

DOI 10.31660/2782-232X-2024-3

ISSN 2782-232X (print)
ISSN 2713-0770 (online)

АСТ

АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

ARCHITECTURE • CONSTRUCTION • TRANSPORT



№ 3
2024

16+

ISSN 2782-232X (print)
ISSN 2713-0770 (online)

АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

Научно-информационный журнал

Издается с 2021 года

ARCHITECTURE CONSTRUCTION TRANSPORT

The scientific and information journal

The journal has been published since 2021

**№ 3
2024**

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)
2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
2.5.6 Технология машиностроения (технические науки)
2.9.5 Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки)



Журнал издается с 2021 г.

Периодичность: 4 раза в год

Тираж: 400 экз.

Префикс DOI: 10.31660

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-80657 от 07.04.2021 года выдано 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

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

Копирайт: © Архитектура, строительство, транспорт, 2024

Индексирование: журнал входит в перечень изданий, рекомендованных ВАК, индексируется в РИНЦ, международной базе ROAD

Подписной индекс: в каталоге агентства «Пресса России» – 79619 (www.ppressa-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: Николюк С. А.

Отпечатано: ООО «Типография ВиК», 625056, Тюмень, ул. Счастливая, 21, +7 (3452) 38-86-88

Дата выхода: 10.10.2024

Aims and Scope

The scientific and information journal "Architecture, Construction, Transport" ("Arkhitektura, 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 Construction 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 sewerage, 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 transport 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 conceptions of architectural activity (architecture, engineering sciences)
2.2.5 Technology and equipment for mechanical, physical and technical processing (engineering sciences)
2.5.6 Machine-building technology (engineering sciences)
2.9.5 Operation of motor transport (engineering sciences)



The journal has been published since 2021

Frequency: 4 times a year

Print run: 400 copies

DOI Prefix: 10.31660

Mass Media Registration Certificate: 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>

Copyright: © Architecture, Construction, Transport, 2024

Indexation: the journal is included in the index of periodical publications recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles, and in the Russian Science Citation Index database, in ROAD database

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 Tipographia ViK, 625056, Tyumen, 21 Schastlivaya St., +7 (3452) 38-86-88

Published: 10.10.2024

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 национальный 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)

Грдиц 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)

Ковенский И. М., 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)

Мерданов Ш. М., д. т. н., профессор, Тюменский индустриальный университет, Тюмень (Российская Федерация)

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, Уттарахандский университет Дев Бхуми, Дехрадун (Республика Индия)

Сепехри М., PhD, доцент, Технологический университет имени Шарифа, Тегеран (Иран)

Сладковски А. В., д. т. н., профессор, Силезский технический университет, Катовице (Республика Польша)

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

Султанова Д. Н., доктор архитектуры, профессор, Самаркандский архитектурно-строительный институт, 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, Дальневосточный федеральный 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)

Ilya M. Kovenskiy, 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)

Shakhbuba M. Merdanov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Industrial University of Tyumen, Tyumen (Russian Federation)

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)

Mehran Sepehri, PhD, Associate Professor, Sharif University of Technology, Tehran (Iran)

Alexander V. Sladkovski, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Silesian University of Technology, Katowice (Republic of Poland)

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 Institute, 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, Far Eastern Federal University, Vladivostok (Russian Federation)

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

Mikhail N. Chekardovski, 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. О. Чайникова

Историко-культурная ценность дворового флигеля
доходного дома в историческом центре Санкт-Петербурга 8

**Д. М. Астанин, А. А. Ткачев, Л. В. Яловкина,
А. П. Смирнов**

Типология элементов градостроительного обустройства
территорий экологического туризма: системный подход 22

СТРОИТЕЛЬСТВО

Е. В. Корешкова, А. А. Шушарин, Н. М. Хасанов

Аналитическое определение функции релаксации
вязкоупругого мерзлого грунта на основе
экспериментальных данных 36

Р. В. Мельников, З. А. Косинова, Д. В. Рачков

Оценка инженерно-геологических изысканий города
Тюмени по качеству лабораторных образцов грунта 44

Д. С. Скворцов, А. И. Сеницкий, Е. А. Жайсамбаев

Температурный расчет грунтового основания
в геотехнических программных комплексах 54

Л. А. Пимнева, А. А. Загорская, Е. А. Жеребчук

Влияние кислотной активации на извлечение ионов
марганца из природных и сточных промышленных вод 64

Чунг Хиеу Ле, Суан Хунг Нго

Численная оценка устойчивости и деформативности
конструкции земляного полотна методом замены
слабого грунта на слабых основаниях 74

ТРАНСПОРТ

Б. У. Акунов, К. А. Имаров

Кратковременная топливная коррекция бензинового
двигателя по напряжению датчика кислорода
в процессе эксплуатации автомобиля 86

Е. В. Лихайрова, А. И. Петров

Анализ причин изменения пространственной
структуры рисков дорожно-транспортной
аварийности в Тюмени 99

МАШИНОСТРОЕНИЕ

**А. И. Стариков, А. С. Губенко, М. А. Пермяков,
В. М. Соловьев, А. А. Цыганова**

Некоторые аспекты повышения качества изделий,
получаемых методом аддитивных технологий 111

ЛЮДИ, СОБЫТИЯ, ФАКТЫ

Итоги XXIII конкурса «На лучшее достижение
в строительной отрасли Тюменской области за 2023 год» 120

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Правила подготовки рукописи (на русском языке) 123

Правила подготовки рукописи (на английском языке) 124

Contents

Olesya O. Chainikova

Historical and cultural value of the yard wing of a revenue house in the historical center of Saint Petersburg 8

Dmitry M. Astanin, Alexander A. Tkachev, Lyubov V. Yalovkina, Alexander P. Smirnov

Typology of ecotourism territories elements in context of urbanism development: system approach 22

Elena V. Koreshkova, Alexander A. Shusharin, Nurali M. Hasanov

Analytical determination of the relaxation function of viscoelastic frozen soil based on experimental data 36

Roman V. Melnikov, Zlata A. Kosinova, Dmitry V. Rachkov

Assessment of engineering geological survey quality in Tyumen based on the laboratory soil sample analysis 44

Dmitry S. Skvortsov, Anton I. Sinitsky, Erkn A. Zhajsambaev

Temperature calculation of soil foundation in geotechnical software packages 54

Lyudmila A. Pimneva, Alla A. Zagorskaya, Elizaveta A. Zherebchuk

The impact of acid activation on manganese ion extraction from natural water and industrial wastewater 64

Trung Hieu Le, Xuan Hung Ngo

Numerical evaluation of stability and deformability of earth embankment structure by replacing weak soil on weak foundations 74

Bakytbek U. Akunov, Kubatbek A. Imarov

Short-term fuel trim of petrol engine by oxygen sensor voltage during vehicle operation 86

