because they generate a wide range of pollutants that affect ecosystems [10, 11]. Such facilities affect large areas, disrupting natural processes, which makes it necessary to study their impact on the environment in greater depth and develop specialized approaches to managing and reducing negative impacts.

Industrial zones located in close proximity to urban agglomerations are a source of significant environmental risks. The problem is aggravated by the fact that many existing environmental impact assessment methods do not take into account the full picture and are based on outdated data [12].

There is an urgent need to develop new, more comprehensive approaches to environmental safety assessment that would be able to integrate various environmental parameters and provide accurate data for decision making.

Existing studies on the impact of asphalt concrete production facilities on ecosystems often focus on direct effects [13, 14], such as soil and water pollution [15], habitat fragmentation and noise pollution [16–18]. However, the issue of taking into account long-term effects and an integrated approach to assessing interrelated ecological processes remains important, which requires the development of more complex models [19].

Numerous studies demonstrate that the integration of industrial ecology principles can significantly improve the effectiveness of managing environmental challenges, especially in port areas [20–23]. However, although these works have made significant contributions, they do not sufficiently take into account the complex interactions between different environmental parameters, which significantly limits their applicability in the broader context of industrial zones.

The paper pays special attention to the spatio-temporal dynamics of ecosystem changes in megacities, emphasizing the importance of using complex spatial models to accurately assess these processes [24, 25]. However, to gain a deeper understanding of ecological transitions, further research is needed to complement existing data.

A literature review has shown the significant impact of various industrial facilities on ecosystems, especially in the context of using complex models to predict environmental effects [26, 27]. In particular, the study demonstrated that traditional assessment methods do not always accurately account for the interaction of factors at the level of large industrial zones.

Research also shows that integrating ecosystem functions with business processes helps to more effectively manage environmental risks and reduce the negative impact of industrial facilities [28–30]. These studies highlight the need for joint use of environmental indicators to improve planning and monitoring of industrial zones.

In addition, emphasis is placed on the need to take into account complex ecosystem interactions, as well as the development of additional indicators and methods to improve the environmental sustainability of industrial facilities [31–33].

A number of studies have analyzed a wide range of approaches to managing industrial development [34–36] and its environmental impacts, highlighting the importance of integrating environmental and sustainability strategies into the planning and operation of industrial zones [37–41]. This confirms the need for long-term forecasting of environmental risks and highlights the importance of further research.

Several studies highlight the importance of developing new environmentally sustainable models to predict the impact of industrial facilities, including transport infrastructure, on natural resources [37, 40–45].

Further development of spatial analysis methods, as recent studies have shown, is necessary for more accurate forecasting of air and soil pollution [1, 45, 46]. The implementation of complex models such as MSPA has already confirmed their high efficiency in environmental risk management [47–48].

Thus, current research highlights the need to develop integrated approaches that can take into account spatiotemporal changes in ecosystems and predict long-term consequences of industrial impacts.

2. Materials and methods / Материалы и методы

Asphalt concrete plants are a significant source of anthropogenic impact on the ecosystems of industrial zones, caused by a number of specific factors characteristic of their technological processes.

The activities of asphalt concrete plants affect the surrounding areas through the pollution of soil, atmosphere and water resources. Soil pollution can occur as a result of emissions of pollutants into the atmosphere, as well as leaks and spills of raw materials used in production.

Additionally, asphalt plants can have an indirect impact on water resources. Pollution of water bodies can occur through the leaching of pollutants into groundwater, especially if runoff is not properly controlled. This poses a risk to the quality of surface and groundwater, which in turn can affect the state of ecosystems.

Thus, the impact of asphalt concrete plants on ecosystems must be assessed comprehensively, taking into account the impact on air, soil and water resources. The study uses environmental indicators such as the level of pollutant emissions, the level of soil pollution and the state of water resources in areas adjacent to the plants.

Three asphalt plants located in industrial zones were selected as objects of analysis. These enterprises were chosen due to their different production capacities and levels of gas-cleaning efficiency, which makes them representative for testing the methodology. Although the analysis was carried out on three specific plants, the developed methodology is universal and can be applied to other asphalt concrete plants or similar industrial facilities in different regions. Satellite data, cadastral survey data and laboratory analysis of air, soil and water samples were used to assess their environmental impact. The impact assessment was based on the following key indicators:

1. Atmospheric impact: measurement of pollutant emissions including CO₂, NO_x and particulate matter.
2. Impact on soils: assessment of disturbance of natural soil layer.
3. Impact on water resources: assessment of potential level of hydrological sustainability.

To assess and visualize the location of the plants, satellite maps with the designation of the territory boundaries were used, presented in figure 1.

Based on satellite and cadastral map data, it was found that the facilities are located in different ecological zones, which allows to assess the differences in their environmental impact depending on their location.

Table 1 shows the main technical characteristics of the asphalt plants considered in this study. These data include productivity, efficiency of gas cleaning systems, height of smoke stacks, temperature of exhaust gases and power of burners.

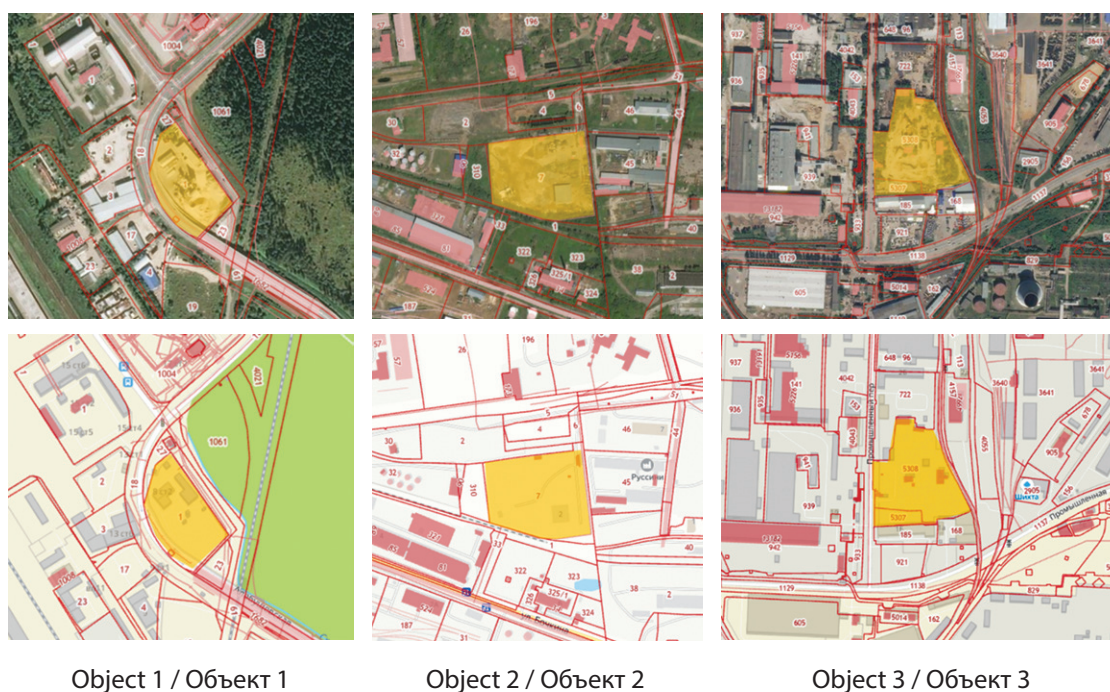


Fig. 1. Boundaries of asphalt concrete plant territories (fragments of satellite imagery and cadastral maps)
Рис. 1. Границы территорий асфальтобетонных заводов (фрагменты спутниковых снимков и кадастровых карт)

Table 1. Technical characteristics of asphalt concrete plants
Таблица 1. Технические характеристики асфальтобетонных заводов

Technical specifications	Object 1	Object 2	Object 3
Productivity, t/hour	25	50	150
Efficiency of gas cleaning devices, %	82	75	99.93
Pipe height, m	18	18.5	18.9
Exhaust gas temperature, °C	75	75	60
Burner power, MW	3.3	5.5	9.6

The data obtained make it possible to identify areas of increased environmental risk near asphalt plants, and to establish that the level of impact depends on such parameters as production capacity and the efficiency of gas cleaning systems. In the future, this will allow for the development of more precise recommendations for reducing the negative impact on the environment, applicable to each specific facility.

To comprehensively assess the impact of road construction projects on industrial zone ecosystems, a research model was developed, presented in figure 2. This model structures the process of analyzing environmental impacts and defines the key parameters necessary for developing strategies to minimize negative environmental impacts.

The model includes three main components: emissions of pollutants into the atmosphere, impact on soil resources, and impact on water resources. These components are interrelated and form the structure of the analysis, which allows for a comprehensive assessment of the impact of road construction projects on ecosystems.

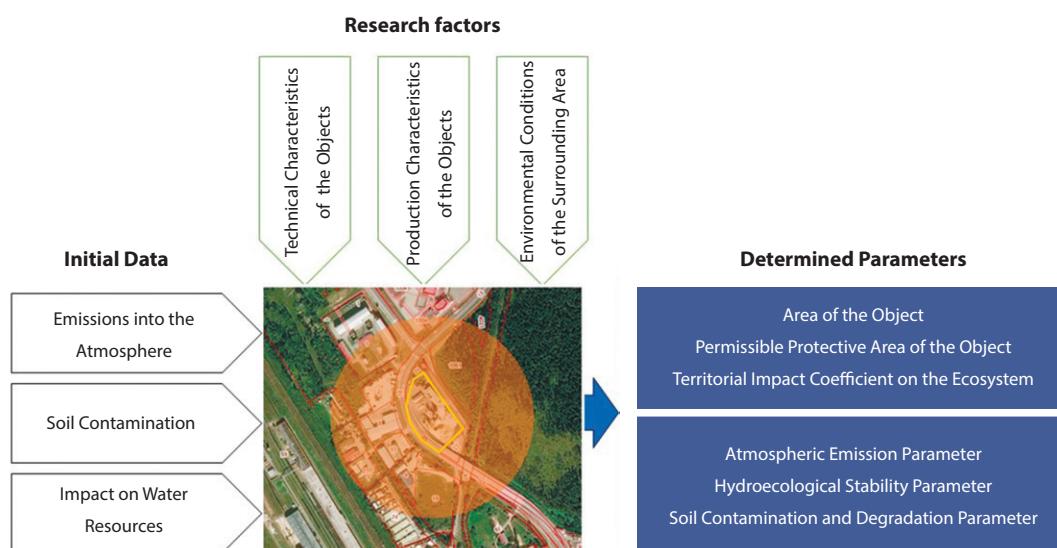


Fig. 2. Key environmental impact factors and parameters for minimizing negative impact on industrial zone ecosystems (authors' scheme)

Рис. 2. Ключевые факторы воздействия на окружающую среду и параметры, минимизирующие негативное воздействие на экосистемы промышленных зон (схема авторов)

Model study based on initial data on atmospheric emissions, soil and water conditions. The main initial data include atmospheric pollutant content (CO_2 , NO_x , SO_x , particulate matter, hydrocarbons), soil disturbance levels and pollutant presence in water bodies.

This study identified key factors affecting the environmental conditions of industrial zones where asphalt plants operate. These factors cover a wide range of impacts, including emissions of pollutants into the atmosphere, soil pollution, and risks to water resources. A comprehensive analysis of these factors allows not only to assess the current state of the environment, but also to predict long-term environmental consequences.

1. *Impact on the atmosphere.* Atmospheric emissions are one of the most significant factors directly affecting air quality in industrial areas. During the production of asphalt, asphalt concrete plants emit significant amounts of nitrogen oxides (NO_x), sulfur oxides (SO_x), carbon dioxide (CO_2), particulate matter (PM) and hydrocarbons. The concentration of these pollutants in the air may exceed maximum permissible values, which leads to deterioration of public health, as well as degradation of plant communities and biota in general.
2. *Soil pollution.* Soil pollution is another critical factor, caused by both the deposition of pollutants from the atmosphere and leaks of raw materials and production waste. The accumulation of heavy metals and organic pollutants can change the physicochemical properties of soils, such as structure, acidity and organic matter content. These changes contribute to the degradation of the soil cover and can lead to a decrease in its fertility, which in the long term negatively affects the sustainability of ecosystems.
3. *Water resources.* Water resources are also at significant risk of contamination from asphalt plants. Groundwater contamination occurs through the leaching of pollutants into aquifers and surface water bodies. The lack of runoff control and filtration systems increases the risk of pollutants entering water bodies, posing a threat to ecosystems and water supplies.

Thus, a thorough analysis of the listed factors allows for a comprehensive understanding of the impact of asphalt plants on the environment. This, in turn, creates the basis for developing environmental

risk management strategies. The use of complex analysis methods contributes to the accuracy of forecasting and allows for the formulation of well-founded recommendations for reducing the negative impact on industrial zone ecosystems.

In order to comprehensively assess the impact of road construction projects on industrial zone ecosystems, an original methodology based on a parametric criteria approach was developed and applied. This methodology allows for the integration of a wide range of environmental and technological parameters, which provides a more in-depth and objective analysis of the impact on the environment. The use of this approach helps to identify key risk factors, develop strategies to minimize negative impacts, and formulate well-founded recommendations to ensure sustainable development of industrial areas.

The proposed methodology includes several stages, starting with careful data collection and ending with the development of practical recommendations for environmental risk management. Each stage is included sequentially and interrelatedly, which allows for a systematic and holistic approach to assessing and managing the environmental impacts of road construction activities.

To assess the impact of asphalt concrete plants on industrial zone ecosystems, a multiparametric criteria method was developed, which includes the sequential implementation of five main stages, as shown in figure 3. This methodology provides a comprehensive analysis of environmental risks and allows for the formation of effective management strategies.

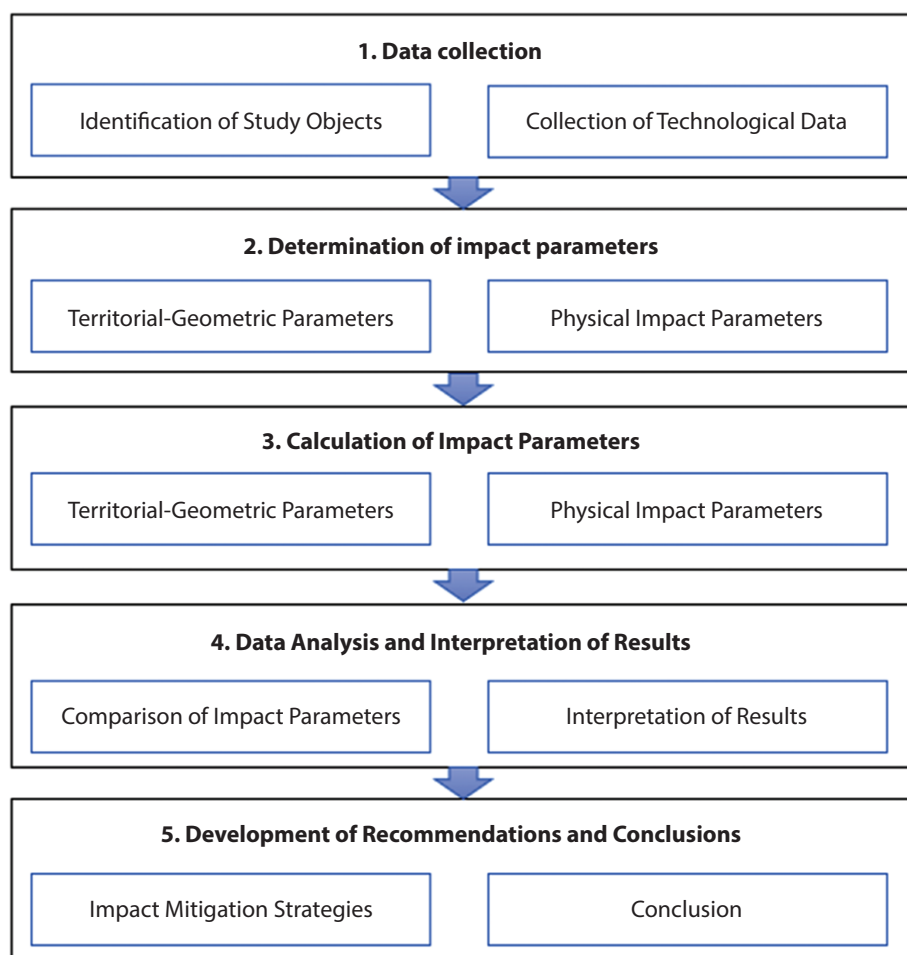


Fig. 3. Criteria-based method assessing the environmental risks (scheme compiled by the authors)
Рис. 3. Критериальный метод оценки экологических рисков (схема составлена авторами)

Stage 1. Data collection. The first stage involves collecting the necessary data on the technological parameters of the asphalt concrete plants, their production characteristics, and the physical and environmental conditions of the environment. This includes data on pollutant emissions, soil characteristics, and water resources. Information from the cadastral plan, environmental monitoring results, and satellite monitoring and geographic information systems (GIS) data are used.

Stage 2. Identification of impact factors and parameters. The second stage involves identifying key environmental factors and parameters that will be used to assess the environmental impact of the facilities. Territorial-geometric characteristics and physical impact parameters were selected as the main parameters. Each of these parameters is described in detail and classified by the degree of impact (high, medium, low), which allows for an assessment of the impact on ecosystems.

Stage 3. Calculation of impact parameters. The third stage involves calculating the quantitative values of each of the defined parameters using the developed formulas. For example, to calculate the atmospheric emission parameter, the total concentration of pollutant indicators is used, which is compared with the maximum permissible concentrations (MPC). Hydroecological stability and soil degradation parameters are also calculated, which allows us to determine the degree of impact on water and soil resources.

Stage 4. Data analysis and interpretation of results. The fourth stage involves analyzing the data obtained, including calculating and assessing the values of the impact parameters. Integration of the analysis results allows identifying the greatest environmental risks and defining critical areas requiring additional attention. Also at this stage, areas requiring special attention and possible intervention to minimize environmental damage are identified.

Stage 5. Development of recommendations and conclusions. The final stage is the development of recommendations for managing environmental risks and minimizing the impact of road construction projects on the environment. During the analysis, specific measures are formulated to reduce emissions, improve air and water purification methods, and optimize the use of natural resources. As a result, conditions are created for the sustainable development of industrial zones taking into account environmental safety.

When assessing the impact of asphalt concrete plants on industrial zone ecosystems, the key stage is to determine the parameters and criteria that will be used for quantitative analysis and modeling. The correct choice of these parameters and their interrelations allows not only to obtain accurate assessments of the environmental impact, but also to identify the main sources of environmental risk that require management decisions.

The proposed parametric criteria method is based on the selection of key parameters reflecting the territorial and geometric characteristics of objects, their physical impact on the environment, and

*Table 2. Sets of key parameters
for assessing the environmental risks
Таблица 2. Ключевые параметры
для оценки экологических рисков*

Parameter group	Parameters
Territorial-geometric group	Object area
	Permissible protective area of the object
	Coefficient of territorial impact on the environment
Physical impact group	Atmospheric emission parameter
	Hydroecological stability parameter
	Soil contamination and degradation parameter

the sustainability of ecosystems to anthropogenic impact. This approach takes into account the multiplicity of factors and interactions, which makes it possible to detail forecasts and develop effective strategies for managing environmental risks.

The proposed approach is based on dividing the parameters into two groups: territorial-geometric parameters and physical impact parameters. Both sets of parameters allow to assess the impact on various components of ecosystems and take into account the spatial and temporal aspects of the impact (table 2).

Table 3 presents the key parameters of the parametric estimation method used in the study.

Table 3. Criteria of the multiparametric evaluation method
Таблица 3. Параметры, используемые при критериальном методе оценки

Parameter		Conventional designation	Unit of measurement	Environmental impact criteria		
				High	Medium	Low
Territorial-geometric group						
1	Object area	S_{ob}	thousand m ²	≥ 100	10–100	< 10
2	Permissible protective area of the object	S_{pr}	thousand m ²	≥ 50 S_{ob}	10–50 S_{ob}	< 10 S_{ob}
3	Coefficient of territorial impact on the environment	K_{ter}	–	≥ 100	50–100	< 10
Physical impact group						
4	Atmospheric emission parameter	AEP	–	≥ 5.0	2.5–5.0	< 2.5
5	Hydroecological sustainability parameter	HSP	–	≤ 0.6	0.6–0.8	> 0.8
6	Soil contamination and degradation parameter	SCP	–	> 0.7	0.3–0.7	≤ 0.3

These parameters allow to cover a wide range of environmental aspects related to the activities of road construction facilities (RCF) and provide an opportunity to more accurately assess the impact on the ecosystems of industrial zones. Such classification allows comprehensively assessing the impact of road construction facilities on various components of ecosystems and taking into account the spatial and temporal aspects of impact.

The study of the parameters and criteria determining the impact of asphalt concrete plants on ecosystems requires the use of an integrated approach that allows classifying and quantifying the environmental impacts associated with the operation and implementation of infrastructure projects. The application of the developed methodology makes it possible to comprehensively assess the anthropogenic impact on natural systems, including territorial-geometric changes, technological consequences, as well as physical and resource impacts. Each of these aspects is analyzed using specially developed quantitative indicators, which allows for objective and accurate results.

The use of these parameters and criteria helps to formulate well-founded strategic decisions aimed at minimizing environmental damage and optimizing the use of natural resources. This approach not only increases the level of environmental safety and reduces the risks of negative consequences for the environment, but also promotes the integration of sustainable development principles into the planning, design and operation of asphalt concrete plants.

1. *Object area.* The area of the object is determined by the cadastral boundaries of the territory of the object on which the assessment of the activities of the objects is carried out. The inclusion of this parameter allows taking into account the spatial aspects of the influence.
2. *Permissible protective area of the object.* The assessment of the area that should be protected within the sanitary and buffer zones allows for the consideration of high levels of anthropogenic impact and critical areas with increased risks to ecosystems.
3. *Coefficient of territorial impact on the environment.* It is a quantitative assessment that reflects the relationship between the area intended to minimize the impact on the natural environment and the area of the facility.
4. *Atmospheric emission parameter.* The parameter is a comprehensive assessment of the degree of impact of emissions on the territory of RCF for five indicator substances (CO_2 ; NO_x ; SO_x ; PM_{10} ; hydrocarbons). This parameter is calculated using the formula:

$$AEP = \int_{i=5}^5 \left(\frac{C_i}{MPC_{M.P.}^i} \right), \quad (1)$$

where C_i – average concentration of the i -th pollutant;

$MPC_{M.P.}$ – maximum one-time maximum permissible concentration for the i -th pollutant in the work area.

5. *Hydroecological sustainability parameter.* Numerically reflects the level of ecosystem resistance to pollution and impact on surface soil layers. The formula used for calculation is:

$$HSP = \frac{1}{1 + 1.2(10K \cdot A)}, \quad (2)$$

where K is the soil filtration coefficient, which is measured in m/day and may vary depending on the type of soil;

A is the area of the territory under the influence of road construction facilities, measured in square kilometers.

6. *Soil contamination and degradation parameter.* The formula takes into account the ratio of the area of the disturbed layer to the total area of the site:

$$SCP = \frac{ADS}{S_{ob}} \cdot DSL, \quad (3)$$

where SCP – soil contamination and degradation parameter;

ADS – area of disturbed soil layer;

S_{ob} – object area;

DSL – depth of soil and vegetation layer.

These indices provide a complete picture of the extent of soil and air pollution, as well as the potential for ecosystem restoration.

3. Results and discussion / Результаты и обсуждение

This section presents the results of the study obtained in the course of applying the parametric methodology developed for assessing the environmental impact of road construction facilities on industrial zone ecosystems. All results are presented in strict accordance with the stages set out in the methodology. This approach allowed not only to systematize the analysis process, but also to ensure a logical and consistent interpretation of the data, which is especially important for a comprehensive analysis of the impact on the environment.

Step 1. Data Collection

At the first stage, the necessary data on the technological parameters and characteristics of the asphalt concrete plants were collected. Table 4 presents the main characteristics of the three objects that were analyzed.

Step 2. Determination of factors and parameters of influence

At this stage, key factors and parameters of environmental impact were identified, including the area of the facility, the permissible protective area, the territorial impact coefficient and the parameters of physical impact, including the atmospheric emission parameter and the parameters of hydroecological stability and soil contamination.

Step 3. Calculation of impact parameters

At this stage, a quantitative calculation of the parameters of certain degrees of impact of road construction facilities on the environment was carried out. The calculation method and formulas used are described in detail in the previous sections. The main attention was paid to a comprehensive assessment of

key parameters such as atmospheric emissions, hydroecological stability and the degree of soil degradation. The calculation results are presented in table 5.

Table 4. Initial data for calculating impact parameters for environment
Таблица 4. Исходные данные для расчета параметров воздействия на окружающую среду

Parameter	Object 1	Object 2	Object 3
Object area, thousand m ²	147	265	231
Radius of protection zone, m	500	500	500
CO ₂ concentration, mg/m ³	15	10	8
NO _x concentration, mg/m ³	0.15	0.12	0.10
SO _x concentration, mg/m ³	0.10	0.08	0.06
PM ₁₀ concentration, mg/m ³	0.05	0.04	0.03
Hydrocarbon concentration, mg/m ³	0.03	0.02	0.015
Soil type	Dusty sand	Clay	Sandy loam
Filtration coefficient, m/day	14	10	12
Area of disturbed layer, thousand m ²	13.25	12.50	11.80
Depth of soil and vegetation layer, m	0.2	0.2	0.2

Table 5. Results of determining the evaluation parameters for asphalt concrete plants
Таблица 5. Значения параметров оценки асфальтобетонных заводов

Parameter	Object 1	Object 2	Object 3
Object area, thousand m ²	14.7	26.5	23.1
Permissible protective area of the object, thousand m ²	785	785	785
Coefficient of territorial impact on the environment	51.6	29.6	33.9
Atmospheric emission parameter	2.8	1.3	0.8
Hydroecological sustainability parameter	0.76	0.96	0.96
Soil contamination and degradation parameter	0.18	0.14	0.17

Step 4. Data analysis and interpretation of results

At the fourth stage, a comprehensive analysis of the obtained data and their interpretation was carried out in order to identify the degree of impact of the asphalt concrete plant on the environment. Using the calculation results, a comparative analysis of the calculated parameters with the limit values was carried out, which made it possible to determine the levels of environmental impact on the ecosystems of industrial zones.

The analysis included key parameters such as the territorial impact coefficient, atmospheric emission parameter, hydroecological stability and soil degradation. Each of these parameters was assessed according to the level of impact on ecosystems. Table 6 presents the final assessment for each of the parameters.

Table 6. Analysis of parametric assessment by the level of negative impact for the objects under consideration
Таблица 6. Оценка параметров по уровню негативного воздействия для рассматриваемых объектов

Parameter	Object 1	Object 2	Object 3
Object area, thousand m ²	Low	Low	Low
Permissible protective area of the object, thousand m ²	High	Medium	Medium
Coefficient of territorial impact on the environment	Medium	Low	Low
Atmospheric emission parameter	Medium	Low	Low
Hydroecological sustainability parameter	Medium	Low	Low
Soil contamination and degradation parameter	Low	Low	Low

Based on the analysis of the environmental impact of the three asphalt plants, key differences and common trends were identified, which allow us to formulate the following conclusions:

1. Object 1 demonstrates a higher level of impact for a number of parameters, such as the permissible protective area, the territorial impact coefficient and the atmospheric emission parameter. This indicates the need for enhanced emission control and additional measures to reduce the negative impact on the environment.
2. Objects 2 and 3 show a lower level of impact, which indicates a more balanced interaction with the ecosystem. These sites are characterized by low values for most key parameters, which may indicate more efficient use of the territory and lower emissions.

Nevertheless, despite the low indicators, it is necessary to maintain a high level of environmental safety and conduct regular monitoring to prevent possible deterioration of the environmental situation.

Step 5. Developing recommendations and conclusions

Based on the analysis of the impact of road construction projects on industrial zone ecosystems, key environmental risks were identified and recommendations were proposed to minimize the negative impact on the environment. The main focus was on assessing the effectiveness of current environmental risk management strategies, as well as developing specific measures that can be implemented to improve the environmental situation at each facility. The study identified several critical aspects that require immediate corrective action, such as monitoring pollutant emissions, remediating soils, improving water management, and optimizing land use.

At the first stage of developing recommendations, the technological and organizational capabilities for each industrial zone were analyzed, including the specifics of their location, the capacity of asphalt plants, and the degree of impact on the environment. This made it possible to identify key risk areas and outline priority measures that can be implemented for each facility, taking into account its specifics.

One of the main areas is the modernization of treatment plants to reduce emissions into the atmosphere and minimize soil degradation. It is also important to introduce systems for continuous monitoring of the state of water resources, especially in areas with high levels of wastewater pollution. Effective use of buffer zones and recycling of industrial waste can also reduce the load on ecosystems, increasing their sustainability.

In addition, it is recommended to review approaches to the use of land in the industrial zone in order to optimize their distribution and reduce anthropogenic impact on the environment. This includes both improved zoning and the implementation of long-term plans for the reclamation of disturbed lands.

Moving on to specific recommendations for each of the objects under consideration, they are structured in accordance with the identified environmental risks and technological capabilities for their elimination. Table 7 presents key measures that can be implemented to reduce the negative impact on the environment and increase the sustainability of industrial zones.

Table 7. Recommendations for the objects under consideration
Таблица 7. Рекомендации для рассматриваемых объектов

Recommendations	Object 1	Object 2	Object 3
Equipment optimization	Modernization of gas cleaning plants	Upgrading to meet standards	Audit of technologies and implementation of alternative energy sources
Water resources monitoring	Implementation of water monitoring and purification systems	Continuation of monitoring programs	Expanding monitoring programs and control of effluents
Soil reclamation	Land reclamation and restoration of fertility	Monitoring and cleaning up contaminated soils	Minimizing soil contamination and buffer zones
Land use and zoning	Zoning and revision of land use	Developing long-term strategies	Developing long-term strategies taking into account environmental risks

4. Conclusions / Заключение

The application of the multiparametric methodology allowed for a comprehensive assessment of the environmental impact of road construction projects and the identification of key environmental risks requiring immediate attention. This methodology has proven its effectiveness in analyzing various impact aspects, such as air emissions, soil degradation, and impact on water resources:

1. Confirmation of the significance of the developed methodology. The use of a multiparameter methodology for assessing the impact of road construction projects on ecosystems has proven to be highly effective. The use of this technique allowed for an accurate and objective integration of many factors, which made it possible to conduct a comprehensive assessment of the state of the environment and develop specific measures to minimize the negative impact.
2. Identification of critical parameters. The study confirmed that the main impact of asphalt concrete plants is manifested in such parameters as atmospheric emissions (CO_2 , NO_x , SO_x) and soil degradation. This requires taking stricter measures to reduce emissions and improve the quality of the soil cover.
3. Recommendations for reducing the negative impact. As a result of the analysis, specific recommendations were developed to minimize environmental damage. These measures are aimed at modernizing equipment to improve emission purification, introducing water and soil resource monitoring systems, and improving the level of environmental safety.
4. Continuous monitoring and adjustment of standards. The data obtained confirm the need for regular monitoring of the environmental situation and adjustment of existing environmental standards for each facility. Constant monitoring of changes in conditions and factors of influence will allow us to adapt environmental protection measures and minimize environmental risks.

Thus, the implementation of recommendations developed on the basis of this methodology creates the basis for effective management of environmental risks at all stages of operation of road construction facilities.

Importantly, the proposed methodology represents a new approach to environmental impact assessment, as it complements the existing regulatory framework and provides an integrated multiparametric tool for identifying critical environmental risks. Its universality makes it suitable for application not only to asphalt plants but also to other industrial facilities with similar ecological profiles, and its use can improve the quality of decision-making in regional programs of ecological monitoring and sustainable industrial development.



Author contribution. All authors contributed equally to preparing the publication.

Вклад авторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Conflict of interest. Roman S. Fediuk has been a member of the editorial board of the journal "Architecture, Construction, Transport" since 2023. He did not participate in the decision-making process regarding the publication of this article. The manuscript underwent the standard peer-review procedure in accordance with the journal's editorial policy. The authors declare no other conflicts of interest.

Конфликт интересов. Федюк Р. С. является членом редакционной коллегии журнала «Архитектура, строительство, транспорт» с 2023 года. Он не принимал участия в принятии решения о публикации статьи, рукопись прошла стандартную процедуру рецензирования, предусмотренную редакционной политикой журнала. Авторам неизвестно о других конфликтах интересов.

References

1. Xu X., Wang S., Rong W. Construction of ecological network in Suzhou based on the PLUS and MSPA models. *Ecological Indicators*. 2023;154:110740. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110740>
2. Abdullah M. A. H., Rashid R. S. M., Amran M., Hejazii F., Azreen N. M., Fediuk R., et al. Recent trends in advanced radiation shielding concrete for construction of facilities: Materials and properties. *Polymers (Basel)*. 2022;14:2830. <https://doi.org/10.3390/polym14142830>

3. Han J., Zhou H., Lowik S., de Weerd-Nederhof P. Enhancing the understanding of ecosystems under innovation management context: Aggregating conceptual boundaries of ecosystems. *Industrial Marketing Management*. 2022;106:112–138. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.08.008>
4. McPhearson T., Cook E. M., Berbés-Blázquez M., Cheng C., Grimm N. B., Andersson E., et al. A social-ecological-technological systems framework for urban ecosystem services. *One Earth*. 2022;5(5):505–518. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.007>
5. Boom Y. J., Xuan D. L., Enfrin M., Swaney M., Masood H., Pramanik B. K., et al. Engineering properties, microplastics and emissions assessment of recycled plastic modified asphalt mixtures. *Science of the Total Environment*. 2023;893:164869. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164869>
6. Quevedo J. M. D., Uchiyama Y., Kohsaka R. A blue carbon ecosystems qualitative assessment applying the DPSIR framework: Local perspective of global benefits and contributions. *Marine Policy*. 2021;128:104462. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104462>
7. Nakhjiri A., Kakroodi A. A. Air pollution in industrial clusters: A comprehensive analysis and prediction using multi-source data. *Ecological Informatics*. 2024;80:102504. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102504>
8. Bantserova O. L., Sorokina V. O. The problem of preservation of the existing architectural and historical-cultural landscapes of resort cities of the South Coast of Crimea. *Construction Materials and Products*. 2023;6(1):18–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-18-28>
9. Fediuk R., Timokhin R., Mochalov A., Otsokov K., Lashina I. Performance properties of high-density impermeable cementitious paste. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2019;31(4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002633](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002633)
10. Abbas F. A., Alhamdo M. H. Thermal performance of asphalt solar collector by improving tube and slab characteristics. *International Journal of Thermofluids*. 2023;17:100293. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100293>
11. Pandey V. C. Fly ash deposits – a potential sink for carbon sequestration. In: *Phytomanagement of Fly Ash*. Elsevier; 2020. P. 235–255. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818544-5.00008-0>
12. Fediuk R., Yushin A. Composite binders for concrete with reduced permeability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016;116:012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/116/1/012021>
13. Zhang J., Hu R., Cheng X., Christos V., Philbin S. P., Zhao R., et al. Assessing the landscape ecological risk of road construction: The case of the Phnom Penh-Sihanoukville Expressway in Cambodia. *Ecological Indicators*. 2023;154:110582. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110582>
14. Sijing X., Gang L., Biao M. Vulnerability analysis of land ecosystem considering ecological cost and value: A complex network approach. *Ecological Indicators*. 2023;147:109941. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109941>
15. Anjum M., Siddique N., Younis H., Faiz Y., Shafique M. A., Mahnoor A., et al. Heavy metals and radionuclides in Islamabad's industrial area: A comprehensive analysis of soil and water pollution, source apportionment and health effects using statistical and geospatial tools. *Journal of Trace Elements and Minerals*. 2024;8:100127. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2024.100127>
16. Hu J., Zhang J., Li Y. Exploring the spatial and temporal driving mechanisms of landscape patterns on habitat quality in a city undergoing rapid urbanization based on GTWR and MGWR: The case of Nanjing, China. *Ecological Indicators*. 2022;143:109333. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109333>
17. Wang S., Yao W., Ma Y., Shang E., Zhang S., Chen F., et al. Optimizing natural boundary definition and functional zoning in protected areas: An integrated framework encompassing species, landscapes and ecosystems. *Global Ecology and Conservation*. 2024;49:e02781. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02781>
18. Liu H., Zhang M., Du J., Zhou Y., Yi Y. Exploring zonation strategy in land management of urban agglomeration. *Ecological Indicators*. 2022;145:109664. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109664>
19. Khaniabadi Y. O., Goudarzi G., Daryanoosh S. M., Borgini A., Tittarelli A., De Marco A. Exposure to PM₁₀, NO₂, and O₃ and impacts on human health. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24:2781–2789. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8038-6>
20. Cerceau J., Junqua G., Gonzalez C., Lopez-Ferber M., Mat N. Industrial ecology and the building of territorial knowledge: DEPART, a French research action program implemented in harbor territories. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012;40:622–630. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.240>
21. Zhao H., Xu X., Tang J., Wang Z., Miao C. Understanding the key factors and future trends of ecosystem service value to support the decision management in the cluster cities around the Yellow River floodplain area. *Ecological Indicators*. 2023;154:110544. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110544>