Evgeniia V. Likhajrova, Artur I. Petrov

Analysis of the causes of changes in the spatial structure of traffic accident risk in Tyumen 99

Aleksandr I. Starikov, Arseniy S. Gubenko,

Mikhail A. Permyakov, Vasily M. Soloviev, Alena A. Tsyganova

Aspects of improving the quality of products manufactured by additive technologies 111

Results of the 23rd competition "For the best achievement in the construction industry of the Tyumen region" 120

Manuscript preparation guidelines (In Russian) 123

Manuscript preparation guidelines (In Russian) 124

Архитектура, строительство, транспорт

Architecture, Construction, Transport

2024;(3)

ARCHITECTURE

CONSTRUCTION

TRANSPORT

MECHANICAL
ENGINEERING

PEOPLE, EVENTS, FACTS

INFORMATION
FOR AUTHORS

Научная статья / Original research article

УДК 711.6-72.025.5

<https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-8-21>2.1.11 Теория и история архитектуры, реставрация
и реконструкция историко-архитектурного
наследия (архитектура)

Историко-культурная ценность дворового флигеля доходного дома в историческом центре Санкт-Петербурга

О. О. Чайникова ✉

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 3-я Красноармейская, 3/6, Санкт-Петербург, 190005, Российская Федерация

ГМЗ «Петергоф», ул. Разводная, 2, Петергоф, Санкт-Петербург, 198516, Российская Федерация

✉ restavr2015@gmail.com



Аннотация. В основу работы положены результаты проведенных автором историко-культурных исследований внутриквартальных зданий Санкт-Петербурга, включая жилые многоквартирные. В ходе исследования изучена история строительства здания в городе Санкт-Петербурге по ул. Егорова, д. 236, литера А, расположенного в проекции дома Устинова по Измайловскому проспекту, д. 18, внутри квартала, построенного как доходный дом и сдаваемого в наем в начале XX века. Исследованы и проанализированы перестройки, расширения, развитие объекта, пристройки к нему с целью определения его историко-культурного значения и иных ценностных параметров: установлено первоначальное назначение здания, изучены его планировочные решения, характерные для рассматриваемого периода строительства – развития строительства доходных домов. Выявлено, что изучаемый объект (ул. Егорова, д. 236, литера А) не обладает мемориальной, исторической, градостроительной, архитектурной ценностью, следовательно, не может быть отнесен к историческим зданиям. Такие исследования важны, чтобы найти баланс между сохранением истинных культурных ценностей и возможностью изменений в архитектурном облике города для его дальнейшего развития.

Ключевые слова: доходные дома, ночлежки, типовой проект, историческое здание, историко-архитектурная среда, историко-культурная ценность

Для цитирования: Чайникова О. О. Историко-культурная ценность дворового флигеля доходного дома в историческом центре Санкт-Петербурга. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(3):8–21. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-8-21>

Historical and cultural value of the yard wing of a revenue house in the historical center of Saint Petersburg

Olesya O. Chainikova ✉

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 3/6 3rd Krasnoarmeiskaya St., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation

The Peterhof State Museum-Reserve, 2 Razvodnaya St., Peterhof, Saint Petersburg, 198516, Russian Federation

✉ restavr2015@gmail.com



Abstract. The basis of the work is the results of the historical and cultural research of inner-block buildings, including residential multistorey ones in Saint Petersburg. The author studied the history of the inner-block

building at 23b Egorova Street, letter A, located in the projection of Ustinov house at 18 Izmailovsky Prospekt, that had been built as a revenue house and rented out in the early 20 century. The author also analyzed reconstructions, extensions, transformations of the building and its annexes in order to determine its historical and cultural significance and other valuable parameters. The analysis made it possible to establish the initial function of the building and to study its planning solutions typical for revenue houses of the period under consideration. According to the results, the building at 23b Egorova Street, letter A, has no memorial, historical, town-planning and architectural value, therefore, it cannot be classified as a historical building. Such studies are important both for the preservation of true cultural values and for changing the architectural appearance of the city for its future development.

Keywords: revenue houses, homeless shelter, typical project, historical building, historical and architectural environment, historical and cultural value

For citation: Chainikova O. O. Historical and cultural value of the yard wing of a revenue house in the historical center of Saint Petersburg. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(3):8–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-8-21>



1. Введение

Исследование базируется на литературных источниках, изданиях, посвященных как общей истории строительства и развития центральной части Санкт-Петербурга [1–3], так и строительству конкретных зданий, формированию кварталов и их «повторности» [4–8], основным принципам организации квартала [7, 9, 10], а также установлению ценностных параметров: мемориальной ценности, градостроительного значения, историко-архитектурной ценности жилого здания – бывшего доходного дома, – в историческом центре города [11–14]. Результаты настоящего исследования были использованы автором в 2023 г. при проведении историко-культурного исследования квартала, ограниченного набережной Обводного канала, Измайловским пр., 7-й Красноармейской ул., ул. Егорова, в границах которого располагается участок и здание по адресу: Санкт-Петербург, ул. Егорова, д. 23б, литера А, – с целью определения историко-культурной ценности внутридворового здания – флигеля бывшего доходного дома.

История строительства доходных домов в России достаточно широко освещена в литературе, научных исследованиях и берет свое начало со строительства первых жилых кварталов в XVIII веке [1–4, 7, 8].

Непрерывное развитие центральной части городов и исторических поселений, историческим ядром которых являются жилые дома, доходные дома, в числе которых значится и здание по ул. Егорова, д. 23б, литера А, требующее историко-культурной оценки объектов, определяет актуальность исследования.

2. Материалы и методы

Объектом исследования в настоящей статье определено здание по адресу: Санкт-Петербург, ул. Егорова, д. 23б, литера А.

Предметом исследования выступает перечень ценностных параметров здания, расположенного в центральной части города, внутри квартальной застройки.

Цель исследования – установление даты постройки жилого дома, выявление общих и отличительных особенностей в организации объемно-планировочного и архитектурного решений доходного дома, определяющих целостность его восприятия, заложенных автором проекта, установление авторства проекта с последующим определением ценностных параметров дома и/или его историко-культурной ценности. Именно такой подход в исследовании застройки исторического центра допустим и приемлем для принятия решения об отнесении здания к разряду исторических, подлежащих

сохранению согласно установленному режиму, либо о возможности его перестройки или сноса для высвобождения места под современную застройку.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: изучить историю квартала, историю строительства жилого дома и установить основные принципы формирования дворового пространства, внутренних дворов-колодцев, установить состав и планировочную организацию внутри дворов; установить авторство проекта; выявить ценностные параметры здания и определить принадлежность его к историческим зданиям.

В рамках комплексно-научных исследований, включающих историко-архивные, библиографические, иконографические исследования, натурное обследование объекта, изучены материалы, содержащие сведения по истории освоения участка, включая перестройки, утраты, реконструкции, проведение ремонтных работ по объекту с применением конкретно-исторического подхода.