22. Zhao J., Yu Q., Xu C., Ma J., Liu W., Sun W., et al. Integrated approach for ecological restoration and ecological spatial network optimization with multiple ecosystem functions in mining areas. *Ecological Indicators*. 2023;156:111141. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111141>
23. Zhang P., Shi J. Slow recovery of natural ecosystems as an important factor restricting regional coordinated development. *Ecological Indicators*. 2024;158:111435. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111435>
24. Petrov A.M., Magomedov R.M., Savina S.V. Ecological safety of construction in the concept of sustainable development. *Construction Materials and Products*. 2023;6(1):5–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-5-17>
25. Wu X., Liu H., Liu W. Exploring the spatiotemporal evolution dynamic and influencing factor of green ecology transition for megacities: A case study of Chengdu, China. *Ecological Indicators*. 2024;158:111285. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111285>
26. Zhang D., Wu L., Huang S., Zhang Z., Ahmad F., Zhang G., et al. Ecology and environment of the Belt and Road under global climate change: A systematic review of spatial patterns, cost efficiency, and ecological footprints. *Ecological Indicators*. 2021;131:108237. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108237>
27. Ganzen E. V. Research of the response surface of the integral potential of capital repairs and reconstruction of public buildings in the fuzzy inference system. *Construction Materials and Products*. 2022;5(2):35–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-2-35-42>
28. Guo J., Rong Y., Zhu J., Yan Y., Du J., Zheng L., et al. Industrial development zoning with dual objectives of spatial development suitability and ecosystem service value: A case study in Xiaonanhai Hydropower Station basin. *Ecological Indicators*. 2024;158:111522. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111522>
29. Fuentes Barrera G. A., Gabarrell i Durany X., Rieradevall Pons J., Guerrero Erazo J. G. Trends in global research on industrial parks: A bibliometric analysis from 1996–2019. *Heliyon*. 2021;7(8):e07778. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07778>
30. Gokul P. R., Mathew A., Bhosale A., Nair A. T. Spatio-temporal air quality analysis and PM2.5 prediction over Hyderabad City, India using artificial intelligence techniques. *Ecological Informatics*. 2023;76:102067. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102067>
31. Xue B., Xiao X., Li J. Identification method and empirical study of urban industrial spatial relationship based on POI big data: A case of Shenyang City, China. *Geography and Sustainability*. 2020;1(2):152–162. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.06.003>
32. Yin H., Guo B., Huang X., Huo Z., Zhao L. Scenario-based analysis for industrial project planning in the context of carbon peaking: Case study city, China. *Clean Energy Systems*. 2023;10:100134. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100134>
33. David L. M., Nair P. R. Tropospheric column O₃ and NO₂ over the Indian region observed by Ozone Monitoring Instrument (OMI): Seasonal changes and long-term trends. *Atmospheric Environment*. 2013;65:25–39. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.09.033>
34. Martinez-Alier J. Mapping ecological distribution conflicts: The EJAtlas. *The Extractive Industries and Society*. 2021;8(4):100883. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.02.003>
35. Sovacool B. K., Iskandarova M., Hall J. Industrializing theories: A thematic analysis of conceptual frameworks and typologies for industrial sociotechnical change in a low-carbon future. *Energy Research and Social Science*. 2023;97:102954. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.102954>
36. Salat S., Bourdic L. Power laws for energy efficient and resilient cities. *Procedia Engineering*. 2011;21:1193–1198. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2130>
37. Pai J.-T., Hu D., Liao W.-W. Research on eco-efficiency of industrial parks in Taiwan. *Energy Procedia*. 2018;152:691–697. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.09.232>
38. Yang S. Evaluation of urban ecological security model based on GIS sensing and MCR model. *Measurement: Sensors*. 2024;33:101206. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101206>
39. Nong K., Lin J., Sun D. Spatiotemporal patterns, effects, and the interactive driving mechanisms of urban sustainability based on the eco-efficiency framework: Evidence from Chinese prefecture-level cities. *Environmental Sustainability Indicators*. 2024;23:100391. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100391>
40. Sheina S. G., Khamavova A. A. Technique for the Russian Federation regional territories assessment used to create industrial parks network. *Procedia Engineering*. 2016;150:1960–1965. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.198>

41. Schlüter L., Mortensen L., Gjerding A.N., Kørnøv L. Can we replicate eco-industrial parks? Recommendations based on a process model of EIP evolution. *Journal of Cleaner Production*. 2023;429:139499. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139499>
42. Luo Q., Bao Y., Wang Z., Chen X., Wei W., Fang Z. Vulnerability assessment of urban remnant mountain ecosystems based on ecological sensitivity and ecosystem services. *Ecological Indicators*. 2023;151:110314. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110314>
43. Omelchenko E., Trushkova E., Sitnik S., Bogatina A. Study of the effectiveness of innovative air purification systems used in the design of road construction enterprises. *Transportation Research Procedia*. 2022;61:594–599. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.096>
44. Zhao Y., Li S., Li T., Chen X., Chen J., Wang K. Integrating improved ecosystem status assessment and ecosystem management urgency to identify important zones for ecological protection and restoration. *Ecological Indicators*. 2024;162:112033. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112033>
45. Tolstykh T., Gamidullaeva L., Shmeleva N., Gromov S., Ermolenko A. Megapolis as a symbiosis of socio-economic ecosystems: The role of collaboration. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2022;8(3):126. <https://doi.org/10.3390/joitmc8030126>
46. Wang L., Zheng H., Chen Y., Ouyang Z., Hu X. Systematic review of ecosystem services flow measurement: Main concepts, methods, applications and future directions. *Ecosystem Services*. 2022;58:101479. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101479>
47. Mugahed Amran Y. H., El-Zeadani M., Huei Lee Y., Yong Lee Y., Murali G., Fediuk R. Design innovation, efficiency and applications of structural insulated panels: A review. *Structures*. 2020;27:1358–1379. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.07.044>
48. Masoud A. A. Spatio-temporal patterns and trends of the air pollution integrating MERRA-2 and in situ air quality data over Egypt (2013–2021). *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2023;16:1543–1570. <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01357-6>

Список литературы

1. Xu X., Wang S., Rong W. Construction of ecological network in Suzhou based on the PLUS and MSPA models. *Ecological Indicators*. 2023;154:110740. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110740>
2. Abdullah M. A. H., Rashid R. S. M., Amran M., Hejazii F., Azreen N. M., Fediuk R., et al. Recent trends in advanced radiation shielding concrete for construction of facilities: Materials and properties. *Polymers (Basel)*. 2022;14:2830. <https://doi.org/10.3390/polym14142830>
3. Han J., Zhou H., Lowik S., de Weerd-Nederhof P. Enhancing the understanding of ecosystems under innovation management context: Aggregating conceptual boundaries of ecosystems. *Industrial Marketing Management*. 2022;106:112–138. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.08.008>
4. McPhearson T., Cook E. M., Berbés-Blázquez M., Cheng C., Grimm N. B., Andersson E., et al. A social-ecological-technological systems framework for urban ecosystem services. *One Earth*. 2022;5(5):505–518. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.007>
5. Boom Y. J., Xuan D. L., Enfrin M., Swaney M., Masood H., Pramanik B. K., et al. Engineering properties, microplastics and emissions assessment of recycled plastic modified asphalt mixtures. *Science of the Total Environment*. 2023;893:164869. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164869>
6. Quevedo J. M. D., Uchiyama Y., Kohsaka R. A blue carbon ecosystems qualitative assessment applying the DPSIR framework: Local perspective of global benefits and contributions. *Marine Policy*. 2021;128:104462. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104462>
7. Nakhjiri A., Kakroodi A. A. Air pollution in industrial clusters: A comprehensive analysis and prediction using multi-source data. *Ecological Informatics*. 2024;80:102504. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102504>
8. Банцеров О. Л., Сорокина В. О. Проблема сохранения существующего архитектурного и историко-культурного ландшафта курортных городов южного берега Крыма. *Строительные материалы и изделия*. 2023;6(1):18–28. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-18-28>
9. Fediuk R., Timokhin R., Mochalov A., Otsokov K., Lashina I. Performance properties of high-density impermeable cementitious paste. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2019;31(4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002633](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002633)
10. Abbas F. A., Alhamdo M. H. Thermal performance of asphalt solar collector by improving tube and slab characteristics. *International Journal of Thermofluids*. 2023;17:100293. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100293>

11. Pandey V. C. Fly ash deposits – a potential sink for carbon sequestration. In: *Phytomanagement of Fly Ash*. Elsevier; 2020. P. 235–255. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818544-5.00008-0>
12. Fediuk R., Yushin A. Composite binders for concrete with reduced permeability. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016;116:012021. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/116/1/012021>
13. Zhang J., Hu R., Cheng X., Christos V., Philbin S. P., Zhao R., et al. Assessing the landscape ecological risk of road construction: The case of the Phnom Penh-Sihanoukville Expressway in Cambodia. *Ecological Indicators*. 2023;154:110582. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110582>
14. Sijing X., Gang L., Biao M. Vulnerability analysis of land ecosystem considering ecological cost and value: A complex network approach. *Ecological Indicators*. 2023;147:109941. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109941>
15. Anjum M., Siddique N., Younis H., Faiz Y., Shafique M.A., Mahnoor A., et al. Heavy metals and radionuclides in Islamabad's industrial area: A comprehensive analysis of soil and water pollution, source apportionment and health effects using statistical and geospatial tools. *Journal of Trace Elements and Minerals*. 2024;8:100127. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2024.100127>
16. Hu J., Zhang J., Li Y. Exploring the spatial and temporal driving mechanisms of landscape patterns on habitat quality in a city undergoing rapid urbanization based on GTWR and MGWR: The case of Nanjing, China. *Ecological Indicators*. 2022;143:109333. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109333>
17. Wang S., Yao W., Ma Y., Shang E., Zhang S., Chen F., et al. Optimizing natural boundary definition and functional zoning in protected areas: An integrated framework encompassing species, landscapes and ecosystems. *Global Ecology and Conservation*. 2024;49:e02781. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02781>
18. Liu H., Zhang M., Du J., Zhou Y., Yi Y. Exploring zonation strategy in land management of urban agglomeration. *Ecological Indicators*. 2022;145:109664. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109664>
19. Khaniabadi Y. O., Goudarzi G., Daryanoosh S. M., Borgini A., Tittarelli A., De Marco A. Exposure to PM₁₀, NO₂, and O₃ and impacts on human health. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24:2781–2789. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8038-6>
20. Cerceau J., Junqua G., Gonzalez C., Lopez-Ferber M., Mat N. Industrial ecology and the building of territorial knowledge: DEPART, a French research action program implemented in harbor territories. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2012;40:622–630. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.03.240>
21. Zhao H., Xu X., Tang J., Wang Z., Miao C. Understanding the key factors and future trends of ecosystem service value to support the decision management in the cluster cities around the Yellow River floodplain area. *Ecological Indicators*. 2023;154:110544. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110544>
22. Zhao J., Yu Q., Xu C., Ma J., Liu W., Sun W., et al. Integrated approach for ecological restoration and ecological spatial network optimization with multiple ecosystem functions in mining areas. *Ecological Indicators*. 2023;156:111141. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111141>
23. Zhang P., Shi J. Slow recovery of natural ecosystems as an important factor restricting regional coordinated development. *Ecological Indicators*. 2024;158:111435. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111435>
24. Петров А. М., Магомедов Р. М., Савина С. В. Экологическая безопасность строительства в концепции устойчивого развития. *Строительные материалы и изделия*. 2023;6(1):5–17. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-1-5-17>
25. Wu X., Liu H., Liu W. Exploring the spatiotemporal evolution dynamic and influencing factor of green ecology transition for megacities: A case study of Chengdu, China. *Ecological Indicators*. 2024;158:111285. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111285>
26. Zhang D., Wu L., Huang S., Zhang Z., Ahmad F., Zhang G., et al. Ecology and environment of the Belt and Road under global climate change: A systematic review of spatial patterns, cost efficiency, and ecological footprints. *Ecological Indicators*. 2021;131:108237. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108237>
27. Ганзен Е. В. Исследование поверхности отклика интегрального потенциала капитального ремонта и реконструкции общественных зданий в системе нечеткого вывода. *Строительные материалы и изделия*. 2022;5(2):35–42. <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2022-5-2-35-42>
28. Guo J., Rong Y., Zhu J., Yan Y., Du J., Zheng L., et al. Industrial development zoning with dual objectives of spatial development suitability and ecosystem service value: A case study in Xiaonanhai Hydropower Station basin. *Ecological Indicators*. 2024;158:111522. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111522>
29. Fuentes Barrera G. A., Gabarrell i Durany X., Rieradevall Pons J., Guerrero Erazo J. G. Trends in global research on industrial parks: A bibliometric analysis from 1996–2019. *Heliyon*. 2021;7(8):e07778. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07778>

30. Gokul P. R., Mathew A., Bhosale A., Nair A. T. Spatio-temporal air quality analysis and PM_{2.5} prediction over Hyderabad City, India using artificial intelligence techniques. *Ecological Informatics*. 2023;76:102067. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102067>
31. Xue B., Xiao X., Li J. Identification method and empirical study of urban industrial spatial relationship based on POI big data: A case of Shenyang City, China. *Geography and Sustainability*. 2020;1(2):152–162. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.06.003>
32. Yin H., Guo B., Huang X., Huo Z., Zhao L. Scenario-based analysis for industrial project planning in the context of carbon peaking: Case study city, China. *Clean Energy Systems*. 2023;10:100134. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100134>
33. David L. M., Nair P. R. Tropospheric column O₃ and NO₂ over the Indian region observed by Ozone Monitoring Instrument (OMI): Seasonal changes and long-term trends. *Atmospheric Environment*. 2013;65:25–39. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.09.033>
34. Martinez-Alier J. Mapping ecological distribution conflicts: The EJAtlas. *The Extractive Industries and Society*. 2021;8(4):100883. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.02.003>
35. Sovacool B. K., Iskandarova M., Hall J. Industrializing theories: A thematic analysis of conceptual frameworks and typologies for industrial sociotechnical change in a low-carbon future. *Energy Research and Social Science*. 2023;97:102954. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.102954>
36. Salat S., Bourdic L. Power laws for energy efficient and resilient cities. *Procedia Engineering*. 2011;21:1193–1198. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2130>
37. Pai J.-T., Hu D., Liao W.-W. Research on eco-efficiency of industrial parks in Taiwan. *Energy Procedia*. 2018;152:691–697. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.09.232>
38. Yang S. Evaluation of urban ecological security model based on GIS sensing and MCR model. *Measurement: Sensors*. 2024;33:101206. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101206>
39. Nong K., Lin J., Sun D. Spatiotemporal patterns, effects, and the interactive driving mechanisms of urban sustainability based on the eco-efficiency framework: Evidence from Chinese prefecture-level cities. *Environmental Sustainability Indicators*. 2024;23:100391. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100391>
40. Sheina S. G., Khamavova A. A. Technique for the Russian Federation regional territories assessment used to create industrial parks network. *Procedia Engineering*. 2016;150:1960–1965. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.198>
41. Schlüter L., Mortensen L., Gjerding A.N., Kørnøv L. Can we replicate eco-industrial parks? Recommendations based on a process model of EIP evolution. *Journal of Cleaner Production*. 2023;429:139499. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139499>
42. Luo Q., Bao Y., Wang Z., Chen X., Wei W., Fang Z. Vulnerability assessment of urban remnant mountain ecosystems based on ecological sensitivity and ecosystem services. *Ecological Indicators*. 2023;151:110314. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110314>
43. Omelchenko E., Trushkova E., Sitnik S., Bogatina A. Study of the effectiveness of innovative air purification systems used in the design of road construction enterprises. *Transportation Research Procedia*. 2022;61:594–599. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.01.096>
44. Zhao Y., Li S., Li T., Chen X., Chen J., Wang K. Integrating improved ecosystem status assessment and ecosystem management urgency to identify important zones for ecological protection and restoration. *Ecological Indicators*. 2024;162:112033. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112033>
45. Tolstykh T., Gamidullaeva L., Shmeleva N., Gromov S., Ermolenko A. Megapolis as a symbiosis of socio-economic ecosystems: The role of collaboration. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2022;8(3):126. <https://doi.org/10.3390/joitmc8030126>
46. Wang L., Zheng H., Chen Y., Ouyang Z., Hu X. Systematic review of ecosystem services flow measurement: Main concepts, methods, applications and future directions. *Ecosystem Services*. 2022;58:101479. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101479>
47. Mugahed Amran Y. H., El-Zeadani M., Huei Lee Y., Yong Lee Y., Murali G., Fediuk R. Design innovation, efficiency and applications of structural insulated panels: A review. *Structures*. 2020;27:1358–1379. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.07.044>
48. Masoud A. A. Spatio-temporal patterns and trends of the air pollution integrating MERRA-2 and in situ air quality data over Egypt (2013–2021). *Air Quality, Atmosphere & Health*. 2023;16:1543–1570. <https://doi.org/10.1007/s11869-023-01357-6>



Information about the authors

Nikolay I. Shestakov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Urban Planning, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, SHestakovNI@mgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6809-4993>

Nina V. Danilina, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Urban Planning, Corresponding Member of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, danilinanv@mgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9465-6435>

Roman S. Fediuk, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor in the Department of Civil Engineering, Vladivostok State University; Researcher at the Far Eastern Scientific Research, Design and Technological Institute for Construction, Vladivostok, Russian Federation, roman44@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2279-1240>

Mohammad Hematibahar, Postgraduate in the Department of Urban Planning, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0090-5745>

Valery I. Petukhov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Deputy Director of the Polytechnic Institute, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, petukhov.vi@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0088-7567>

Информация об авторах

Шестаков Николай Игоревич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры градостроительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация, SHestakovNI@mgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6809-4993>

Данилина Нина Васильевна, д-р техн. наук, доцент, заведующая кафедрой градостроительства, член-корреспондент Российской академии архитектуры и строительных наук, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация, danilinanv@mgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9465-6435>

Федюк Роман Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры промышленного и гражданского строительства, Владивостокский государственный университет; научный сотрудник Дальневосточного научно-исследовательского института по строительству, Владивосток, Российская Федерация, roman44@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2279-1240>

Хематибахар Мохаммад, аспирант кафедры градостроительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-0090-5745>

Петухов Валерий Иванович, д-р техн. наук, профессор, заместитель директора Политехнического института, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация, petukhov.vi@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0088-7567>

Received 04 августа 2025, Approved 20 September 2025, Accepted for publication 25 September 2025

Получена 04 августа 2025 г., одобрена 20 сентября 2025 г., принята к публикации 25 сентября 2025 г.

Научная статья / Original research article

УДК 626.226

DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-74-82>EDN: <https://elibrary.ru/fmigtk>2.9.5 Эксплуатация автомобильного
транспорта (технические науки)

Параметры пневмоаккумулятора погрузочно-разгрузочного оборудования экскаватора

И. А. Тетерина ✉, А. Б. Летополюский, А. В. Жданов

Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет

Омск, Проспект Мира, 5, 644080, Российская Федерация

✉ iateterina@mail.ru

Аннотация. Одним из наиболее эффективных методов разработки грунтов повышенной прочности, в том числе мерзлых, остается ударное разрушение с использованием рабочих органов активного действия. Наиболее целесообразным в этом случае представляется использование ударных устройств в качестве самостоятельного сменного или модернизированного погрузочно-разгрузочного оборудования к базовым машинам, например, к экскаваторам с гидроприводом. Ключевым преимуществом такого решения является возможность выполнения полного цикла работ от разрушения прочного или мерзлого грунта до его погрузки в транспортные средства или отвалы без смены рабочего органа. В результате анализа существующих конструкций ковшей предложено новое конструктивное решение – ковш активного действия, в качестве которого рассматривалась конструкция гидропневмоударника погрузочно-разгрузочного оборудования. Приведенные технические характеристики гидропневмоударника ковша активного действия учитывают требования как к процессу разрушения, так и к эффективности погрузки разработанного материала. Представлены расчетные зависимости, позволяющие определить основные параметры пневмоаккумулятора гидроударного устройства. Наиболее важными из них являются: масса бойка, энергия удара, давление газа и давление зарядки. Эти параметры критичны для обеспечения необходимой энергии удара при разработке грунта и надежной работы устройства в цикле погрузки. Представлены графические зависимости длины пневмоаккумулятора от его диаметра и зависимость энергии пневмоаккумулятора от давления зарядки.

Ключевые слова: пневмоаккумулятор, гидроударник, ковш активного действия, грунт повышенной прочности, методы разработки грунта

Для цитирования: Тетерина И. А., Летополюский А. Б., Жданов А. В. Параметры пневмоаккумулятора погрузочно-разгрузочного оборудования экскаватора. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(3):74–82. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-74-82> EDN: FMIGTK

Parameters of the pneumatic accumulator for excavator loading and unloading equipment

Irina A. Teterina ✉, Anton B. Letopolsky, Aleksey V. Zhdanov

Siberian State Automobile and Highway University

Omsk, 5 Prospect Mira St., 644080, Russian Federation

✉ iateterina@mail.ru

► **Abstract.** One of the most effective methods of developing high-strength soils, including frozen soils, is impact destruction using active-type mechanisms. In this case, the most appropriate application is using impact devices as independent replaceable or modernized loading and unloading equipment for base machines, for example, for excavators with hydraulic drive. The key advantage is the ability to perform a full cycle of work: from the destruction of solid or frozen soil to its direct loading into vehicles or dumps without changing the working implement. After analyzing existing bucket types, we developed an active-type bucket, which was considered to be the design of a hydraulic-pneumatic impact mechanism for loading and unloading equipment. Defined technical specifications of a hydraulic-pneumatic impact mechanism for an active-type bucket take into account both the requirements for the destruction process and the soil loading efficiency. The study presents calculated dependences for determining the main parameters of the pneumatic accumulator of the hydraulic impact mechanism. The most important of these are striker mass, impact energy, gas pressure, and charging pressure. These parameters are necessary to ensure the required impact energy during excavation and reliable operation of the device during the loading cycle. Graphs were presented showing the correlation between pneumatic accumulator length and diameter, and the dependence of pneumatic accumulator energy on charging pressure.

Keywords: pneumatic accumulator, hydraulic impact mechanism, active-type bucket, high-strength soil, methods of developing soils

For citation: Teterina I. A., Letopolsky A. B., Zhdanov A. V. Parameters of the pneumatic accumulator for excavator loading and unloading equipment. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(3):74–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-74-82>



1. Введение / Introduction

В связи с растущими объемами строительства автодорог, газо- и нефтепроводов, а также промышленных и коммунальных сооружений возникает необходимость создания высокоэффективной техники для разработки мерзлых грунтов в зимнее время в условиях Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации [1, 2].

Технологию производства земляных работ в зимнее время следует выбирать с учетом рационального использования оборудования, физико-механических свойств мерзлых грунтов, климатических условий, объема работ и наиболее экономичных способов проведения подготовительных мероприятий, позволяющих снизить стоимость экскавации грунта [3, 4].

Одним из перспективных направлений разработки мерзлых грунтов остается ударное разрушение с помощью рабочих органов активного действия. Наиболее целесообразным в этом вопросе представляется использование ударных устройств в качестве сменного оборудования к базовым машинам, например, к экскаваторам с гидроприводом [5, 6].

Разработку мерзлого грунта в стесненных условиях, на площадках с небольшим фронтом работ и на участках вблизи промышленных и гражданских объектов можно осуществить, оснастив экскаватор с гидроприводом сменным оборудованием в виде ковша активного действия с гидроударниками [7]. На сегодняшний день в одной только базе Роспатента насчитывается несколько сотен конструкций ковшей экскаваторов. В результате их модернизации путем включения в конструкцию гидроударных устройств могут быть разработаны конструктивные решения ковшей активного действия [8].

Выбор конструктивного оформления гидроударников зависит от требований, предъявляемых к таким устройствам:

- конструкция должна быть простой, надежной и ремонтпригодной; обеспечивать возможность независимого регулирования энергии и частоты ударов, а также хода подвижных масс ударника; обеспечивать работу при низких температурах;

- рабочий инструмент должен быть сменным;
 - питание ударников должно производиться от гидропривода базовой машины [9, 10].
- Кроме того, ударники ковша активного действия должны иметь минимальные габариты и массу, чтобы при необходимости можно было установить сменное оборудование на экскаватор другой размерной группы [11].

Объектом настоящего исследования являлся пневмоаккумулятор гидроударного устройства ковша экскаватора. Цель исследования – определить основные параметры (массу бойка, энергию, давление газа и давление зарядки) пневмоаккумулятора гидроударного устройства ковша активного действия.

Задачи исследования:

- разработать вариант модернизированного оборудования ковша активного действия;
- определить основные параметры пневмоаккумулятора для экскаватора, оснащенного ковшом активного действия.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Теоретическое исследование проводилось с использованием комплексной методики. В ходе патентного поиска, направленного на изучение существующих технических решений гидроударников, ковшей активного действия и способов крепления оборудования к базовым машинам, был выполнен анализ недостатков и определены ограничения существующих конструкций (низкая эффективность, высокие энергозатраты, необходимость частой смены оборудования). С учетом этого было предложено новое конструктивное решение. Использование расчетно-конструктивного метода позволило определить зависимость между исследуемыми параметрами и доказать рациональность использования предлагаемого технического решения.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

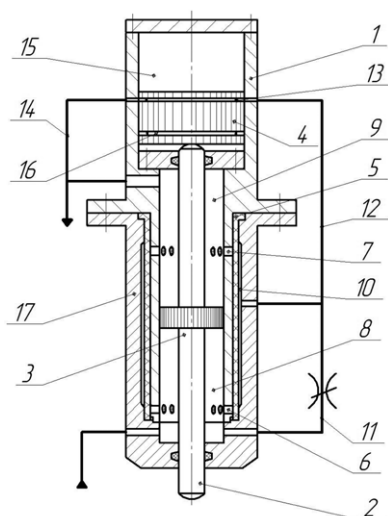
Ковш активного действия представляет собой рабочий орган экскаватора, на днище которого установлена приставка активного действия, состоящая из корпуса, трех гидропневмоударников с зубьями и трубопроводов. Гидропневмоударники включаются в работу при встрече зубьев с препятствием повышенной прочности (мерзлый грунт, включения камней и т. д.) [12].

При отсутствии достаточного сопротивления гидропневмоударники автоматически отключаются. Разработка незамерзшего грунта происходит обычным способом без включения привода ударных устройств. Одним из вариантов гидропневмоударников ковша активного действия может быть устройство с упругим запорно-регулирующим механизмом, выполненное по схеме, представленной на рис. 1 [13]. Технические характеристики такого устройства отражены в таблице 1.

Работу гидроударника можно описать следующим образом. Поршень пневмоаккумулятора, который приводится в действие штоком при помощи бойка, перемещается под действием обрабатываемой среды [12, 13]. При этом происходит перекрытие сливного канала. Состояние запорно-регулирующего элемента – закрытое, каналы взводящей и сливной камер перекрыты. Происходит взвод ударного устройства. В конце взвода поршень через проточку соединяет полость со сливной магистралью. Давление над запорно-регулирующим элементом падает, отвер-

Таблица 1. Технические характеристики гидропневмоударника ковша активного действия
Table 1. Technical specifications of a hydraulic-pneumatic impact mechanism for an active-type bucket

Показатель	Значение
Энергия удара	до 1 кДж
Частота ударов	до 180 мин ⁻¹
Максимальное давление в гидросистеме	12 МПа
Расход жидкости	160 дм ³ /мин
Начальное давление зарядки аккумулятора	1.2 МПа



- 1 – корпус поршня / piston housing;
- 2 – боек / striker;
- 3 – шток / rod;
- 4 – поршень / piston;
- 5 – запорно-регулирующий элемент / locking and regulating element;
- 6, 7 – канал / channel;
- 8 – взводящая камера / cocking chamber;
- 9 – сливная камера / drain chamber;
- 10 – кольцевая управляющая полость / annular control space;
- 11, 12 – камера / chamber;
- 13, 16 – проточка / groove;
- 14 – сливная магистраль / drain port;
- 15 – газовая камера / gas chamber;
- 17 – стакан / housing

Рис. 1. Гидравлическое устройство [13]
Fig. 1. Hydraulic mechanism [13]

ствия каналов соединяются между собой. Под действием сжатого газа камеры совершается рабочий ход бойка [12]. В процессе рабочего хода жидкость из одной камеры вытесняется в другую камеру и пространство под цилиндрическим запорно-регулирующим элементом. Нарастание давления в кольцевой управляющей полости сдерживается дросселем, который, кроме прочего, является элементом запаздывания в канале [12]. Жидкость из камеры выталкивается на слив в период взвода устройства. Далее следует повторение рабочего цикла [14, 15].

Для нормальной работы зубьев ковша при разрушении забоя и неравномерной нагрузке должна быть обеспечена независимость работы зубьев, их включение и отключение должно осуществляться автоматически в зависимости от нагрузки [16, 17].

При разработке конструкции ковша активного действия, оснащенного гидропневмоударниками, в первую очередь необходимо определить основные параметры пневмоаккумулятора гидроударного устройства. К ним относятся: длина гидроударника, энергия удара, масса бойка, энергия сжатого газа, давление зарядки аккумулятора.

Длина гидроударника не должна превышать длину стандартного ковша экскаватора [18]:

$$l_y \leq l_k, \quad (1)$$

где l_y – длина ударника, мм;

l_k – длина ковша, мм.

С учетом того, что кроме ударника в ковше экскаватора необходимо поместить направляющие активных зубьев, длину ударного устройства из конструктивных соображений требуется сократить до 100 мм. Для размещения внутри ковша напорного и сливного коллекторов необходимо примерно 50 мм длины.

Основой для расчета энергии ударного устройства является определение энергии сжатого газа пневмоаккумулятора.

Расчет необходимой энергии аккумулятора произведен исходя из удельной энергии на единицу ширины зуба $b_u = 100$ Дж/см. Таким образом, при заданной ширине зуба $b_u = 5 \cdot 10^{-2}$ м необходимо иметь энергию удара 500 Дж.

Энергия удара определяется кинематической энергией соударения подвижных частей ударника с инструментом:

$$E_y = \frac{m_\delta \cdot u_p^2}{2}, \quad (2)$$

где E_y – энергия удара, Дж;

m_δ – масса бойка, кг;

u_p – скорость разгона бойка при ударе, м/с.

Таким образом, для получения заданной энергии удара при максимальной скорости бойка его массу можно найти по формуле:

$$m_\delta = \frac{E_y}{32}. \quad (3)$$

Рациональная степень сжатия газа в аккумуляторе определена по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{l}{l_o}, \quad (4)$$

где $\mathcal{E}$ – степень сжатия газа;

l и l_o – максимальная и минимальная длина аккумулятора, мм.

В результате расчетов для данного случая масса подвижных частей гидропневмоударника составила 16 кг, рациональная степень сжатия газа – 1.93.

Энергия сжатого газа пневмоаккумулятора определена из выражения [19]:

$$A_a = \frac{\pi D_a^2}{4(n-1)} \left(1 - \frac{1}{\mathcal{E}^{0.4}} \right) p_2 l_o = 1.15 \frac{m u_2^2}{2}, \quad (5)$$

где A_a – энергия сжатого газа аккумулятора, Дж;

πD_a^2 – диаметр поршня, мм;

l_o – начальная длина аккумулятора, мм;

p_2 – максимальное рабочее давление газа в аккумуляторе, Па;

n – показатель политропы, $n=1.4$.

В результате преобразований формула (5) приняла вид:

$$A_a = 0.56 \cdot p_2 \cdot x_p \cdot D_a^2, \quad (6)$$

где x_p – длина разгона, м.

Максимальное рабочее давление газа в аккумуляторе при заданных конструктивных размерах рабочего хода подвижных масс и диаметре поршня пневмоаккумулятора равно

$$p_2 = \frac{A}{0.56 \cdot x_p \cdot D_a^2}. \quad (7)$$

Давление зарядки аккумулятора определено по формуле (8) [20]:

$$p_o = p_d^k \cdot \mathcal{E}^n, \quad (8)$$

$$p_d^k = \frac{p_d^o}{\mathcal{E}^n}. \quad (9)$$

Начальная длина аккумулятора определена из выражения:

$$l_o = \frac{x_p}{0.93}. \quad (10)$$

Габариты гидроударного устройства в значительной мере зависят от геометрических параметров пневмоаккумулятора.

На рис. 2 представлены зависимости размеров пневмоаккумулятора от диаметра поршня при различных значениях степени сжатия газа. Зависимости построены при постоянном значении энергии (2 000 Дж), развиваемой пневмоаккумулятором. Показатель политропы $n = 1.2$, максимальное рабочее давление сжатого газа $p_2 = 2.0$ МПа.

Из графика видно, что с уменьшением диаметра поршня увеличивается длина пневмоаккумулятора и, как следствие, габариты гидроударного устройства. Выбор диаметра поршня осуществляется с учетом диаметра поршней в гидроцилиндрах экскаватора (для унификации уплотняющих элементов), а также с учетом конструктивных соображений, например, для обеспечения требуемой массы подвижных частей.

На рис. 3 представлена зависимость энергии, запасаемой пневмоаккумулятором, от давления зарядки.

На графике представлена зависимость диаметра поршня пневмоаккумулятора ($d_n = 125$ мм) от давления зарядки аккумулятора. Показатель политропы газа $n = 1.2$, степень сжатия газа $\varepsilon = 2.72$, эффективный объем газа $V_o = 3.7$ дм³. График свидетельствует о линейной связи между энергией, запасаемой пневмоаккумулятором, и давлением его зарядки.

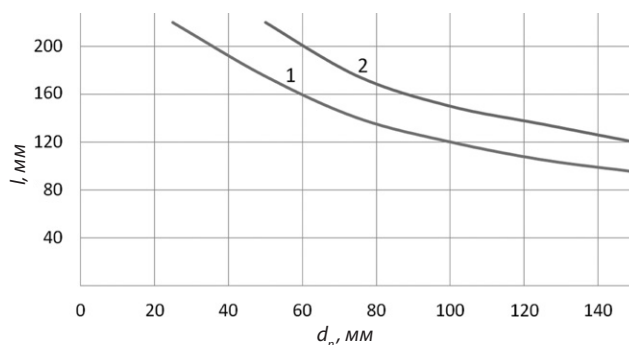


Рис. 2. Зависимость длины пневмоаккумулятора от диаметра поршня при значениях степени сжатия газа: 1 – 2.5; 2 – 1.75 (график составлен авторами)
Fig. 2. The correlation between pneumatic accumulator length and piston diameter at gas compression ratios: 1 – 2.5; 2 – 1.75 (graph created by the authors)

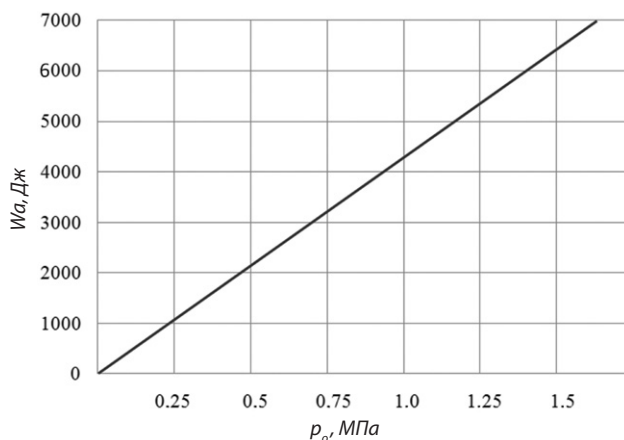


Рис. 3. Зависимость энергии пневмоаккумулятора от давления его зарядки (график составлен авторами)
Fig. 3. The correlation between pneumatic accumulator energy and its charging pressure (graph created by the authors)

4. Заключение / Conclusions

К результатам представленного в статье исследования можно отнести следующее:

1. Предложена конструкция гидравлического устройства для модернизации погрузочно-разгрузочного оборудования экскаватора. Описан принцип его работы.
2. Представлены технические характеристики гидроударника.
3. Получены расчетные зависимости для определения параметров пневмоаккумулятора гидравлического устройства. Энергия удара 500 Дж. Длина ударного устройства не должна превышать 100 мм.
4. Результаты теоретических исследований представлены в виде графиков. Для давления сжатия газа в 2 МПа оптимальный диаметр поршня должен быть 120–130 мм.

Необходимо отметить, что представленные расчетные зависимости дают возможность определить основные параметры пневмоаккумулятора гидроударного механизма не только для ковша активного действия, но и для других ударных рабочих органов, например, гидромолота.



Вклад авторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.
Author contributions. All authors contributed equally to preparing the publication.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The authors declare no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Белых В. В. Вероятностные аспекты при работе зубьев ковша экскаватора. *Вестник СевКавГТИ*. 2010;(10):96–98.
2. Letopol'skiy A. B., Meshcheryakov V. A., Teterina I. A., Nikolaev D. I. Experimental studies of control process of working element of a single-bucket excavator. *Russian Engineering Research*. 2024;44:312–316. <https://doi.org/10.3103/S1068798X24700254>
3. Ветров Ю. А., Баладинский В. Л. *Машины для специальных земляных работ*. Киев: Вища школа; 1981. 192 с.
4. Галдин Н. С., Семенова И. А. Анализ и разработка конструкции многоствольного гидравлического молота с несколькими бойками в одном корпусе. *Строительные и дорожные машины*. 2022;(10):9–13. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ihdbxx>
5. Ovsyannikov V., Nekrasov R., Putilova U., Il'yaschenko D., Verkhoturova E. On the issue of automatic form accuracy during processing on CNC machines. *Revista Facultad de Ingenieria*. 2022;(103):88–95. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20201111>
6. Алексеева Т. В., Воловиков Б. П., Галдин Н. С., Шерман Э. Б. *Отдельные разделы гидропривода мобильных машин*. Омск: ОмПИ; 1989. 69 с.
7. Городилов Л. В., Маслов Н. А., Коровин А. Н. Оценка параметров системы гидроударных устройств ковша активного действия при прямом подключении к гидросистеме экскаватора II размерной группы. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2020;2:45–51. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2020-2-45-51>
8. Городилов Л. В., Коровин А. Н. Анализ конструкций ковшей активного действия карьерных и строительных экскаваторов. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2021;2:171–179. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2021-2-3-171-179>
9. Семенова И. А. Ковш гидравлического экскаватора с дополнительным гидроударным оборудованием. *Техника и технологии строительства*. 2016;(2):12. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26166650>
10. Щербаков В. С., Галдин Н. С., Семенова И. А., Галдин В. Н. Коэффициент полезного действия гидропневматического ударного устройства. *Строительные и дорожные машины*. 2019;(9):37–41. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41451723>
11. Коровин А. Н. Конструктивные схемы ковшей активного действия для гидравлических экскаваторов. *Фундаментальные и прикладные вопросы*. 2025;(1):25–32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80345369>
12. Letopolsky A. B., Korchagin P. A., Teterina I. A. Working equipment of the single-bucket excavator for the development of frozen ground. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;(709):044027. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/709/4/044027>
13. Орозов К. К. Гидравлические ударные механизмы. *Инженер*. 2015;(9):239–242. URL: <https://engineering.edu.kg/magazin/N9-2015/173.pdf>
14. Галдин Н. С., Шерман Э. Б. Исследование влияния конструктивных параметров гидроударника на скорость подвижных частей. В сб.: *Гидропривод и системы управления строительных, тяговых и дорожных машин*. Омск: ОмПИ; 1984. С. 53–57.
15. Шерман Э. Б., Лупинос С. П., Ракуленко Г. А., Трошин В. П., Гордиенко П. Ф., Кириков Р. П. *Гидроударное устройство*. СССР. Авторское свидетельство № 685819. 15 сентября 1979. URL: <https://patents.su/3-685819-gidroudarnoe-ustrojstvo.html>
16. Летопольский А. Б., Тетерина И. А. Определение устойчивости экскаватора при демонтаже трубопровода. В сб.: *Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые, мелиоративные машины и робототехнические комплексы, Москва, 12–13 мая 2022 г.* Москва: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева; 2022. С. 434–438.