Границы исследования объекта определены периодом его строительства, перестроений и разрушений (1900–1970-е гг.).

3. Результаты и обсуждение

История существования и развития исследуемого участка территории по адресу: Санкт-Петербург, ул. Егорова, д. 236, литера А, – начинается с середины XVIII века, с вступления на престол Анны Иоанновны (1730–1740 гг.) и учреждения ею двух гвардейских полков – пехотного Измайловского и кавалерийского Конногвардейского.

С формированием полков план Санкт-Петербурга не меняли, но после череды пожаров 1730-х гг. план города был изменен постройкой ряда казарм и полковых слобод, места для строительства которых позволили самостоятельно выбирать командирам гвардейских полков [5, с. 966–968].

2 декабря 1737 г. Анна Иоанновна утвердила проект постройки Измайловской слободы, название которой являлось официальным на протяжении всего XVIII столетия и относилось к территории, образованной современными Московским и Лермонтовским проспектами, Фонтанкой и Обводным каналом. Территория была занята редкой деревянной застройкой, огородами, пустырями и березовыми рощами [15].

Измайловский полк к тому времени уже несколько лет находился на постое по обывательским домам, пока для него выбиралось место постоянного квартирования и строилась слобода.

Первоначально предполагалось разместить строения слободы за Калинкиной деревней, около нынешнего парка Екатерингоф, но место там оказалось сырым и для жилья непригодным.

На шведском плане 1676 г. в районе, где позднее образуется Измайловская слобода, обозначена деревушка Кеме-јокі, что значит в переводе «крутобережье»¹. Выбор определился тем, что это место потоплению и другим неудобствам подвержено быть не может [5].

В 1740 г. слобода для Измайловского полка была устроена «за Фонтанкой позади обывательских дворов» [6].

Масштаб изменений плана города наглядно отражен на II генеральном плане Санкт-Петербурга, выполненном Академией наук и художеств в 1748–1749 гг. под руководством картографа И. Ф. Трускотта – «План И. Ф. Трускотта» [7, с. 6, 26] (рис.1).

План И. Ф. Трускотта – это проектный вариант развития города [16, с. 44, 54].

¹ Карта бывших губерний Иван-Города, Яма, Капорья и Нэтеборга / Составленная по масштабу 1/210 000 1827 года под призором генерал-майора Шуберта Генерального Штаба штабс-капитаном Бергенгеймом 1-м. Из материалов, найденных в Шведских Архивах, показывающая разделение и состояние онаго края в 1676 году. Режим доступа: https://viewer.rusneb.ru/ru/000200_000018_RU_NLR_cart_6158?page=1&rotate=0&theme=white (дата обращения: 17.01.2024).

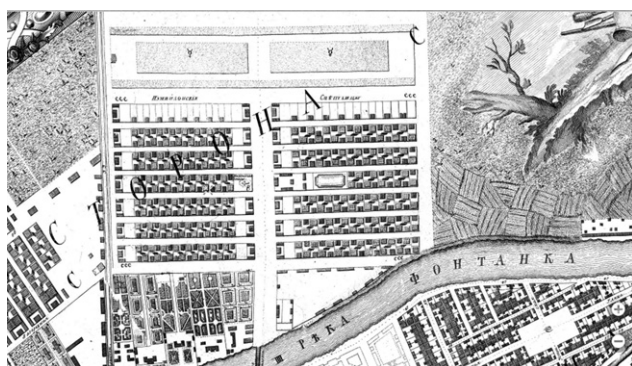


Рис. 1. Санкт-Петербург. Академический план
Трускотта. 1753 г. Фрагмент²
Fig. 1. Saint Petersburg. John Truskott's academic plan.
1753. Fragment²

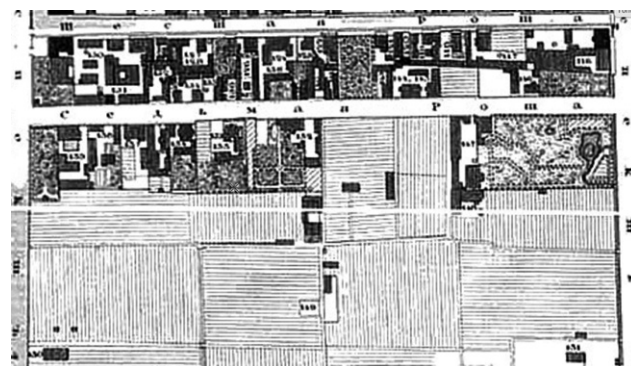


Рис. 2. Подробный план Санкт-Петербурга 1828 г.
генерал-майора Шуберта. Фрагмент³
Fig. 2. Detailed plan of Saint Petersburg by Major General
Theodor Friedrich von Schubert. 1828. Fragment³

Согласно линейно-геометрическому плану слободы, главная улица делила всю прямоугольную территорию на две симметричные части с вытянутыми прямоугольниками кварталов, разделенных между собой сеткой поперечных проездов и завершающихся плацом [16, с. 54–55]. Участки с казармами и огородами располагались в шахматном порядке, в результате «пространство улицы становилось более разряженным, расстояние между домами значительно увеличивалось, а дома, стоящие на противоположных сторонах, никогда "не смотрели друг на друга"» [7, с. 41].

«Образцовые» проекты полковых слобод первой половины XVIII века, размещавшиеся на значительной территории окраин города, составляют основу градостроительной ткани Санкт-Петербурга и формируют его современные улицы, проспекты, кварталы и площади.

На 1731 г. гвардейский полк насчитывал 12 рот, каждая из них располагалась на поселение на отдельной улице [10]. В начале XVIII века среди казарм имелась и деревянная часовня, которая пострадала во время наводнения 1824 г. и была разобрана из-за ветхости в 1827 г., а в 1828–1835 гг. на ее месте по проекту Стасова построен Свято-Троицкий Измайловский собор.

К началу XIX века казармы строились уже каменные, в несколько этажей вдоль Измайловского проспекта, большая часть из них сохранилась в перестроенном виде.

На месте измайловских рот в этот период вплоть до начала XX века развивается жилая застройка.

Название «Измайловская слобода» с XIX века неофициально, но прочно сохраняется в исторической памяти горожан [15, 17, 18].

Названия улиц бывшей слободы Измайловского полка также сохраняют слово «рота». К первой половине XIX века употреблялись разные варианты: 1–12-я Роты Измайловского полка, 1–12-я Измайловские улицы и просто 1–12-я улицы [17, 18].

Объект исследования расположен в границах ул. 7-й Красноармейской, квартал был застроен, в глубине его – неосвоенная земля, пашни (рис. 2).

До середины XIX века освоение квартала почти не менялось, застройка и пашни сохранялись.

² Санкт-Петербург. Академический план Трускотта. Режим доступа: http://www.etomesto.ru/map-peterburg_1753/ (дата обращения: 13.01.2024).