17. Korchagin P. A., Teterina I. A., Letopolsky A. B. Effect of tire dynamic characteristics on vibration load at the operator's workplace. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1141:012097. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1441/1/012097>
18. Либберман Я. Л., Летнев К. Ю., Горбунова Л. Н. Об оптимальном управлении ударниками экскаваторного ковша активного действия. *Строительные и дорожные машины*. 2023;(1):20–23. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50770936>
19. Корчуганов В. А. К вопросу об исследовании ударных процессов гидромолотов. В сб.: *Научный потенциал молодежи и технический прогресс, Санкт-Петербург, 21 мая 2021 г.* Санкт-Петербург, 2021. С. 33–38. <https://doi.org/10.26160/2618-7493-2021-4-33-38>
20. Иванов Р. А., Жидков Г. Н. Определение производительности навесных гидроударных устройств при рыхлении мерзлых грунтов. *Механизация строительства*. 2009;(2):16–18.

References

1. Belykh V. V. Probabilistic aspects in the operation of excavator bucket teeth. *Vestnik SevKavGTI*. 2010;(10):96–98. (In Russ.)
2. Letopol'skiy A. B., Meshcheryakov V. A., Teterina I. A., Nikolaev D. I. Experimental studies of control process of working element of a single-bucket excavator. *Russian Engineering Research*. 2024;44:312–316. <https://doi.org/10.3103/S1068798X24700254>
3. Vetrov Yu. A., Baladinsky V. L. *Machines for special earthworks*. Kyiv: Vishcha shkola; 1981. (In Russ.)
4. Galdin N. S., Semenova I. A. Analysis and development of the design of a multi-barrel hydraulic hammer with several strikers in one body. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2022;(10):9–13. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ihdbxx>
5. Ovsyannikov V., Nekrasov R., Putilova U., Il'yaschenko D., Verkhoturova E. On the issue of automatic form accuracy during processing on CNC machines. *Revista Facultad de Ingenieria*. 2022;(103):88–95. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20201111>
6. Alekseyeva T. V., Volovikov B. P., Galdin N. S., Sherman E. B. *Separate sections of hydraulic drive of mobile machines*. Omsk: OmPI; 1989. (In Russ.)
7. Gorodilov L. V., Maslov N. A., Korovin A. N. Evaluation of parameters of hydraulic impact devices of active bucket with direct connection to the hydraulic system of II grade excavator. *Interexpo GEO-Siberia*. 2020;2:45–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2020-2-45-51>
8. Gorodilov L. V., Korovin A. N. Analysis of active bucket designs for quarry and construction excavators. *Interexpo Geo-Siberia*. 2021;2:171–179. (In Russ.) <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2021-2-3-171-179>
9. Semenova I. A. Hydraulic excavator bucket with additional hydraulic impact equipment. *Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva*. 2016;2(6):12. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26166650>
10. Shcherbakov V. S., Galdin N. S., Semenova I. A., Galdin V. N. The Efficiency of the hydropneumatic impact device. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2019;(9):37–41. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41451723>
11. Korovin A. N. Structural schemes of action buckets for hidravlic excavators. *Fundamental and applied transport issues*. 2025;(1):25–32. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80345369>
12. Letopolsky A. B., Korchagin P. A., Teterina I. A. Working equipment of the single-bucket excavator for the development of frozen ground. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;(709):044027. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/709/4/044027>
13. Orozov K. K. Hydraulic shock mechanisms. *Inzhener*. 2015;(9):239–242. (In Russ.) URL: <https://engineering.edu.kg/magazin/N9-2015/173.pdf>
14. Galdin N. S., Sherman E. B. Study of the influence of the design parameters of a hydraulic hammer on the speed of moving parts. In: *Gidroprivod i sistemy upravleniya stroitel'nykh, tyagovykh i dorozhnykh mashin*. Omsk: OmPI; 1984. P. 53–57. (In Russ.)
15. Sherman E. B., Lupinos S. P., Rakulenko G. A., Troshin V. P., Gordiyenko P. F., Kirikov R. P. *Hydro-impact device*. USSR. Author's certificate No. 685819. 15 September 1979. URL: <https://patents.su/3-685819-gidroudarnoe-ustrojstvo.html>. (In Russ.)
16. Letopolsky A. B., Teterina I. A. Determining the stability of an excavator during pipeline dismantling. In: *Pod'yemno-transportnyye, stroitel'nyye, dorozhnyye, putevyye, meliorativnyye mashiny i robototekhnicheskiye*

- kompleksy, Moscow, May 12–13, 2022. Moscow: Russian state agrarian university – Moscow Timiryazev agricultural academy; 2022. P. 434–438. (In Russ.)*
17. Korchagin P. A., Teterina I. A., Letopolsky A. B. Effect of tire dynamic characteristics on vibration load at the operator's workplace. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1141:012097. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1441/1/012097>
 18. Liberman Ya. L., Letnev K. Yu., Gorbunova L. N. On the optimal control of the active excavator bucket strikers. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*. 2023;(1):20–23. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50770936>
 19. Korchuganov V. A. To the question about research of impact processes of hydraulic hammers. In: *Nauchnyy potentsial molodezhi i tekhnicheskii progress, Saint Petersburg, May 21, 2021. Saint Petersburg, 2021. P. 33–38. (In Russ.)* <https://doi.org/10.26160/2618-7493-2021-4-33-38>
 20. Ivanov R. A., Zhidkov G. N. Determination of the productivity of mounted hydraulic impact devices when loosening frozen soils. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 2009;(2):16–18. (In Russ.)



Информация об авторах

Тетерина Ирина Алексеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры строительной, подъемно-транспортной и нефтегазовой техники, старший научный сотрудник, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Российская Федерация, iateterina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8012-8511>

Летопольский Антон Борисович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой строительной, подъемно-транспортной и нефтегазовой техники, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Российская Федерация, antooooon-85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3503-131X>

Жданов Алексей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры общепрофессиональных дисциплин, заместитель декана заочного факультета, Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, Омск, Российская Федерация, Avzh_1984@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-3157-4742>

Information about the authors

Irina A. Teterina, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Construction, Lifting and Transport and Oil and Gas Equipment, Senior Researcher, Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russian Federation, iateterina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8012-8511>

Anton B. Letopolsky, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Construction, Lifting and Transport and Oil and Gas Equipment, Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russian Federation, antooooon-85@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3503-131X>

Aleksey V. Zhdanov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of General Professional Disciplines, Deputy Dean of the Correspondence Faculty, Siberian State Automobile and Highway University, Omsk, Russian Federation, Avzh_1984@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0000-3157-4742>

Получена 11 июня 2025 г., одобрена 20 августа 2025 г., принята к публикации 01 сентября 2025 г.

Received 11 June 2025, Approved 20 August 2025, Accepted for publication 01 September 2025



Улучшение системы контроля за движением общественного транспорта с помощью методов машинного обучения

А. В. Затонский¹ ✉, В. В. Данилов²

¹ Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета

Березники, ул. Тельмана, 7, 618404, Российская Федерация

² Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Пермь, Комсомольский проспект, 29, 614990, Российская Федерация

✉ zxenon@narod.ru



Аннотация. Исследование посвящено разработке программного обеспечения для решения практически важной задачи – обеспечения общественного контроля за движением городского общественного транспорта, что особенно важно в условиях неполной доступности сигналов GPS/ГЛОНАСС и сотовой связи. Основой информационной системы являются видеокамеры, расположенные по маршруту, и система технического зрения, распознающая появление автобуса или троллейбуса в кадре, локализацию и номер его маршрута. С помощью свободно распространяемого детектора объектов YOLOv11s удалось добиться точности распознавания машины на уровне 96 %. Данная версия YOLO нетребовательна к ресурсам и позволяет использовать обычный персональный компьютер для работы с несколькими потоками видео. Номер маршрута распознавался с использованием библиотеки PaddleOCR с открытым кодом, точность составила 82 %. Далее полученный результат сопоставлялся с расписанием движения автобусов, полученные данные размещались в открытом доступе через Телеграм-бот. Результаты работы направлены на повышение удобства городского общественного транспорта, снижение социальной напряженности, обеспечение жителей и диспетчерских служб информацией об отклонениях в работе городского транспорта в режиме реального времени.

Ключевые слова: общественный транспорт, компьютерное зрение, машинное обучение, YOLO, распознавание объектов, мониторинг транспорта, автоматическая идентификация транспортных средств, обработка изображений, PaddleOCR, транспортная аналитика

Для цитирования: Затонский А. В., Данилов В. В. Улучшение системы контроля за движением общественного транспорта с помощью методов машинного обучения. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(3):83–93. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-83-93> EDN: ELECUE

Improving the public transport monitoring system using machine learning methods

Andrey V. Zatonskiy¹ ✉, Vsevolod V. Danilov²

¹ Berezniki Branch of National Research Polytechnic University
Berezniki, 7 Telmana St., 618404, Russian Federation

² Perm National Research Polytechnic University
Perm, 29 Komsomolsky Prospekt, 614990, Russian Federation

✉ zxenon@narod.ru

► **Abstract.** This study focuses on developing software to address a practically important problem: providing public oversight of urban transport movement. This is particularly crucial in areas with limited GPS/GLONASS and cellular connectivity. The core of the system comprises video cameras located along the route and a computer vision system. This system detects the presence of buses or trolleybuses in the camera's field of view, localizes them, and recognizes their route numbers. Using the freely available YOLOv11s object detector, a machine recognition accuracy of 96 % was achieved. This version of YOLO is resource-efficient, enabling the use of a standard personal computer to process multiple video streams. Route numbers were recognized using the open-source PaddleOCR library, achieving an accuracy of 82 %. The obtained results were compared with the bus schedule, and the data was posted via a Telegram bot. The research results aim to improve the convenience of urban public transport, reduce social tension, and provide residents and dispatching services with real-time information about deviations in urban transport operations.

Keywords: urban public transport, computer vision, machine learning, YOLO, object detection, transport monitoring, automatic vehicle identification, image processing, PaddleOCR, transport analytics

For citation: Zatonskiy A. V., Danilov V. V. Improving the public transport monitoring system using machine learning methods. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(3):83–93. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-83-93>



1. Введение / Introduction

Городской общественный транспорт (ГОТ) обеспечивает мобильность граждан вне зависимости от их материального положения и способствует разгрузке транспортной сети от личных автомобилей. Особенно важен он для жителей отдаленных районов городов, не обеспеченных собственным транспортом, для которых ГОТ является единственным способом передвижения, поэтому любые отклонения от расписания единственного маршрута, обслуживающего район, вызывают сильное недовольство и раздражение.

Однако современные системы управления общественным транспортом в последнее время сталкиваются с проблемами, снижающими его эффективность. К ним относятся работа подавителей сигналов GPS/ГЛОНАСС, препятствующих определению положения автобуса в режиме реального времени, а также отключения мобильной связи, из-за чего это положение не удается передать. В результате традиционные методы контроля, описанные, например, в [1–3], и в целом общеизвестные, имеют существенные недостатки, которые приводят к финансовым потерям и ухудшению качества обслуживания пассажиров. В частности, становится невозможным выявлять фиктивные рейсы, когда перевозчик заявляет о выполнении оборота транспорта, которого фактически не было.

Стоит также отметить, что не все населенные пункты имеют возможность оснастить весь транспорт GPS-оборудованием [4], хотя это и является обязательным требованием, установленным на федеральном уровне. При этом даже если транспорт оснащен GPS-трекером, информация с него не всегда доступна жителям. Далеко не все данные отображаются, например, в поисково-информационной службе «Яндекс Карты»¹. Поэтому пропуск или задержка рейса становятся очевидными для пассажиров только после длительного ожидания на остановке.

Одним из возможных вариантов решения проблемы является создание информационной системы, включающей подсистему технического зрения (СТЗ) для распознавания автобуса и номера его маршрута, подсистему передачи данных, не подвергающуюся отключению, и подсистему поддержки

¹ Например, в городе Березники Пермского края в системе «Яндекс Карты» отображается часть маршрутов, при этом данных о многих других маршрутах, в том числе обеспечивающих пригородные поселки, нет.

принятия решений для пассажиров и надзорно-контролирующих служб. В качестве камер СТЗ могут использоваться как существующие камеры (ГИБДД, местной администрации, системы безопасности и т. п.), так и специально размещенные на домовладениях заинтересованных граждан. В этих случаях даже при подключении частного дома к стационарным точкам доступа в интернет также снимается проблема передачи информации по сетям мобильной связи.

Данное исследование направлено на создание подсистем технического зрения и информирования пассажиров. Заимствовать готовые решения сложно, так как в научных публикациях (например, [5] и множестве подобных) фокус внимания сосредоточен на использовании возможностей системы, а не на распознавании. Даже если авторы упоминают техническое зрение [6], оно используется для контроля ситуации в салоне, а не для указанных нами задач. В свою очередь камеры ГИБДД предназначены для идентификации госномеров, а не номеров маршрутов. Поэтому задачи работы – обоснованный выбор компонентов программного обеспечения, их доработка или настройка, оценка достигнутого результата, то есть качества распознавания, потребности в ресурсах, причин ошибок. Дело в том, что СТЗ должна обеспечивать стабильное и точное распознавание транспортных средств независимо от времени суток, погодных условий и наличия помех (осадков, туманности и солнечных бликов). Отдельной проблемой является локализация номеров маршрутов, так как в их оформлении могут использоваться различные цветовые решения, нестандартная типографика, кроме того, они могут частично перекрываться другими объектами.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Задача определения проезда автобуса определенного маршрута мимо камеры распадается на:

- идентификацию автобуса в кадре;
- локализацию номера маршрута;
- распознавание номера маршрута.

В настоящее время в области компьютерного зрения существует множество способов для идентификации транспортных средств. Классические подходы, базирующиеся на ручном определении признаков и использовании традиционных алгоритмов классификации, все чаще заменяются более результативными методиками, к которым можно отнести:

- двухфазные детекторы (такие как R-CNN и Fast R-CNN): характеризуются высокой степенью точности, однако требуют значительных вычислительных мощностей [7];
- однофазные детекторы (например, SSD и RetinaNet): позволяют достичь компромисса между быстродействием и точностью распознавания [8];
- семейство YOLO: оптимизировано для работы в режиме реального времени и отличается высокой скоростью обработки [9].

Для нашей цели важнейшим достоинством YOLO является ее способность результативно тренироваться на ограниченном наборе данных, который можно расширить аугментацией [10], как описано далее. Это дает возможность искусственно увеличить первоначальный датасет посредством создания добавочных вариаций картинок, моделирования разных условий фотосъемки, а также повышения многообразия углов обзора и размеров объектов на изображениях.

Для распознавания транспортных средств нами была применена модель YOLOv11s – наилучшая, с нашей точки зрения, по балансу точности и скорости работы. Основным преимуществом YOLOv11s перед более легкими нановерсиями (YOLOv11n, YOLOv10n) является высокая точность распознавания при сохранении приемлемой нагрузки на систему. Согласно проведенным тестам, YOLOv11s демонстрирует более качественные показатели mAP50-95 по сравнению с нановерсией [11] при сопоставимой скорости обработки кадров (рис. 1). Это особенно важно для нашей задачи, где критична точность детекции мелких объектов, таких как маршрутные номера.

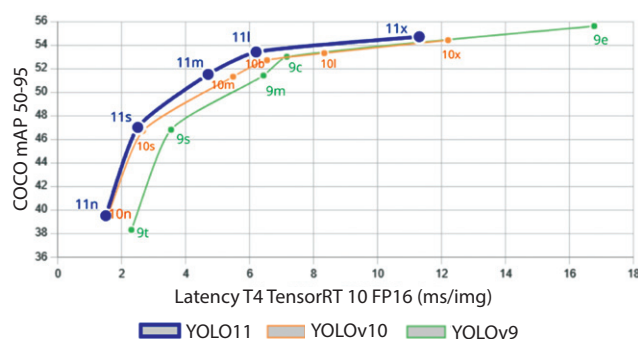


Рис. 1. Сравнение последних версий YOLO [11]

Fig. 1. Comparison of the latest versions of YOLO [11]

На рис. 1 видно, что версия 11s от 11n отличается значительным ростом производительности при небольшом увеличении времени вычислений (latency). При переходе к более производительным версиям отношение *рост производительности* – *рост машинного времени* уменьшается, то есть гипотеза о том, что версии 11s достаточно, выглядит правдоподобной и заслуживает проверки.

С точки зрения вычислительной эффективности YOLOv11s требует всего 3.85 ГБ видеопамяти при обработке изображений разрешени-

ем 512×512 пикселей, что позволяет развертывать модель на относительно недорогих графических ускорителях уровня NVIDIA GTX 1660.

Нами рассматривалась также возможность применения для этой подзадачи TensorFlow. Но известные методы обнаружения объектов в TensorFlow (такие как Faster R-CNN или SSD) нуждаются в гораздо больших вычислительных мощностях для достижения сопоставимой с YOLO скорости, что делает их использование нерентабельным при ограниченных ресурсах. Кроме того, структура YOLO, особенно в ее новой реализации через библиотеку Ultralytics, предоставляет более легкий в использовании и понятный интерфейс для адаптации предварительно обученных моделей к различным задачам обнаружения транспортных средств. Похожий процесс в TensorFlow требует намного большего объема программного кода и глубокого понимания принципов работы моделей [12].

Чтобы обучить модель YOLO, требуется предварительная разметка изображений, поскольку данный детектор объектов нуждается в специально отформатированных данных. Нанесение ограничивающих прямоугольников вокруг автобусов и их номеров позволяет модели выучить, как точно идентифицировать их местоположение и категорию. Если у нейросети нет размеченного набора данных, она не сможет правильно обнаруживать нужные пользователю объекты.

Для обучения и оценки модели был собран датасет, включающий фотографии с интернет-ресурса «Автобусный транспорт»² и изображения, полученные самостоятельно. Чтобы в будущем не происходило ложных срабатываний и модель не определяла общественный транспорт там, где его нет, в датасет были включены как кадры с автобусами, так и без них.

Объем датасета составил 1 000 изображений и был разделен на обучающую и тестовую выборки. Как правило, применяют процентное соотношение 80/20 или 70/30. В данном случае 800 изображений (80 %) составили обучающую выборку, а 200 (20 %) – тестовую.

Это разделение необходимо, чтобы:

- обучить модель на разнообразных примерах (обучающая выборка);
- объективно оценить качество работы на новых, ранее не встречавшихся изображениях (тестовая выборка).

Такое разделение предотвращает переобучение и позволяет проверить, насколько хорошо модель обобщает знания.

Для разметки датасета были рассмотрены такие решения, как MakeSense, CVAT, Roboflow и LabelIMG, но три первых варианта имели ограничения по количеству размеченных изображений в

² Автобусный транспорт – База данных / Фотогалерея. URL: <https://fotobus.msk.ru/> (дата обращения: 07.04.2025).



Рис. 2. Аннотация изображений с помощью LabelIMG (рисунок авторов)
Fig. 2. Image annotation with LabelIMG (author's figure)

бесплатной версии, а также требовали постоянного подключения к интернету [13]. В результате был выбран инструмент LabelIMG, который представляет собой удобное и функциональное решение для аннотации изображений в формате, совместимом с YOLO. Кроме того, к преимуществам LabelIMG можно отнести интуитивно понятный интерфейс, оффлайн-доступность, кроссплатформенность, а также гибкость настроек [14].

На рис. 2 представлен интерфейс программы LabelIMG во время аннотации изображений (разметка обозначена зелеными точками).

В данном случае для разметки изображений необходимо создать два класса:

- bus – для выделения автобусов и троллейбусов;
- route_number – для выделения маршрутных номеров, расположенных под стеклом транспорта.