³ Подробный план Санкт-Петербурга 1828 года генерал-майора Шуберта. Режим доступа: http://www.etomesto.ru/map-peterburg_1828/ (дата обращения: 19.01.2024).

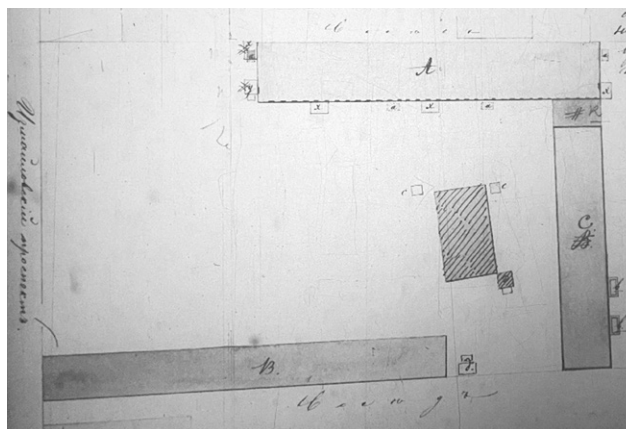


Рис. 4. План двора купеческой вдовы Н. И. Кондыревой 1867 г.⁵

Fig. 4. Plan of the yard of merchant widow
N. I. Kondyreva. 1867⁵

Изменения в квартале появляются во второй половине XIX века (рис. 3).

В это время начинается активное строительство доходных домов. Массовый выкуп земельных участков осуществлялся купеческим сословием, мелкими помещиками, бывшими крестьянами. Это отражалось на домах, домовладениях, строениях в границах участков. В целях получения большей прибыли землевладельцы строили дома максимальной разрешенной высоты. К строительству доходных домов привлекались известные архитекторы, а дома получали названия по именам своих владельцев.

Архивные материалы фиксируют план исследуем

Архивные материалы фиксируют план исследуемого участка начиная с 1867 г., когда он принадлежал вдове купца Кондырева⁶ (рис. 4), позднее, в 1876 г., участок перешел во владение купцу Максиму Марковичу Спехину⁷. В 1895 г. двором владел купец И. Ф. Маркин⁸, а уже с 1895 г. участок приобрел и развивал его, расширял и перестраивал купец И. В. Устинов⁹.

Планировочные решения выкупаемых земельных участков чаще всего характеризовались небольшим лицевым фронтом вдоль главной улицы и протяженным вглубь квартала. Застройка и освоение таких участков имели весьма существенные отличия: выделялись главный, «парадный», дом, двор и «задние дворы», в которых сформировалась жилая среда «второго сорта». Архитекторы проявляли

⁵ ЦГИА СПб ф. 513 оп. 102 д. 5476. Чертежи дома на участке, принадлежавшем Н. И. Кондыревой, М. М. Спехину, И. Ф. Мыркину, И. В. Устинову по Измайловскому пр., 18. Л. 25

⁶ Там же. Л. 1–2.

⁷ Там же. Л. 26 об – 27.

⁸ Там же. Л. 89.

⁹ Там же. Л.104–105.

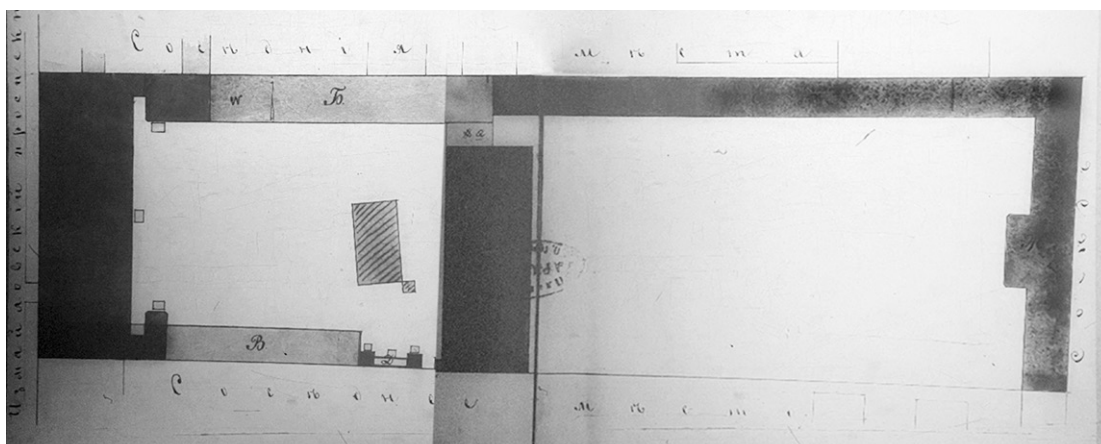


Рис. 5. План двора купца М. М. Спехина. 1876 г.¹⁰
 Fig. 5. Plan of the yard of merchant M. M. Spekhin. 1876¹⁰

практическую изобретательность при возведении дворовых корпусов, находя решения по полному освоению участка с максимальным выходом полезной площади.

«Задние дворы» использовались для размещения хозяйственных построек и второсортного жилья для прислуги или малосостоятельных горожан, что и определило отсутствие декоративных, архитектурно-стилистических особенностей на фасадах зданий, тем самым уподобившихся солдатским казармам или производственным корпусам.

Необходимо отметить также низкое качество и характеристики санитарно-гигиенических параметров – инсоляции, вентиляции, габаритов жилых помещений внутренних «задних дворов». Это выявляет нелепую изнанку столичного ансамбля – парадного Санкт-Петербурга, Петрограда, Ленинграда во все его исторические периоды и до настоящего времени.

План дворового участка во владении М. М. Спехина уже существенно расширен капитальными постройками, также возведен главный дом вдоль фронта Измайловского проспекта, в связи с чем участок к 1876 г. приобрел свои очертания, приближенные к современному (рис. 5).

Внутри двора осуществлялись перестройки дворового пространства, снос и новое строительство: дворовых флигелей, ледников, сараев и прочего. Также купцом М. М. Спехиным был поделен на литеры и перестроен лицевой дом № 18 по Измайловскому проспекту¹¹.

К 1882 г., согласно плану издания Иванова, планировка квартала существенно меняется в части фронтальной застройки улиц, а также внутренних дворов. В связи с этим интерес представляет межевой план участка М. М. Спехина 1883 г., который фиксирует фамилии всех владельцев соседних участков¹².

Купец второй гильдии М. М. Спехин, согласно Адресной книге 1892–1896 гг., владел домом № 26 в 7-й Роте, а проживал в доме № 18 и здесь же в разные годы торговал разными товарами. Около 1895 г. он продал свой дом в 7-й Роте И. В. Устинову, сам же с семьей долгие годы еще жил здесь и продолжал содержать свою торговлю.

¹⁰ ЦГИА СПб ф. 513 оп. 102 д. 5476. Л. 26 об – 27.

¹¹ Там же. Л. 51–52.

¹² Там же. Л. 58–59.

В 1896 г. в составе домовладения № 18 по Измайловскому проспекту было несколько флигелей, учитывая особенности и протяженность участка застройки, в доме располагались принадлежавшие разным владельцам булочная, пекарня, портерная, часовой, табачный и аптекарский магазины, каретная мастерская, гусачное заведение. В бытность купца М. М. Спехина, он торговал здесь известью¹³.

План Щепанского 1894 г. фиксирует изменения в квартале в части застройки как внешнего, так и внутреннего периметра, а также появление переулка Тарасова (иногда встречается – Тарасовский пер.), будущей улицы Егорова.

Таким образом, доходный дом № 18 по Измайловскому проспекту – это неоднократно перестроенный дом, сменявший владельцев, одним из которых был купец И. В. Устинов (с 1895 г.), чье имя дом и сохранил в настоящее время.

В результате изучения и анализа застройки квартала выявлены планы перестройки, сноса, надстройки зданий и строений в рамках развития и расширения домовладения И. В. Устинова начиная с 1895 г.¹⁴ Архивные планы свидетельствуют о довольно стремительном развитии территории домовладения Устинова: постройке дворовых флигелей, а также расширению земельного участка путем приобретения соседних¹⁵.

В том же 1895 г. Устинов приобретает соседний участок, на котором, согласно разрешению Санкт-Петербургской Городской Управы, разрешена «постройка деревянных земляноотсыпных ледников <...>, согласно представленных детальных чертежей с соблюдением общих правил, <...> и с тем: 1-е, чтобы у ледников была устроена к соседу каменная брандмауэрная стена и скат земляной насыпи был обращен в свой двор и 2-е, чтобы строение прикрытое на плане <...> с знаком # было уничтожено до приступа к разрешенным работам и строения прикрытые на плане штрихами по приходе в ветхость как существующие вопреки ст. 333 Уст. Стр.», согласно проекту, утвержденному Техническим Отделением от 27 октября 1895 г.¹⁶

В 1898 г. разработан проект постройки 5-этажного каменного надворного флигеля, на плане двора обозначенного литерой А, гражданского инженера С. А. Баранкеева¹⁷.

Таким образом, с 1898 г. проектирование построек для И. В. Устинова в границах его домовладения ведется несколькими архитекторами, в числе которых и гражданский инженер С. А. Баранкеев.

Исследуемая территория с началом нового века отражает и новую жизнь, о чем в историческом очерке 1902 г. пишет В. Н. Авсеенко: «Только в начале XX века тихие улицы Измайловского и Семеновского полков – бесконечные пустыри, обнесенные деревянными заборами, или ряды маленьких деревянных домиков с палисадниками – стали неузнаваемы. Везде повыврастали многоэтажные каменные дома, магазины с большими стеклами, всюду проникло освещение, мелькают газовые и электрические фонари, чувствуется непрерывное городское движение» [1].

Внутриквартальная ситуация динамично изменялась и развивалась: возводились здания и строения, хозяйственные постройки и сооружения утилитарного назначения, часть из которых дошли до настоящего времени. Жилые дома внутриквартальной застройки характеризуются низким уровнем комфортабельности, малогабаритностью, относятся к «второсортным».

¹³ Жилой дом с библиотекой. Режим доступа: <https://www.citywalls.ru/house12050.html> (дата обращения: 13.01.2024).

¹⁴ ЦГИА СПб ф. 513 оп. 102 д. 5476. Л. 93–94.

¹⁵ Там же. Л. 97–98.

¹⁶ Там же. Л. 98.

¹⁷ Там же. Л. 113–116.

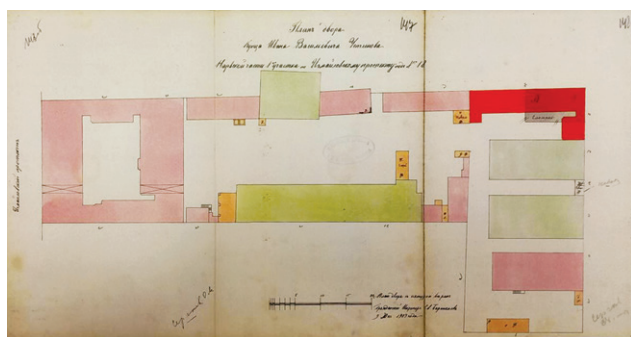


Рис. 6. План постройки каменного 5-этажного надворного флигеля во дворе купца И. В. Устинова. 1903 г.¹⁸

Fig. 6. Construction plan of a five-storey stone wing in the yard of merchant I. V. Ustinov. 1903¹⁸

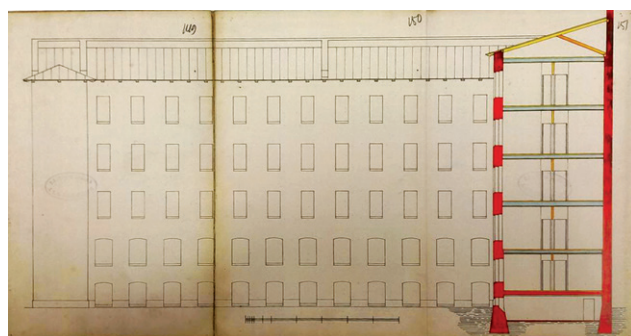


Рис. 7. Дворовой фасад дома купца И. В. Устинова¹⁸
Fig. 7. Yard facade of the house of merchant I. V. Ustinov¹⁸

В архиве имеется несколько согласованных планов двора, «дозволяющих» различные постройки утилитарного характера в границах исследуемого квартала и земельного участка, в том числе по состоянию на 1903 г., когда участок домовладения расширен путем приобретения соседского участка со стороны юго-восточного угла.

На плане гражданского инженера С. А. Баранкеева от 09 июля 1903 г. согласована «постройка каменного пятиэтажного надворного жилого флигеля, показанного на плане двора под лит. А, согласно детальным чертежам <...>»¹⁹, который является объектом настоящего исследования (обозначен красным цветом – прим. автора) (рис. 6–9).