Процесс разметки данных интуитивно понятен, на каждом изображении необходимо выделить все автобусы, даже те, которые видны лишь частично или же находятся на заднем плане, а также выделить все таблички с номерами маршрутов во всех местах, где они расположены на транспорте.

Особое внимание уделено точности определения координат вокруг номеров маршрутов, это необходимо, поскольку данный аспект играет ключевую роль на этапе оптического распознавания символов (OCR). Все номерные таблички выделялись с небольшим запасом, чтобы в будущем при распознавании не перекрывалась часть номера.

Для каждого размеченного изображения автоматически создается текстовый файл с аналогичным названием (рис. 3). Файл содержит строки, состоящие из 5 числовых значений: object-class – целое число, представляющее номер класса объекта, индекс классов начинается с 0 и увеличивается на 1 для каждого уникального класса; x-center и y-center – координаты центра выделенного изображения, которые нормализованы по ширине и высоте соответственно; width и height – ширина и высота ограничивающей рамки изображения.

```
image_402.txt – Блокнот
Файл  Правка  Формат  Вид  Справка
0 0.504883 0.594727 0.474609 0.427734
```

Рис. 3. Содержание аннотаций (рисунок авторов)
Fig. 3. Contents of annotations (author's figure)

По окончании разметки изображений было выделено 2 006 объектов, из них 990 автобусов и 1 016 номеров маршрутов. Далее для завершения разметки необходимо определить стратегию аугментации данных – искусственного расширения обучающей выборки за счет различных преобразований исходных изображений [10].

В рамках данного исследования использовалась комплексная стратегия для увеличения объема данных, в результате чего сформировалась следующая схема аугментации:

- зеркальное отражение по вертикали и горизонтали с вероятностью 50 %;
- смешивание изображений с коэффициентом 20 %;
- случайное скрывание частей снимков с вероятностью 50 %;
- масштабирование изображений в пределах ± 50 %;
- сборка изображений в мозаику, а именно слияние до четырех изображений в одно;
- настройка насыщенности цветов до ± 90 %;
- регулировка яркости в диапазоне ± 50 %;
- изменение оттенков в пределах ± 10 %.

Кроме того, были сформированы основные параметры обучения:

- размер входных изображений – 512×512 точек;
- количество снимков для одновременной обработки – 32;
- число полных проходов по данным – 250;
- начальная скорость обучения – 0.001;
- конечная скорость обучения – 0.01;
- параметр инерции – 0.937;
- коэффициент регуляризации – 0.001.

В процессе тренировки модели центральный процессор использовался на 30 % мощности. Кроме того, активно применялась видеокарта NVIDIA RTX 4060, при этом было задействовано приблизительно 6 Гб видеопамяти. Это позволило существенно сократить время обучения благодаря применению высокопроизводительных CUDA-ядер.

В результате обучения модель показала отличные результаты в распознавании ключевых объектов системы (рис. 4).

На графике видно, что модель достигла точности 96 % при детекции автобусов: правильно определено их наличие и местоположение на изображении. Это связано с четкими визуальными признаками автобусов, которые модель успешно научилась выделять. Точность распознавания маршрутных номеров составила 82 %. Для такой – более сложной – задачи это хороший результат: из-за небольшого размера, разнообразия шрифтов и цветовых схем, а также воздействия погодных условий номера хуже читаются.

В ходе обучения модель демонстрировала стабильный рост точности по всем ключевым метрикам без девиаций. С каждой эпохой обучения постепенно сокращалось количество ошибок в

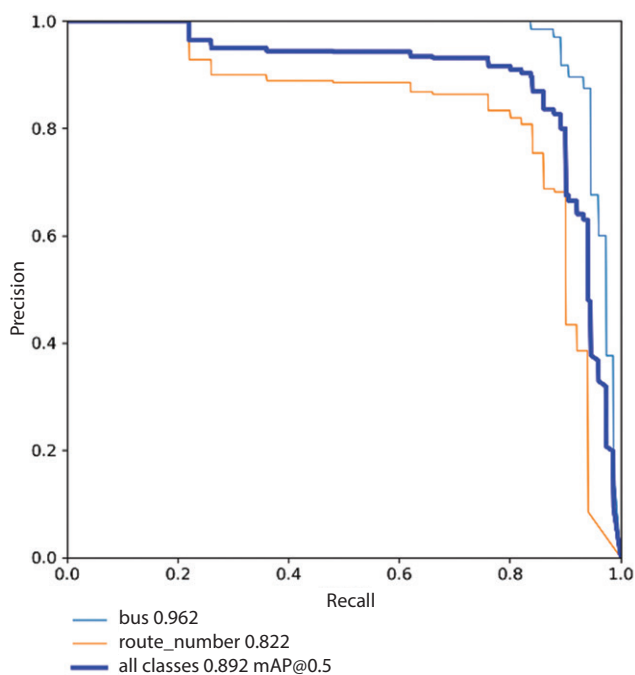


Рис. 4. Показатели точности модели
(рисунок авторов)

Fig. 4. Model accuracy indicators (author's figure)

предсказании плотности прилегания ограничивающих рамок объектов и идентификации самих классов, что демонстрируют представленные на рис. 5 автоматически сформированные графики `box_loss` и `cls_loss` соответственно.

Как можно заметить, на начальной стадии графика `cls_loss` произошел сильный скачок, такая ситуация обусловлена тем, что в начале обучения модель инициализируется со случайными значениями весов, это привело к высоким показателям потерь, но далее ситуация стабилизировалась.

На графике `metrics/mAP50` (mean Average Precision at $\text{IoU} = 0.5$), представленном на рис. 6, видно, как изменялась точность обнаружения объектов.

Данная метрика оценки точности показывает, насколько хорошо модель идентифицирует объекты при пороге $\text{IoU} = 0.5$ (50 %). IoU (Intersection over Union) является мерой пересечения между предсказанной областью от самой модели и истинной, взятой с разметки изображения. Приемлемым значением по вертикальной оси считается точность обнаружения 0.5 и выше, в данном случае модель продемонстрировала среднюю точность на уровне 0.85, что равняется 85 %.

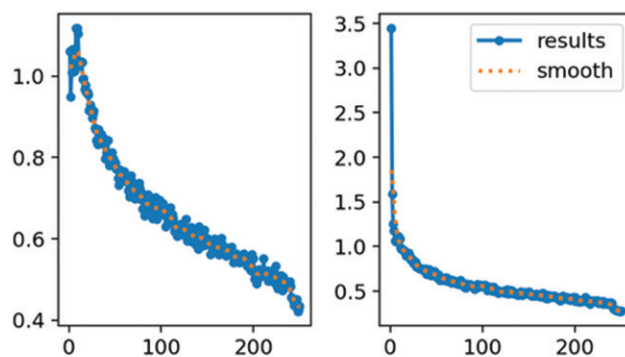


Рис. 5. Графики `box_loss` (слева) и `cls_loss` (справа) (рисунок авторов)

Fig. 5. `Box_loss` (left) and `cls_loss` (right) graphs (author's figure)

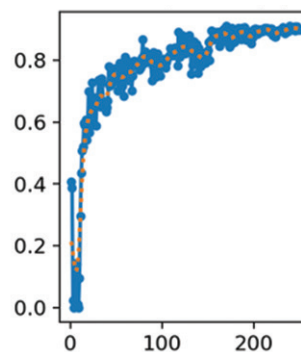


Рис. 6. График `metrics/mAP50` (рисунок авторов)

Fig. 6. `Metrics/mAP50` chart (author's figure)

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Обученная модель YOLO была успешно интегрирована в приложение с использованием многослойной архитектуры обработки данных. Локализованные номера маршрутов передавались в оптический распознаватель PaddleOCR, показывающий высокую эффективность распознавания [15, 16].

Инициализация модели происходит при запуске программы путем загрузки предварительно обученных весов из файла `best.pt`. Для обеспечения стабильной работы системы было реализовано подавление избыточного логирования, что позволило снизить нагрузку на вычислительные ресурсы. Основной рабочий процесс организован вокруг одной функции, которая в циклическом режиме осуществляет захват кадров с экрана, их обработку и визуализацию результатов.

Так как доступ к городским камерам видеонаблюдения отсутствует, тестирование системы проводилось посредством загрузки и последующего разбиения на кадры пяти различных видеофайлов, два файла взяты с интернет-ресурсов, еще три отсняты на остановочных пунктах самостоятельно, длительность каждого файла не более семи минут.

Система обрабатывает видеопоток со скоростью 25–30 кадров в секунду, при этом отбирая и считывая номер маршрута с каждого пятого кадра. Это реализовано с целью уменьшения нагрузки на ресурсы системы при одновременной работе нескольких камер. Чтобы избежать ложных данных о транспорте, каждый автобус распознается ровно 10 раз, а в базу данных заносится наиболее часто встречающийся результат. Первоначальное обнаружение обеспечивается алгоритмом YOLO, который сначала идентифицирует автобус, а затем определяет зону с номером маршрута. После выде-



Рис. 7. Пример работы системы распознавания общественного транспорта с применением методов машинного обучения (рисунок авторов)

Fig. 7. An example of a public transport recognition system using machine learning methods (author's figure)

ленная область направляется в модуль оптического распознавания символов PaddleOCR, который, в свою очередь, расшифровывает и сохраняет распознанный номер маршрута.

Важным достоинством предлагаемого решения является устойчивость к различным условиям съемки – система сохраняет работоспособность при типичных для городской инфраструктуры помехах.

В тестировании были использованы видеофайлы из Березников, Архангельска и Перми. Результаты показали высокую точность распознавания, несмотря на то, что обучающая выборка для модели собиралась только в городе Березники.

Пример работы системы представлен на рис. 7.

Чтобы довести информацию о фактическом движении транспорта до заинтересованных лиц, был разработан Телеграм-бот, посредством которого можно также видеть информацию о расписании движения автобусов (пока переносимом из сторонних источников вручную). Создание такого решения на Python является достаточно простой задачей и выходит за рамки задач, связанных с обработкой изображений. Отметим только, что для расчета времени прибытия автобуса, фактически проследовавшего одну остановку, в базу данных бота пришлось внести всю сеть остановок города Березники.

4. Заключение / Conclusions

В процессе проведенного исследования были выбраны и настроены (обучены) программные средства, создано интегрирующее их программное обеспечение. В ходе испытаний добавлено 5 пользователей системы, 39 маршрутов, 344 остановки, 117 992 записи о расстояниях, 1 395 связей между остановками и маршрутами, 190 элементов расписания.

Использование модели YOLOv11s позволило достичь точности детекции автобусов на уровне 96 %, что обеспечивает надежное распознавание объектов даже в сложных условиях городской среды. Применение PaddleOCR в сочетании с YOLO обеспечило точность распознавания номеров маршрутов.

рутов на уровне 82 %, что является отличным показателем для подобных задач. Загрузка процессора Intel Core i5 при этом не превышала 10 %, то есть возможность для масштабирования имеется.

Разработанная система представляет собой современное и эффективное решение для контроля движения городского транспорта, способное повысить качество обслуживания пассажиров и улучшить работу городской транспортной сети. Результаты работы подтверждают возможность практического использования системы.



Вклад авторов. Затонский А. В.: постановка задачи, научное руководство, доработка и корректировка текста. Данилов В. В.: подбор и исследование возможностей средств реализации, реализация и настройка ПО, написание чернового варианта текста.

Author contributions. Andrey V. Zatonskiy: problem statement, scientific supervision, text revision and editing. Vsevolod V. Danilov: selection and investigation of implementation methods, software implementation and configuration, drafting the manuscript.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Андреев К. П., Терентьев В. В. Современные проблемы городского пассажирского транспорта. *Научный альманах*. 2016;(11-2):19–21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=xigdxv>
2. Андреев К. П., Терентьев В. В., Темнов Э. С. Проблемы качества транспортного обслуживания населения. В сб.: *Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: материалы Международной очно-заочной научно-технической конференции, Тула, 23–24 ноября 2017 года*. Тула: Тульский государственный университет, 2017. С. 105–110. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32512428>
3. Рахматуллина А. Р. Проблемы развития городского общественного транспорта. *Управление экономическими системами*. 2013;(12):70. URL: <https://econpapers.repec.org/article/scn007255/15547324.htm>
4. Спевиков Б. С. Инновационные методы управления городским транспортом: опыт глобальных мегаполисов. В сб.: *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В. Г. Шухова, Белгород, 16–17 мая 2023 года*. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. С. 947–952. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54616552&pff=1>
5. Минниханов Р. Н. Интегрированная система мониторинга и контроля транспортных потоков. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2017;(1):13–15. URL: <https://lib.madi.ru/nitdo/index.html>
6. Мишина Е. С., Лебедь Р. К., Хмелев Р. Н. К вопросу оснащения городского общественного транспорта системами мониторинга и обеспечения транспортной безопасности. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2020;(10):326–332. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44298662>
7. Сирота А. А., Митрофанова Е. Ю., Милованова А. И. Анализ алгоритмов поиска объектов на изображениях с использованием различных модификаций сверточных нейронных сетей. *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии*. 2019;(3):123–137. <https://journals.vsu.ru/sait/article/view/1313>
8. Wu J., Fan P., Sun Y., Gui W. Ghost-RetinaNet: Fast Shadow Detection Method for Photovoltaic Panels Based on Improved RetinaNet. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2023;134(2):1305–1321. <https://doi.org/10.32604/cmescs.2022.020919>
9. He L.-h., Zhou Y.-z., Liu L., Cao W., Ma J.-h. Research on object detection and recognition in remote sensing images based on YOLOv11. *Scientific Reports*. 2025;15:14032. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96314-x>
10. Андриянов Н. А., Андриянов Д. А. О важности аугментации данных при машинном обучении в задачах обработки изображений в условиях дефицита данных. В сб.: *Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2020): материалы VI Международной конференции и молодежной школы, Самара, 26–29 мая 2020 года*. Самара: Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, 2020. Т. 2. С. 383–388. URL: <https://repo.ssau.ru/handle/Informacionnye-tehnologii-i-nanotehnologii/O-vazhnosti-augmentacii-dannyh-pri-mashinnom-obuchenii-v-zadachah-obrabotki-izobrazhenii-v-usloviyah-deficita-dannyh-85287>

11. Маратулы А., Абибуллаев Е. А. Исследование производительности и сравнительный анализ YOLO-NAS и предыдущих версий YOLO. *Международный журнал информационных и коммуникационных технологий*. 2024;5(17):71–83. <https://doi.org/10.54309/IJICT.2024.17.1.006>
12. Pujara A., Bhamare M. DeepSORT: Real Time & Multi-Object Detection and Tracking with YOLO and TensorFlow. In: *International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS), Trichy, India, 2022*. P. 456–460. <https://doi.org/10.1109/ICAISS55157.2022.10011018>
13. Бесшапошников Н. О., Кузьменко М. А., Леонов А. Г., Матюшин М. А. Автоматизация разметки набора данных для нейронных сетей. *Вестник кибернетики*. 2018;(4):204–210.
14. Бурдуковский С. О. Аналитический обзор программного обеспечения для разметки изображений labeling. В сб.: *Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: материалы III международной научной конференции, Казань, 30–31 марта 2021 года*. Москва: ООО «Конверт», 2021. С. 156–157. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45746462>
15. Sarkar O., Sinha S., Jena A. K., Parida A. K., Parida N., Parida R. K. Automatic number plate character recognition using paddle-OCR. In: *International Conference on Innovations and Challenges in Emerging Technologies (ICICET), Nagpur, India, 2024*. P. 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICICET59348.2024.10616305>
16. Reddy P. P., Shruthi P. S., Himanshu P., Singh T. License plate detection using YOLO v8 and performance evaluation of easyOCR, paddleOCR and tesseract. In: *15th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT), Kamand, India, 2024*. P. 1–6. <http://dx.doi.org/10.1109/icccnt61001.2024.10725878>

References

1. Andreev K. P., Terentiev V. V. Modern problems of urban passenger transport. *Science Almanac*. 2016;(11-2):19–21. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=xigdxv>
2. Andreyev K. P., Terent'yev V. V., Temnov E. S. Problems with the quality of public transport services. In: *Problemy issledovaniya sistem i sredstv avtomobil'nogo transporta: materialy Mezhdunarodnoy ochno-zaochnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Tula, November 23–24, 2017*. Tula: Tula State University, 2017. P. 105–110. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32512428>
3. Rakhmatullina A. R. Problems of development of city public transport. *Upravleniye ekonomicheskimi sistemami*. 2013;(12):70. (In Russ.) URL: <https://econpapers.repec.org/article/scn007255/15547324.htm>
4. Spevakov B. S. Innovative methods of urban transport management: experiences from global megacities. In: *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya molodykh uchenykh BGTU im. V. G. Shukhova, posvyashchennaya 170-letiyu so dnya rozhdeniya V. G. Shukhova, Belgorod, May 16–17, 2023*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov; 2023. P. 947–952. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54616552&pff=1>
5. Minnikhanov R. N. An integrated system of monitoring and control of traffic flows. *Science & Engineering for Roads*. 2017;(1):13–15. (In Russ.) URL: <https://lib.madi.ru/nitdo/index.html>
6. Mishina E. S., Lebed R. K., Khmelev R. N. On the question of equipment of urban public transportation systems for monitoring and ensuring transportation security. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*. 2020;(10):326–332. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44298662>
7. Sirota A., Mitrofanova E. Yu., Milovanova A. I. Analysis of algorithms for searching objects in images using various modifications of convolutional neural networks. *Proceedings of Voronezh State University. Series: Systems Analysis and Information Technologies*. 2019;(3):123–137. (In Russ.) <https://doi.org/10.17308/sait.2019.3/1313>
8. Wu J., Fan P., Sun Y., Gui W. Ghost-RetinaNet: Fast Shadow Detection Method for Photovoltaic Panels Based on Improved RetinaNet. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2023;134(2):1305–1321. <https://doi.org/10.32604/cmes.2022.020919>
9. He L.-h., Zhou Y.-z., Liu L., Cao W., Ma J.-h. Research on object detection and recognition in remote sensing images based on YOLOv11. *Scientific Reports*. 2025;15:14032. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96314-x>
10. Andriyanov N. A., Andriyanov D. A. The importance of data augmentation in machine learning for image processing tasks in the face of data scarcity. In: *Informatsionnyye tekhnologii i nanotekhnologii (ITNT-2020): materialy VI Mezhdunarodnoy konferentsii i molodezhnoy shkoly, Samara, May 26–29, 2020*. Samara: Samara National Research University named after Academician S. P. Korolev, 2020. Vol. 2. P. 383–388. URL: <https://repo.ssau.ru/handle/Informacionnye-tehnologii-i-nanotekhnologii/O-vazhnosti-augmentacii-dannyh-pri-mashinnom-obuchenii-v-zadachah-obrabotki-izobrazhenii-v-usloviyah-deficita-dannyh-85287>

11. Maratuly A., Abibullayev Y. A. Performance study and comparative analysis of YOLO-NAS and previous versions of YOLO. *International journal of information and communication technologies*. 2024;5(17):71–83 (In Russ.). <https://doi.org/10.54309/IJICT.2024.17.1.006>
12. Pujara A., Bhamare M. DeepSORT: Real Time & Multi-Object Detection and Tracking with YOLO and TensorFlow. In: *International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS), Trichy, India, 2022*. P. 456–460. <https://doi.org/10.1109/ICAISS55157.2022.10011018>
13. Besshaposhnikov N. O., Kuzmenko M. A., Leonov A. G., Matyushin M. A. Automation of data markup for neural networks. *Proceedings in Cybernetics*. 2018;(4):204–210. (In Russ.)
14. Burdukovskiy S. O. An analytical review of LABELIMG image labeling software. In: *Prioritetnyye napravleniya innovatsionnoy deyatel'nosti v promyshlennosti: materialy III mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, Kazan, March 30–31, 2021*. Moscow: OOO "Konvert", 2021. P. 156–157. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45746462>
15. Sarkar O., Sinha S., Jena A. K., Parida A. K., Parida N., Parida R. K. Automatic number plate character recognition using paddle-OCR. In: *International Conference on Innovations and Challenges in Emerging Technologies (ICICET), Nagpur, India, 2024*. P. 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICICET59348.2024.10616305>
16. Reddy P. P., Shruthi P. S., Himanshu P., Singh T. License plate detection using YOLO v8 and performance evaluation of easyOCR, paddleOCR and tesseract. In: *15th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT), Kamand, India, 2024*. P. 1–6. <http://dx.doi.org/10.1109/icccnt61001.2024.10725878>



Информация об авторах

Затонский Андрей Владимирович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации технологических процессов, Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета, Березники, Российская Федерация, z xenon@narod.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1863-2535>

Данилов Всеволод Владимирович, магистрант кафедры информационных технологий и автоматизированных систем, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Российская Федерация, vsevolod.dnlv@mail.ru

Information about the authors

Andrey V. Zatonskiy, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Automation of Technological Processes, Berezniki Branch of National Research Polytechnic University, Berezniki, Russian Federation, z xenon@narod.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1863-2535>

Vsevolod V. Danilov, Graduate Student in the Department of Information Technology and Automated Systems, National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation, vsevolod.dnlv@mail.ru

Получена 11 мая 2025 г., одобрена 23 сентября 2025 г., принята к публикации 25 сентября 2025 г.