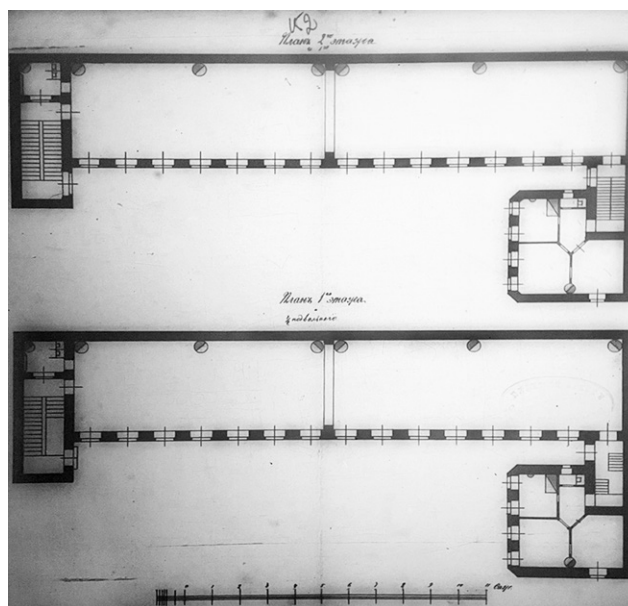


Рис. 8. План 1, 2 этажей дома купца И. В. Устинова¹⁸
Fig. 8. Plan of the 1st and 2nd floors of the house of merchant I. V. Ustinov¹⁸

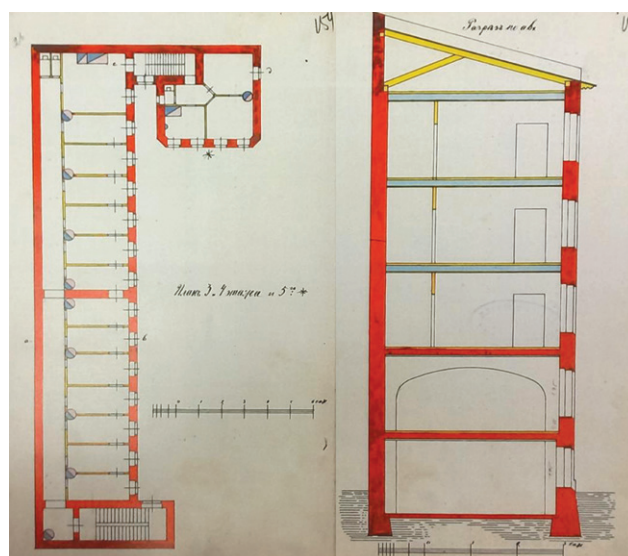


Рис. 9. План 3, 4 и 5 этажей дома купца И. В. Устинова. Разрез¹⁸
Fig. 9. Plan of the 3rd, 4th and 5th floors of the house of merchant I. V. Ustinov. Section¹⁸

¹⁸ Флигель дома Устинова – Экономико-технологический колледж питания. Режим доступа: <https://www.citywalls.ru/house34336.html> (дата обращения: 17.01.2024).

¹⁹ ЦГИА СПб ф. 513 оп. 102 д. 5476. Л. 147–155.

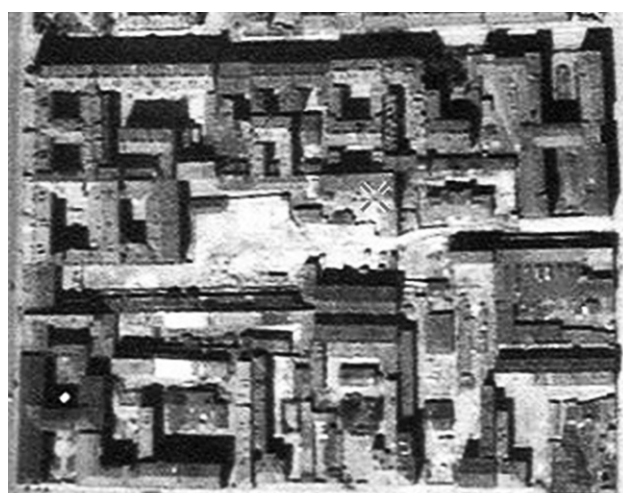


Рис. 10. Немецкая аэрофотосъемка Ленинграда 1941–1944. Фрагменты карт и съемки: сравнение²⁰
 Fig. 10. German aerial photography of Leningrad 1941–1944. Comparison of map fragments and photographs²⁰

Исторические документы свидетельствуют о том, что здание изначально возводилось как жилое, что подтверждают планировки поэтажных планов: планы 3, 4, 5 этажей свидетельствуют о том, что помещения предназначены для сдачи в наем как дешевое, «второсортное» малогабаритное жилье с общественной уборной. Планы нижних, первого и второго, этажей, скорее всего, предполагали жилье барачного типа и еще более дешевого – ночлежки.

В 1904–1905 гг. началось строительство «5-ти этажного каменного надворного флигеля, показанного на планах двора под лит. А, В, С» <...> авторства гражданского инженера С. А. Баранкеева²¹.

По состоянию на 1917 г. план квартала также выявляет такое разночтение, как наименование переулка – Тарасовский, в части внутريدворовой застройки незначительные изменения, а также введение нумерации домов фронтальной застройки. К 1918 г. наименования улиц сохраняются, переулок назван Тарасов, внутريدворовая застройка квартала выявляет значительные изменения, которые привели к сносу строений, расширению внутريدворового пространства.

В октябре 1923 г. 1–12-я Роты были переименованы в 1–12-ю Красноармейские улицы.

Немецкая аэрофотосъемка Ленинграда 1941–1944 гг. фиксирует детальную планировку квартала, которая также свидетельствует о таких его существенных изменениях, как появление разрывов во фронтальной застройке ул. 7-й Красноармейской, ул. Егорова и Набережной Обводного канала, а также выявляет перестроения, снос и строительство внутри дворов.

Необходимо отметить, что съемка местности по состоянию на 1940-е гг. в районе объекта исследования впервые достоверно фиксирует и позволяет выявить очертания и строения в границах земельного участка по адресу: Санкт-Петербург, улица Егорова, дом 236, литера А. Четко прослеживается контур здания дома 236, литера А, без пристроенных слева и справа объемов; здание дома 236, литера Б также сохраняет свои габариты без поздней пристройки, а здание дома 236, литера Г отсутствует (рис. 10).

²⁰ Немецкая аэрофотосъемка Ленинграда 1939–1942. Режим доступа: http://www.etomesto.ru/map-peterburg_aero-photo/?ysclid=m1etu1cnmp488457725 (дата обращения: 13.01.2024).

²¹ ЦГИА СПб ф. 513 оп. 102 д. 5476. Л. 165 об – 167; Л. 184–186.

Исследование поздних спутниковых съемок выявляет отсутствие изменений исторических габаритов здания 23б, литера А, но при этом справа уже имеется пристроенный объем, как и появляется здание напротив (литера Г).

К 1980 г. в границах исследуемого земельного участка по адресу: ул. Егорова, дом 23б, литера А, – уже имеются пристроенные слева и справа объемы у дома 23б, литера А, а также наличие плотной, бессистемной застройки внутреннего двора хозяйственными постройками.

Внутренняя территория современного квартала сформирована преимущественно строениями хозяйственно-бытового назначения, поздние из которых – низкого качества, большая часть находится в неудовлетворительном техническом состоянии.

До настоящего времени в Адмиралтейском районе остались самые крупные коммунальные квартиры.

В рамках сравнительного анализа исторических планов участка и современной ситуации в границах объекта исследования выявлено сходство объемно-планировочных решений ряда зданий исследуемого домовладения, в том числе 5-этажного надворного флигеля с существующим зданием – домом 23б, литера А, а также 2-этажного надворного флигеля с одноэтажным зданием – домом 23б, литера Б, расположенных в границах исследуемого участка, что свидетельствует о том, что оба здания построены в начале XX века – 1904 и 1907 гг. Здания относятся к историческим, но не представляют ценности, не выявляют общепринятых ценностных параметров, кроме даты постройки.

Градостроительная ценность участка и зданий

Территория исследуемого земельного участка занята учебно-производственным, складским комплексом середины – конца XX века, освоение и застройка участка в целом производились до 2000-х гг.

Сохранность исторической объемно-планировочной структуры территории на данном участке Измайловского пр., ул. Егорова и ул. 7-й Красноармейской следует трактовать как низкую, многократно перестраиваемую ввиду частой смены собственников и назначения строений и сооружений: на территории в разное время появлялись гаражные, складские и иные производственно-хозяйственные строения, пристройки. В настоящее время на территории имеются поздние диссонирующие сооружения.

Историко-градостроительная среда в границах земельного участка утрачена. Благоустройство территории отсутствует, историческое не выявлено. Историческое объемно-планировочное решение участка не сохранилось: границы исторического межевания утрачены.

Здания по адресу: ул. Егорова, дом 23б, литера А, литера Б, литера Г, – в границах исследуемой территории не имеют градостроительной ценности и не формируют ценных градостроительных композиций улиц и городского района, представляют собой утилитарные элементы внутриквартальной застройки «второго сорта» без стиливых особенностей.

Историко-архитектурная ценность здания

Внутридворовый флигель – жилой дом 23б, литера А, построенный в начале XX века по проекту гражданского инженера С. А. Баранкеева, не относится к числу построек какого-либо выдающегося петербургского зодчего. Сравнение и анализ планов здания выявили отступления от авторского проектного решения, неоднократные поздние перестройки и надстройки с целью увеличения площади здания свидетельствуют о его исключительно утилитарном значении как доходного дома с «второсортным» жильем, получавшего развитие в части объемно-планировочного решения исключительно с целью коммерческой выгоды владельцев дома. Таким образом, выявленное авторство здания не имеет особого значения для истории и культуры Санкт-Петербурга.

Анализ исторических проектных чертежей и фактически реализованного решения здания свидетельствует о том, что композиция и архитектура фасадов выполнены в утилитарном, простом решении элемента внутриквартальной застройки совершенно без каких-либо стилевых особенностей. Исторические внутренние планировки здания изначально разработаны для сдачи в наем в качестве дешевого, малогабаритного, некомфортного жилья. Планировки неоднократно изменялись, в том числе в увязке с поздними пристройками. Внешний облик внутридворового флигеля искажен разновременными пристройками низкого качества, что только подтверждает отсутствие историко-архитектурной ценности объекта на всем протяжении его существования.

Архитектурная ценность здания по адресу: ул. Егорова, дом 23б, литера А, как и соседних зданий с литерами Б, Г, отсутствует. Здания не обладают стилистическими характеристиками, присущими творческим школам, архитектурным стилям, направлениям.

Проектные авторские решения здания по адресу: ул. Егорова, дом 23б, литера А, – не выявляют технически сложных, конструктивных решений. Уникальные технологии и конструкции, ценные материалы при строительстве здания не применялись.

Первоначальное объемно-пространственное решение здания по адресу: ул. Егорова, дом 23б, литера А, – искажено разновременными капитальными и временными пристройками к фасадам здания. Объемно-планировочное и архитектурное решения здания утрачены в результате многократных поздних ремонтно-строительных работ с пристройкой 3-этажных объемов в правой и левой частях здания.

Историческая ценность

Территория объекта исследования имеет историческую ценность ввиду ранее существовавшего здесь казарменного «городка» для гвардейцев Измайловского полка. При этом самостоятельной исторической ценности объект не имеет, не связан с важными в рамках региона событиями или историческими личностями.

Мемориальная ценность

В ходе изучения и исследования не установлено наличие мемориальной ценности, не выявлена связь объекта с важными в рамках региона событиями или историческими личностями. Мемориальная ценность исследуемого земельного участка и зданий в его границах отсутствует.

Ни земельный участок, ни здания в его границах не могут расцениваться как ценные в историко-культурном, историко-архитектурном, научном, градостроительном и ином отношении.

Земельный участок и здания в его границах, расположенные в глубине квартала, практически в его центре, исторически не имеют особенностей, которые могли бы послужить основанием для установления и определения у них историко-культурной, градостроительной, архитектурной, мемориальной и иной ценности, не относятся к ценным объектам исследуемого квартала.

Объекты старины сегодня требуют решения сложной, трудоемкой, ресурсозатратной задачи – адаптации их к современным условиям и подбора им новой функции, что не всегда выполнимо в условиях действующего нормативно-правового поля и давно существующего здания, построенного из дешевых, низкокачественных материалов в сжатые сроки с целью получения скорейшей коммерческой выгоды, а также не участвующего никак в композиционном формировании образа среды.

Центр города – это место, наиболее насыщенное основным культурным потенциалом, в котором создаются уникальные условия для развития важных социальных связей, определяющих взаимодействие всей системы городского организма. Изменения в обществе в свою очередь неизбежно вызывают к жизни новые функции и требуют перестройки их сложившейся системы. Рост и развитие города в целом влечет за собой и соответствующее разрастание центральных (общегородских) функций.

4. Заключение

Объекты, в том числе жилые дома, исторически формирующие города, также составляют историко-культурный потенциал страны и могут относиться к наследию архитектуры. При этом индивидуальный подход и детальное изучение отдельных объектов дают четкое понимание того, что процесс движения исторической застройки во времени протекает стихийно и не всегда сохраняет самое ценное. В ходе проведенного исследования дома по ул. Егорова, 236, литера А не выявлено его связи со знаковым историческим событием или известной личностью, что свидетельствует об отсутствии у здания мемориальной ценности. Исторической, градостроительной, архитектурной ценностью здание также не обладает, следовательно, не подлежит отнесению к историческим зданиям.

Местоположение объекта исследования – дворового флигеля доходного дома – в историческом центре города не добавляет статуса и не повышает его ценности, так как дворовый флигель возведен в кратчайшие сроки, из дешевых материалов для низкосортного, некомфортабельного жилья под сдачу в наем, исключительно с целью коммерческой выгоды собственника домовладения. Исторические архивные материалы по объекту свидетельствуют об уплотнении и расширении застройки домовладения: в глубину квартала и в высоту возводились 3-, 5-этажные флигели, не превышающие по высоте главный трехэтажный дом по уличной застройке.