Received 11 May 2025, Approved 23 September 2025, Accepted for publication 25 September 2025



Влияние надежности автомобилей на формирование потребности в запасных частях на примере автомобилей КАМАЗ-54901

Ю. Д. Ишкин ✉

Тюменский индустриальный университет

Тюмень, ул. Володарского, 38, 625000, Российская Федерация

✉ yrtmn@outlook.com

Аннотация. Расходы на приобретение и хранение запасных частей составляют практически треть в структуре эксплуатационных затрат автомобильного транспорта, поэтому управление запасами является важной составляющей деятельности предприятия, а исследования, направленные на разработку более точных методик прогнозирования потребности в запасных частях, представляют практический интерес. В настоящем исследовании предлагается производить планирование запаса запасных частей исходя из их надежности. Данный подход основан на делении запасных частей на группы на основании потока отказов и дальнейшем определении количественной и номенклатурной потребности уже внутри группы. Исследование проводилось на примере автомобилей КАМАЗ-54901. В соответствии с конструкцией автомобиля все запасные части были разделены на 8 групп. На основе статистических данных были установлены группы запасных частей с низкой надежностью (электрооборудование, тормозная система), соответственно, количественное выражение запасов в данных группах будет самым большим. Применение данного подхода позволит оптимизировать запасы запасных частей на складе предприятия.

Ключевые слова: автомобильные запасные части, надежность автомобиля, условия эксплуатации, номенклатура запасных частей, потребности в запасных частях

Для цитирования: Ишкин Ю. Д. Влияние надежности автомобилей на формирование потребности в запасных частях на примере автомобилей КАМАЗ-54901. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(3):94–102. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-94-102> EDN: EDFKYF

Vehicle reliability impact on the formation of the need for spare parts using the example of KAMAZ-54901

Yuri D. Ishkin ✉

Industrial University of Tyumen

Tyumen, 38 Volodarskogo St., 625000, Russian Federation

✉ yrtmn@outlook.com

Abstract. The cost associated with the procurement and storage of spare parts accounts for almost a third of the overall structure of automotive transport operating expenses. Consequently, inventory management is a crucial aspect of enterprise operations, and research focused on developing more accurate methods for predicting the need for spare parts is of practical interest. This study proposes planning spare parts inventory based on their reliability. The essence of this approach is dividing spare parts into groups according to their failure rate and

further determining the quantitative and nomenclature needs within these group. The study was conducted using KAMAZ-54901 vehicles. In accordance with the vehicle's design, spare parts were divided into 8 groups. Statistical data revealed groups of spare parts with low reliability (electrical equipment, braking system). Therefore, these groups will necessitate the largest stock volumes. This approach enables the optimization of spare parts stock at the enterprise's warehouse.

Keywords: vehicle spare parts, vehicle reliability, operating conditions, nomenclature of spare parts, the need for spare parts

For citation: Ishkin Yu. D. Vehicle reliability impact on the formation of the need for spare parts using the example of KAMAZ-54901. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(3):94–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-3-94-102>



1. Введение / Introduction

Важной частью затрат эксплуатационных предприятий являются расходы на запасы запасных частей (ЗЧ) автомобилей. Контроль и оптимизация этих затрат повышают эффективность работы и помогают снизить общие издержки предприятия. Планирование запасов ЗЧ чаще всего происходит путем формирования бюджета: определяется сумма, выделяемая на запасы в планируемый год. В свою очередь перечень ЗЧ определяется на основе статистики расходов за прошлые периоды, но статистика одного предприятия не может быть полностью применима для других, так как на номенклатуру ЗЧ влияет множество факторов.

Вопросы управления запасами ЗЧ автомобилей изучались многими исследователями в части анализа материально-технического обеспечения производственно-хозяйственной деятельности автотранспортного предприятия и разработки методики нормирования материальных ресурсов, а также обеспечения ЗЧ автомобилей в процессе ремонта [1–3]. В данных работах надежность и условия эксплуатации не выделялись как значимые факторы.

Тем не менее условия эксплуатации учитывать необходимо, так как от них зависит износ деталей и работоспособность всего автомобиля. Тип дороги, климатические условия, частоту и интенсивность эксплуатации, режимы движения можно отнести к условиям эксплуатации. Чем они экстремальнее, тем больше износ деталей и, как следствие, выше потребность в ЗЧ.

Надежность автомобиля определяется по параметрам безотказности и долговечности, которые зависят от сроков эксплуатации без отказов и считаются по частоте отказов за определенный период, а также по таким показателям, как ремонтпригодность и способность сохранять свои потребительские свойства. Надежность анализируется на основе данных о техническом состоянии, опыте эксплуатации и статистике отказов и ремонтов автомобиля.

Существует методика определения оптимального объема ЗЧ по отдельным узлам автомобилей, необходимого для обеспечения бесперебойной работы автотранспортных предприятий. Эта методика учитывает надежность автомобилей, что позволяет более точно прогнозировать потребность в ЗЧ, снижая излишние запасы и связанные с ними затраты [4–6]. Рассматриваемые математические модели учитывают вероятность отказов, возраст и условия эксплуатации транспортных средств и позволяют оптимизировать запасы с учетом износа и надежности автомобилей, что способствует повышению эффективности логистики поставок ЗЧ и снижению затрат на обслуживание автопарка [4]. Развитие методов планирования ЗЧ с учетом надежности и технического состояния отдельных узлов автомобиля предлагается в [5, 6]. Предложенные модели позволяют повысить точность прогнозирования потребности и снизить издержки по отдельным деталям автомобиля [4].

Для определения номенклатуры ЗЧ значение имеет также надежность агрегатов, узлов и каждой единицы номенклатуры запасных частей в том числе [7].

Номенклатура ЗЧ, необходимых для поддержания работоспособности автомобилей, формируется по видам технических воздействий. На предприятиях автомобильного транспорта ежегодно разрабатывают программу проведения технических обслуживаний автомобилей, согласно которой четко определяют количество и номенклатуру потребляемых ЗЧ в зависимости от структуры подвижного состава и предполагаемых перевозок (пробегов, объема перевозимого груза, пассажиро-потоков и т. п.).

Для поддержания работоспособного состояния подвижного состава транспортного предприятия планируется запас ЗЧ на проведение текущего и капитального ремонтов. Прогнозирование расхода запасных частей для данной группы запасов связано с более глубоким изучением факторов, влияющих на формирование потребности в ЗЧ. Как рассматривалось ранее [8], существует множество подходов для определения потребности в ЗЧ, но все они в полной мере не учитывают случайность возникновения данной потребности.

Авторы [8–10] рассматривают вопросы повышения точности определения потребности в ЗЧ для автотранспорта в условиях нефтегазовой отрасли. Предлагаются методы учета условий эксплуатации, износа и надежности техники, что способствует более обоснованному планированию закупок ЗЧ и снижению излишних запасов. В работе [9] рассматриваются вопросы автоматизации и использования статистических моделей для прогнозирования потребности.

Ученые Донецкого национального технического университета [11] оптимизируют процессы заказа ЗЧ на автотранспортных предприятиях и рассматривают методы определения оптимальных объемов заказа, снижения издержек, связанных с хранением и закупками, а также автоматизацию процессов их планирования. Авторы [12, 13] рассматривают применение современных методов математического моделирования и автоматизированных систем управления запасами. Исследование актуально для предприятий с большим парком техники, стремящихся повысить эффективность логистики и снизить операционные издержки.

Исследование [14] посвящено разработке целевой функции, которая служит основой для оптимизации процессов снабжения ЗЧ в условиях нефтегазовой промышленности. Авторы рассматривают особенности сложных транспортных систем, подчеркивая необходимость учета стоимости ЗЧ, затрат на хранение и рисков простоев. Определено, что математическое моделирование позволяет выявить оптимальные параметры управления запасами и минимизирует совокупные издержки.

Все исследования сосредоточены на вопросах оптимизации управления ЗЧ с учетом специфики отрасли – нефтегазовой и транспортной. В них подчеркивается необходимость точного прогнозирования потребности, учета условий эксплуатации и надежности техники, а также применения математических и автоматизированных методов для снижения затрат и повышения эффективности логистики. Эти исследования дополняют друг друга, формируя комплексный подход к управлению запасами в условиях высокой сложности и ответственности, однако они в большей мере раскрывают теоретический аспект планирования, не затрагивая номенклатурные группы запасных частей.

В проведенных ранее исследованиях было установлено, что на затраты по обеспечению запасами ЗЧ влияет надежность автомобиля [15, 16], соответственно, надежность является значимым показателем расхода ЗЧ автомобиля.

По мнению авторов [17], оптимизацию системы планирования запасов ЗЧ необходимо осуществлять на основе системного и комплексного подходов, включающих использование современных методов математического моделирования [18], автоматизации и информационных технологий [19] для определения оптимальных уровней запасов. Прогнозирование спроса на ЗЧ необходимо осуществлять на основе информации о надежности рассматриваемого парка автомобилей и условий эксплуатации. Разработка и применение интегрированных систем управления запасами позволит повысить точность прогнозирования, надежность технического обслуживания и снизит риск

дефицита ЗЧ [20]. Это повысит эффективность работы автотранспортных предприятий, снизит эксплуатационные затраты и, соответственно, поднимет уровень транспортного обслуживания.

Установление распределения отказов узлов и агрегатов является важным фактором для анализа надежности автомобилей и планирования запасов ЗЧ и позволяет определить, какие узлы и агрегаты чаще всего отказывают. Полученные данные в последующем используются для разработки стратегии управления запасами отдельных групп ЗЧ и повышения точности прогнозирования. Система прогнозирования на основе надежности автомобилей позволит оптимизировать запасы и избежать приобретения неустраиваемых ЗЧ. Такой подход способствует более точному управлению запасами и снижению издержек. Таким образом, целью исследования являлось исследование влияния надежности автомобилей КАМАЗ на формирование потребности в ЗЧ. Данные исследования являются новыми, так как за последние три года была изменена политика завода КАМАЗ, которая повлияла на конструкцию автомобиля, в частности, предприятие начало сотрудничать с новыми заводами-изготовителями узлов и агрегатов. К примеру, ранее тормозная система изготавливалась на европейских заводах, а в настоящее время поставщиками являются китайские производители, электрооборудование поставляется преимущественно российское.

Влияние надежности узлов и агрегатов на надежность автомобиля в целом полностью не изучено, существуют лишь отдельные исследования, рассматривающие надежность конкретных компонентов автомобиля, поэтому данный вопрос актуален.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Предметом исследования являлась надежность магистральных тягачей КАМАЗ-54901, эксплуатируемых транспортными предприятиями Тюменской области. Был осуществлен анализ эксплуатации 207 единиц техники со сроком эксплуатации от одного года до трех лет.

Прогнозирование запасов ЗЧ для автомобилей с учетом его надежности включает несколько ключевых этапов и методов, которые позволяют оптимизировать запасы, снизить издержки и повысить уровень технического обслуживания.

Исследование проводилось в несколько этапов. На первом этапе производился сбор и анализ данных о потоке отказов: были собраны статистические данные об отказах узлов и агрегатов автомобилей. На основе собранных данных был составлен общий перечень ЗЧ, в которых возникала потребность для подконтрольной выборки автомобилей. Затем ЗЧ автомобилей были разделены на 8 укрупненных групп. К примеру, в группу ДВС входят следующие запасные части: коленчатый вал, маховик, картер маховика, блок цилиндров, головка цилиндра, цилиндропоршневая группа, вал распределительный, картер и прочее. Данная статья посвящена рассмотрению именно этого этапа.

Далее рассматривалась частота возникновения и средние пробеги до отказа для различных узлов и агрегатов. Использовались статистические модели надежности (экспоненциальное распределение) для оценки вероятности отказа в зависимости от пробега автомобиля. Определялся средний срок службы узлов и ЗЧ в соответствии с пробегом. На следующем этапе производилась классификация ЗЧ по степени изношенности и надежности, разделение ЗЧ на группы по уровню риска отказа и необходимости замены.

Подходы к прогнозированию запасов с учетом надежности автомобилей основываются на анализе безотказности транспортных средств, что позволяет более точно определить потребность в ЗЧ и снизить издержки.

Основные подходы к прогнозированию запасов ЗЧ следующие:

1. Анализ статистики отказов и ремонтов, основанный на использовании статистических данных о частоте отказов и ремонтах автомобилей для определения вероятности необходимости замены конкретных ЗЧ. Надежность автомобилей влияет на расход ЗЧ.

2. Классификация узлов и агрегатов по уровню надежности. Группировка узлов и агрегатов по степени их надежности (например, на основе показателей отказов за определенный период). Для более надежных узлов и агрегатов прогнозируется меньшая потребность в ЗЧ, что влияет на планирование запасов.
3. Прогнозирование на основе надежности. Использование вероятностных моделей (например, распределения отказов) для оценки срока службы ЗЧ и определения оптимальных уровней запасов.
4. Прогнозирование с учетом условий эксплуатации, таких как климат и режим работы, которые влияют на надежность и частоту отказов.
5. Планирование по срокам службы и циклам эксплуатации, основанное на учете нормативных сроков службы и циклов эксплуатации для определения времени замены и потребности в ЗЧ.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

На основе применения статистических методов обработки результатов получили распределение ЗЧ по группам за год, представленное на рис. 1.



Рис. 1. Распределение количества использованных запасных частей автомобилей КАМАЗ-54901 по группам за 2024 г. (диаграмма составлена автором)

Fig. 1. Distribution of the quantity of used KAMAZ-54901 vehicle spare parts by groups for 2024 (diagram compiled by the author)

На основании изменения количества отказов относительно рассматриваемых групп можно оценить их надежность и надежность рассматриваемой модели автомобиля в целом. По надежности (от надежных к менее надежным) группы выстроились следующим образом: трансмиссия; система питания, смазки, охлаждения; фильтрующие элементы и резиновые уплотнения; подвеска и рулевое управление; ДВС; разное; тормозная система; электрооборудование.

Таким образом, менее надежными являются ЗЧ группы *электрооборудование*, и при планировании запасов количественное выражение запасов ЗЧ для этой группы должно быть самым большим.

Распределение неисправностей автомобилей за 2024 г. в группе *электрооборудование* отражено на рис. 2.

В электронной системе управления зафиксировано больше всего неисправностей, которые, как правило, связаны с замыканиями или обрывом цепи: блока управления, контроллера, мультиплексного узла. Также много неисправностей в подгруппе *фары, фонари, указатели поворота*. Неисправности связаны с выходом из строя ламп, замыканием или обрывом цепи, коррозией контактов, попаданием влаги, нарушением регулировки электрокорректора. Перечисленные неисправности могут возникать как в результате заводского брака узла или агрегата, так и в процессе эксплуатации. Независимо от причин возникновения неисправностей, для их устранения необходимо запланировать запасные части по номенклатуре и количеству.



Рис. 2. Распределение неисправностей электрооборудования автомобиля КАМАЗ-54901 (диаграмма составлена автором)

Fig. 2. Distribution of electrical system failures in KAMAZ-54901 vehicles (diagram compiled by the author)

По результатам проведенного исследования можно предложить следующий подход к формированию запасов ЗЧ для автотранспортных предприятий:

- 1) деление на группы исходя из конструкции автомобиля;
- 2) определение в соответствии с выявленной зависимостью количественного выражения запасных частей в каждой группе;
- 3) определение в каждой группе наименований ЗЧ в зависимости от востребованности.

Распределение ЗЧ в каждой номенклатурной группе на основе надежности автомобиля с определением количественной потребности и дальнейшей сепарацией по номенклатуре позволит более точно определить потребности в ЗЧ. Данный подход более дифференцирован и дает возможность рассматривать запасные части по 8 предложенным группам исходя из конструкции автомобиля. Для других марок автомобилей данный подход возможно применить при условии конструктивной схожести.

4. Заключение / Conclusions

В результате исследования установлено влияние надежности систем автомобилей на формирование потребности в ЗЧ. Для автомобилей КАМАЗ-54901 выявлены группы ЗЧ с низкой надежностью, к ним относятся *электрооборудование* и *тормозная система*. На основании полученной классификации для группы с высокой надежностью (*трансмиссия*) предлагается определять запас ЗЧ на основании статистики прошлых периодов и в соответствии с существующей номенклатурой. Для группы с низкой надежностью необходимо установить увеличение запаса ЗЧ в количественном выражении. В последующих исследованиях предполагается определение конкретного по рассматриваемой группе номенклатурного и количественного значения запаса ЗЧ для анализируемой марки автомобиля. Прогноз потребности на основе надежности реализуется с использованием моделей отказов для определения ожидаемого числа отказов за определенный период, производится расчет необходимого запаса ЗЧ для обеспечения работоспособности автомобиля. Таким образом, транспортные предприятия для автомобилей КАМАЗ должны формировать запасы ЗЧ, уделяя особое внимание ЗЧ групп *электрооборудование* и *тормозная система*. В данных группах целесообразнее провести декомпозицию и разделить ЗЧ по надежности, это позволит более точно определить количественное значение каждой единицы номенклатуры в рассматриваемой группе. Примененный подход деления ЗЧ на группы с установлением востребованности уже внутри рассматриваемой группы ЗЧ может быть применен и для других марок автомобилей.



Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The author declares no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Курганов В. М., Грязнов М. В., Дорофеев А. Н., Адувалин А. А. Методика нормирования материальных ресурсов для автобусов. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2022;(1):102–116. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-1-102>
2. Хасанов И. Х., Рассоха В. И., Марков Д. А., Алтухов А. А., Марышев Д. В. Анализ материально-технического обеспечения производственно-хозяйственной деятельности автотранспортного предприятия. В сб.: *Прогрессивные технологии в транспортных системах: материалы XVI международной научно-практической конференции, Оренбург, 11–13 ноября 2021 года*. Оренбург: Оренбургский государственный университет; 2021. С. 541–545. URL: <https://elibrary.ru/jtizys>
3. Макарова А. Н., Захаров Н. С., Зиганшина А. В., Зуев В. В. Оценка размеров оборотных фондов для текущего ремонта коробок передач автомобилей Урал-4320 в ПАО «Сургутнефтегаз». В сб.: *Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2-х томах, Тюмень, 05–07 декабря 2018 года. Том 1*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2019. С. 337–340.
4. Судак Ф. М., Воронина И. Ф., Заика А.И. Методика расчета потребного количества запасных частей на предприятиях автомобильного транспорта с учетом надежности автомобилей. В сб.: *Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2018: материалы IV Международной научно-практической конференции в рамках четвертого Международного научного форума Донецкой народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: Инфраструктурное и социально-экономическое развитие», Горловка, 24 мая 2018 года*. Горловка: Донецкий национальный технический университет; 2018. С. 145–148. URL: <https://www.elibrary.ru/vxrhds>
5. Давлатшоев Р. А., Мажитов Б. Ж. Изучение эффективности и надежности тормозной системы автомобиля в различных условиях эксплуатации. *Наука и инновация. Серия геологических и технических наук*. 2024;(4):142–147. (На таджикском) URL: <https://www.elibrary.ru/wcijdy>
6. Баженов Ю. В., Баженов М. Ю., Каленов В. П. Исследование эксплуатационной надежности передней подвески автомобиля. *Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник*. 2021;(11):27–32. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2021-11-5>
7. Ишкин Ю. Д., Захаров Н. С., Рассохин А. В., Ишкина Е. Г. Влияние сезонности на формирование потребности в запасных частях автомобилей. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(1):102–111. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-1-102-111>
8. Захаров Н. С., Теньковская С. А., Александров А. Э. Повышение надежности функционирования транспортно-технологических систем путем ограничения срока службы автомобилей. *Транспорт Урала*. 2023;(2):54–59. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-2-54-59>
9. Захаров Н. С., Теньковская С. А., Власов А. В. Совершенствование методики формирования потребности в запасных частях для автомобилей при обслуживании объектов нефтегазодобычи. *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2019;(2):32–40. URL: https://vestnik.pstu.ru/obgtrans/archives/?id=&folder_id=8496
10. Захаров Н. С., Теньковская С. А. Влияние наработки и возраста на поток отказов автомобилей. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2023;(2):121–129. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-121>
11. Воронина И. Ф., Судак Ф. М., Перов В. С., Шаповалов С. М., Троицкий И. А., Молозин Ф. В. Оптимизация заказа запасных частей на автотранспортных предприятиях. *Вести Автомобильно-дорожного института*. 2021;(1):50–55. URL: <https://elibrary.ru/jxkpbu>
12. Загородний Н. А. Построение концептуальной информационной модели системы оценки, прогнозирования и управления эксплуатационной надежностью автомобилей. *Транспортное машиностроение*. 2025;(2):16–24. <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2025-2-16-24>
13. Загородний Н. А. Эксплуатационная надежность автомобилей в процессе их эксплуатации. *Мир транспорта и технологических машин*. 2025;(1-2):101–107. [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-1-2\(88\)-101-107](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-1-2(88)-101-107)
14. Захаров Н. С., Новоселов О. А., Зиганшин Р. А., Макарова А. Н. Целевая функция при управлении снабжением запасными частями для транспортно-технологических машин в нефтегазодобыче. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2014;(4):108–110. URL: <https://elibrary.ru/smygcr>

15. Ишкин Ю. Д., Захаров Н. С., Ишкина Е. Г. Влияние надежности автомобилей на затраты на приобретение запасных частей. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(1):98–105. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-1-98-105>
16. Панайотов К. К. Аспекты определения вероятностных параметров надежности автомобилей в реальных условиях эксплуатации. *Мир транспорта и технологических машин*. 2022;(4-2):3–8. URL: <https://elibrary.ru/crfglu>
17. Ременцов А. Н., Зенченко В. А., Фетисов П. Б. Системное планирование запасов запасных частей для АТП на примере автомобилей Скания. *Автотранспортное предприятие*. 2011;(2):41–43.
18. Макарова И. В., Шубенкова К. А., Гиниятуллин И. А., Ахмадеева А. М. Выбор метода прогнозирования надежности работы автомобиля. *Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация*. 2020;(1):51–57. URL: <https://elibrary.ru/fhrdcp>
19. Мороз С. М. Запас работоспособности – комплексный показатель надежности автотранспортных средств. *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. 2020;(3):3–10. URL: <https://madi.ru/4652-vestnik-moskovskogo-avtomobilno-dorozhnogo-gosudarstvennogo.html#>
20. Загородний Н. А., Заяц Ю. А., Новиков А. Н., Семькина А. С. Управление эксплуатационной надежностью автомобилей. *Транспортное машиностроение*. 2025;(4):39–46. <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2025-4-39-46>

References

1. Kurganov V. M., Gryaznov M. V., Dorofeev A. N., Aduvalin A. A. Methodology for rationing material resources for buses. *Intellect. Innovations. Investments*. 2022;(1):102–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2022-1-102>
2. Khasanov I.Kh., Rassokha V.I., Markov D.A., Altukhov A.A., Maryshev D.V. Analysis of material and technical support for production and economic activities of a motor transportation enterprise. In: *Progressivnye tekhnologii v transportnykh sistemakh: materialy XVI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Orenburg, 11–13 November, 2021*. Orenburg: Orenburg State University; 2021. P. 541–545. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/jtizys>
3. Makarova A. N., Zakharov N. S., Ziganshina A.V., Zuev V. V. Assessment of working capital size for the current repair of Ural-4320 vehicle gearboxes at PJSC Surgutneftegas. In: *Problemy funktsionirovaniya sistem transporta: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh: in 2 vol., Tyumen, 05–07 December 2018. Vol. 1*. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2019. P. 337–340. (In Russ.)
4. Sudak F. M., Voronina I. F., Zaika A. I. Methodology for calculating the consumer quantity of spare parts in automotive transport enterprises including reliability of vehicles. In: *Nauchno-tehnicheskie aspekty razvitiya avtotransportnogo kompleksa 2018: materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii v ramkakh chetvertogo Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma Donetskoy narodnoy Respubliki "Innovatsionnye perspektivy Donbassa: Infrastrukturnoe i sotsial'no-ekonomicheskoe razvitie", Gorlovka, 24 May 2018*. Gorlovka: Donetsk National Technical University; 2018, P. 145–148. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/vxrhds>
5. Davlatshoev R. A., Mazhitov B. J. Study of the efficiency and reliability of the car braking system in various operating conditions. *Science and Innovation. Series of geological and technical Sciences*. 2024;(4):142–147. (In Tajik) URL: <https://www.elibrary.ru/wcijdy>
6. Bazhenov Yu. V., Bazhenov M. Yu., Kalenov V. P. Investigation of operational reliability of vehicle front suspension. *Transport: Science, Equipment, Management. Scientific Information Collection*. 2021;(11):27–32. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2021-11-5>
7. Ishkin Yu. D., Zakharov N. S., Rassokhin A. V., Ishkina E. G. The impact of seasonality on spare part demand for automobiles. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(1):102–111. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-1-102-111>
8. Zakharov N. S., Tenkovskaya S. A., Alexandrov A. E. Improving the operation reliability of transport and technological systems by limiting vehicle service lifetime. *Transport of the Urals*. 2023;(2):54–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-2-54-59>
9. Zaharov N. S., Tenkovskaya S. A., Vlasov A. V. Improvement of the methodology for forming the need for spare parts for cars when servicing oil and gas production facilities. *Transport. Transport facilities. Ecology*. 2019;(2):32–40. URL: https://vestnik.pstu.ru/obgtrans/archives/?id=&folder_id=8496

10. Zaharov N. S., Tenkovskaya S. A. Influence of running time and age on the flow of vehicle failures. *Intellect. Innovations. Investments*. 2023;(2):121–129. (In Russ.) <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-121>
11. Voronina I. F., Sudak F. M., Perov V. S., Shapovalov S. M., Troitskii I. A., Molozin F. V. Optimization of the spare parts order at the motor transport enterprises. *Bulletin of the Automobile and Highway Institute*. 2021;(1):50–55. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/jxkpby>
12. Zagorodny N. A. Construction of a conceptual information model of a system to assess, forecast and control operational reliability of vehicles. *Transport Engineering*. 2025;(2):16–24. (In Russ.) <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2025-2-16-24>
13. Zagorodny N. A. Operational reliability of vehicles during their operation. *World of Transport and Technological Machines*. 2025;(1-2):101–107. (In Russ.) [https://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-1-2\(88\)-101-107](https://doi.org/10.33979/2073-7432-2025-1-2(88)-101-107)
14. Zakharov N. S., Novoselov O. A., Ziganshin R. A., Makarova A. N. Criterion function at management of spare parts supply for transport technological machines in oil and gas production. *Scientific and Technical Volga region Bulletin*. 2014;(4):108–110. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/smygcr>
15. Ishkin Yu. D., Zakharov N. S., Ishkina E. G. Impact of vehicles reliability on the purchasing costs of spare parts. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(1):98–105. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-1-98-105>
16. Panayotov K. K. Aspects of determining probabilistic parameters of car reliability in real operating conditions. *World of Transport and Technological Machines*. 2022;(4-2):3–8. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/crfglu>
17. Rementsov A. N., Zenchenko V. A., Fetisov P. B. System planning of spare parts stocks for ATP on the example of Scania cars. *Avtotransportnoe predpriyatie*. (In Russ.) 2011;(2):41–43.
18. Makarova I. V., Shubenkova K. A., Giniyatullin I. A., Akhmadeeva A. M. Choice of method for forecasting reliability of vehicle operation. *Social-economic and Technical Systems: Research, Design and Optimization*. 2020;(1):51–57. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/fhrdcp>
19. Moroz S. M. Stock of operation is a comprehensive indicator of vehicles reliability. *Vestnik Moskovskogo Avtomobil'no-Dorozhnogo Instituta (Gosudarstvennogo Tehnicheskogo Universiteta)*. 2020;(3):3–10. (In Russ.) URL: <https://madi.ru/4652-vestnik-moskovskogo-avtomobilno-dorozhnogo-gosudarstvennogo.html#>
20. Zagorodnii N. A., Zayats Yu. A., Novikov A. N., Semykina A. S. Car operational reliability control. *Transport Engineering*. 2025;(4):39–46. (In Russ.) <https://doi.org/10.30987/2782-5957-2025-4-39-46>



Информация об авторе

Ишкин Юрий Дмитриевич, аспирант кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, yrtmn@outlook.com

Information about the author

Yuri D. Ishkin, Postgraduate student of the Department of Road Transport Operation, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, yrtmn@outlook.com

Получена 15 июня 2025 г., одобрена 22 сентября 2025 г., принята к публикации 25 сентября 2025 г.

Received 15 June 2025, Approved 22 September 2025, Accepted for publication 25 September 2025

АСТ

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

Уважаемые авторы и читатели!

Вы можете оформить подписку на журнал
«Архитектура, строительство, транспорт»
любым удобным для Вас способом:

- через электронный каталог «Пресса России» на сайте **www.pressa-rf.ru**
- через интернет-магазин «Пресса по подписке» на сайте **www.akc.ru**



Адрес редакции:
625001, г. Тюмень,
ул. Луначарского, 2,
каб. 117
Тел.: (3452) 28-37-50
e-mail: ast@tyuiu.ru

Подписной индекс
журнала 79619

Правила подготовки рукописи

1. К предоставляемой рукописи должны быть приложены следующие документы:
 - сопроводительное письмо автора на имя главного редактора журнала, подтверждающее, что статья нигде ранее не была опубликована;
 - экспертное заключение организации, откуда исходит рукопись, о возможности открытого опубликования.
2. Все поступающие в редакцию журнала рукописи статьи проходят проверку на наличие заимствований в системе «Антиплагиат». Статьи, содержащие менее 75 % оригинального текста, в журнале не публикуются (проверка уникальности текста осуществляется без учета метаданных и библиографического списка).
3. Рукописи, соответствующие тематике журнала, отправляются двум рецензентам, проходят процедуру двойного слепого рецензирования с целью их экспертной оценки. Рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов. Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.
4. Требования к тексту.

Формат файлов для текста – Microsoft Word (*.docx). Название файла должно включать фамилию и инициалы автора статьи (например: Иванов_ИИ.docx). Статьи, содержащие формулы, помимо word-файла необходимо продублировать pdf-файлом во избежание искажения формул, которые следует набирать в MathType 4.0 Equation.

Объем статьи – не менее 5 и не более 15 страниц (не включая библиографический список). Размер шрифта 12 пт (Times New Roman), межстрочный интервал одинарный, абзац 0.5 см. Поля страниц: верхнее 20 мм, нижнее 20 мм, левое 20 мм, правое 20 мм.

Все графические объекты должны быть предоставлены отдельными файлами: один рисунок – один файл графического формата. Растровые рисунки (фото) предоставляются в формате JPG с разрешением не менее 300 dpi. Каждый рисунок должен быть помещен в текст и сопровождаться нумерованной подрисунковой подписью. Ссылки на рисунки в тексте обязательны.

Таблицы следует помещать в текст статьи, они должны иметь нумерацию, заголовки и четко обозначенные графы, удобные и понятные для чтения. Ссылки на таблицы в тексте обязательны.

Объем иллюстративных материалов (таблиц и графических материалов) не должен превышать 1/3 общего объема рукописи.

Список литературы (не менее 20 источников) должен содержать ссылки на актуальные научные работы отечественных и зарубежных специалистов. Объем самоцитирования – не более 30 % от общего числа ссылок.

Нумерация использованных источников в списке дается в порядке упоминания в тексте. На все источники должны быть ссылки в тексте статьи в квадратных скобках. В списке не должно быть неавторизованных источников (СП, СНиПов, ГОСТов и т. п.) – на них ссылки даются непосредственно в тексте статьи.
5. Рукопись статьи должна включать:
 - индекс УДК;
 - название статьи;
 - инициалы и фамилию автора,

- аффилиацию автора;
 - аннотацию (130–180 слов);
 - ключевые слова (5–7 слов и (или) словосочетаний);
 - благодарности (информация о грантовой поддержке, при которой было реализовано исследование, а также благодарность в адрес других ученых и/или предприятий, оказавших содействие в реализации исследования);
 - основной текст статьи;
 - вклад авторов;
 - конфликт интересов;
 - список литературы (не менее 20 источников);
 - сведения об авторах: полные Ф.И.О., должность, ученая степень, звание, место работы, e-mail, ORCID.
6. Структура основного текста статьи должна включать следующие рубрики, согласно стандарту IMRAD:
- **Введение.** Включает актуальность исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы, формулирование цели и задач исследования.
 - **Материалы и методы / Методы.** Данный раздел включает детальное описание методов и схемы экспериментов/наблюдений, позволяющих воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи; материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.
 - **Результаты и обсуждение.** Результаты рекомендуется представлять преимущественно в виде таблиц, графиков и иных наглядных формах. Этот раздел включает анализ полученных результатов, их интерпретацию, сравнение с результатами других авторов.
 - **Заключение.** Подводятся итоги научного исследования. Заключение содержит выводы, кратко формулирующие основные научные результаты статьи. Выводы должны логически соответствовать поставленным в начале статьи задачам, содержать краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.
7. Рукопись, допущенная к публикации, проходит принятый редакцией процесс допечатной подготовки, включающий редактирование, корректуру, верстку.
8. Рукописи, не удовлетворяющие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются.
9. Плата за опубликование рукописей **не взимается**.
10. С полным перечнем требований можно ознакомиться на сайте журнала ast.tyuiu.ru.

Manuscript preparation guidelines

1. The following documents must be attached to the submitted manuscript:
 - a cover letter from the author addressed to the editor-in-chief of the journal, confirming that the article has not been published anywhere else;
 - expert evaluation of the organization where the manuscript comes from on the possibility of open publication.
2. All manuscripts submitted to the journal are checked for plagiarism in the Antiplagiat system. Articles containing less than 75% of the original text are not accepted for publication in the journal (verification of the uniqueness of the text is carried out without taking into account metadata and bibliographic list).
3. Manuscripts that align with the journal's scope are sent to two reviewers and undergo double-blind peer review for expert evaluation. The reviewers are recognized experts in the subject matter of the reviewed material. The reviews are kept in the editorial office for 5 years.
4. Requirements for text.

The file format for the text is Microsoft Word (*.docx). The file name must include the surname and initials of the author of the article (for example Ivanov_AA.doc). Articles containing formulas, in addition to the word file, must be duplicated with a pdf file in order to avoid distorting the formulas that should be typed in MathType 4.0 Equation.

The volume of the article is at least 5 and no more than 15 pages (not including the reference list). Use 12 pt Times New Roman, single line spacing, paragraph 0.5 cm. Page margins: top 20 mm, bottom 20 mm, left 20 mm, right 20 mm.

All graphic objects must be submitted in separate files: one figure – one graphic format file. Raster images (photos) are submitted in JPG format with a resolution of at least 300 dpi. Each figure should be placed in the text and accompanied by a numbered figure caption. References to figures in the text are required.

Tables should be placed in the text of the article, they should have a numbering, heading and clearly marked columns, convenient and easy to read. References to tables in the text are required.

The volume of illustrative materials (tables and graphic materials) should not exceed 1/3 of the total volume of the manuscript.

The list of references (at least 20 sources) should contain links to current scientific works of national and international experts. Self-citations should not exceed 30 % of the total number of links.

The cited sources in the reference list are numbered in the order of their appearance in the text. All sources should be referenced in the text of the article in square brackets. The list should not contain unauthorized sources (SP, SNiPs, GOSTs, etc.) – links to them are given directly in the text of the article.
5. The manuscript of the article should include:
 - UDC index;
 - title of the article;
 - initials and surname of the author;
 - author's affiliation;
 - abstract (130–180 words);
 - keywords (5–7 words and (or) phrases);

- acknowledgements (information about grant support under which the research was carried out, and also gratitude to other scientists and/or enterprises who contributed to the implementation of the research);
 - main text of the article;
 - author contributions;
 - conflict of interest;
 - references (at least 20 sources);
 - information about the authors: full name, position, academic degree, title, place of work, e-mail, ORCID.
6. The structure of the main body of the article should include the following sections, according to the IMRAD structure:
- **Introduction.** It includes the relevance of the research, literature review on the research topic, problem statement, formulation of the goal and objectives of the research.
 - **Materials and methods / Methods.** This section includes a detailed description of the methods and schemes of experiments/observations that make it possible to reproduce their results using only the text of the article, as well as materials, devices, equipment, and other conditions for conducting experiments/observations.
 - **Results and discussion.** It is recommended to present the results mainly in the form of tables, graphs, and other visual forms. This section includes the analysis of the results obtained, their interpretation, comparison with the results of other authors.
 - **Conclusions.** Here the results of the research are summed up. Conclusions summarize the main scientific results of the article. Conclusions should logically correspond to the objectives set at the beginning of the article, contain brief summaries of the sections of the article without repeating the formulations given in them.
7. The manuscript, admitted for publication, goes through the prepress process adopted by the editors, including editing, proofreading, and layout.
8. Manuscripts that do not meet the listed requirements will not be accepted for consideration and will not be returned to authors.
9. There is no fee for the publication of manuscripts.
10. A complete list of requirements is available on the journal's website ast.tyuiu.ru.

Подписной индекс журнала «Архитектура, строительство, транспорт»
в объединенном каталоге «Пресса России» 79619 (www.pressa-rf.ru)