Исторические реконструкции центра города, проводимые в соответствии с изменившейся ситуацией, – это неизбежный процесс, периодически повторяющийся на всем протяжении его истории. Новое строительство в пределах городских центров – это закономерный, исторически существующий факт. Современному обществу необходимо понять и принять правило: главное – не уберечь городское ядро от изменений, а сохранить накопленные прошлыми поколениями истинные культурные ценности города. Все изменения и развитие центра происходят при участии профильных специалистов и способствуют сохранению преемственности культурных традиций.

Результаты и выводы, полученные в ходе исследования объекта – здания по адресу: ул. Егорова, дом 236, литера А, – подтверждают важность и необходимость тщательного подхода к исследованию исторического центра города, его отдельных кварталов, зданий с оценкой их историко-культурного значения, технического состояния и истории их строительства, развития и существования.



Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest. The author declares no relevant conflict of interest.

Список литературы

1. Авсеенко В. Н. *История города С.-Петербурга в лицах и картинках, 1703–1903: исторический очерк*. Санкт-Петербург: АО «Сотис»; б. г. (1993). 238,[1] с. Режим доступа: https://imwerden.de/pdf/avseenko_istoriya_peterburga_1703-1903.pdf.
2. Алексеев В. В. Из истории слободы лейб-гвардии Измайловского полка и дома Г. Р. Державина. В сб.: *Первые открытые слушания «Института Петербурга»: Ежегодная конференция по проблемам Петербурговедения, 15–16 января 1994 г.* Режим доступа: https://institutspb.ru/pdf/hearings/01-17_Alekseev.pdf.
3. Базарова Т. А. *Создание «Парадиза»: Санкт-Петербург и Ингерманландия в эпоху Петра Великого: очерки*. Санкт-Петербург: Гйоль; 2014. 406 с.
4. Богданов А. И. *Описание Санкт-Петербурга. 1749–1751*. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский филиал Архива РАН; 1997. 414 с.
5. 7966. – Декабря 12. Высочайшая резолюция на доклад Кабинет-министров «О построении для гвардейских солдат полковых слобод». В сб.: *Полное собрание законов Российской империи. Собрание первое. Том X. 1737–1739 гг.* Санкт-Петербург: Типография II Отделения Собственной Его Императорского Величества Канцелярии; 1830. С. 966–968. Режим доступа: <https://runivers.ru/bookreader/book9818/#page/960/mode/1up>.

6. 8092. – Мая 2. Высочайшая резолюция на доклад Лейб-Гвардии трех полков Штабов «О строении слобод для Измайловского полка за Фонтанкою, позади обывательских дворов». В сб.: *Полное собрание законов Российской империи. Собрание первое. Том XI. 1740–1743 гг.* Санкт-Петербург: Типография II Отделения Собственной Его Императорского Величества Канцелярии, 1830. С. 105. Режим доступа: <https://runivers.ru/bookreader/book9819/#page/106/mode/1up>.
7. Гладких А. А. Проект полковой слободы лейб-гвардии Измайловского полка как пример «образцовой» жилой застройки Санкт-Петербурга первой половины XVIII века. *Евразийский союз ученых*. 2015;(7-6):163–166.
8. Луппов С. П. *История строительства Петербурга в первой четверти XVIII века*. Москва; Ленинград: Изд-во Академии наук СССР; 1957. 190 с.
9. Дивинская Л. П. Из истории Измайловской слободы. В сб.: *Третьи открытые слушания «Института Петербурга»: Ежегодная конференция по проблемам Петербурговедения, 18 февраля 1996 г.* Режим доступа: https://institutspb.ru/pdf/hearings/03-04_Divinskaya.pdf.
10. Семенцов С. В., Красникова О. А., Мазур Т. П. *Санкт-Петербург на картах и планах первой половины XVIII века*. Санкт-Петербург: Эклектика, 2004. 432 с.
11. Зеленова С. В. *Формирование системы критериев оценки историко-архитектурного наследия в России: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры*. Нижний Новгород, 2009. 22 с. Режим доступа: https://new-disser.ru/_avtoreferats/01004480336.pdf.
12. Сазонов И. Е. *История одного дома*. Санкт-Петербург: [б.и.]; 2018. 123 с.
13. Слабуха А. В. Установление историко-культурной ценности объектов архитектурного наследия (часть 1): организационно-методические проблемы. *Человек и культура*. 2016;(6):1–8. <https://doi.org/10.7256/2409-8744.2016.6.20712>
14. Слабуха А. В. Установление историко-культурной ценности объектов архитектурного наследия (часть 2): критерии и метод в современной экспертной практике. *Человек и культура*. 2016;(6):9–22. <https://doi.org/10.7256/2409-8744.2016.6.20767>
15. Нетужилов К. Е. Слобода Измайловского полка в контексте русской истории XVIII столетия. *Ученые записки Санкт-Петербургского университета технологий управления и экономики*. 2017;(1):44–48.
16. Ожегов С. С. *Типовое и повторное строительство в России в XVIII–XIX веках*. Москва: Стройиздат; 1987. 219,[3] с.
17. Горбачевич К. С., Хабло Е. П. *Почему так названы? О происхождении названий улиц, площадей, островов, рек и мостов Санкт-Петербурга*. Санкт-Петербург: Норинт, 2007. 347 с.
18. Алексеева С. В., Владимирович А. Г., Ерофеев А. Д., Талалай М. Г. (сост.) *Городские имена сегодня и вчера: Петербургская топонимика: Полный свод названий за три века*. Санкт-Петербург: Лик; 1997. 281,[2] с.

References

1. Avseenko V. N. *The history of Saint Petersburg in faces and pictures, 1703–1903: a historical essay*. Saint Petersburg: Sotis; 1993. (In Russ.) Available at: https://imwerden.de/pdf/avseenko_istoriya_peterburga_1703-1903.pdf.
2. Alekseev V. V. From the history of the settlement of the Izmailovsky Regiment life guards and the house of G. R. Derzhavin. In: *Pervye otkrytye slushaniya "Instituta Peterburga": Ezhegodnaya konferentsiya po problemam Peterburgovedeniya, January 15–16, 1994, Saint Petersburg = The first public hearings of the Petersburg Institute: Annual conference on the problems of Petersburg studies, January 15–16, 1994*. (In Russ.) Available at: https://institutspb.ru/pdf/hearings/01-17_Alekseev.pdf.
3. Bazarova T. A. *Creating "Paradise": Saint Petersburg and Ingria in the Age of Peter the Great: Essays*. Saint Petersburg: Gyol'; 2014. (In Russ.)
4. Bogdanov A. I. *Description of Saint Petersburg. 1749–1751*. Saint Petersburg: St. Petersburg Branch of the Archive of the Russian Academy of Sciences; 1997. (In Russ.)
5. 7966. – December 12. Supreme Resolution on the Cabinet of Ministers' Report "On the construction of regimental settlements for the guards soldiers". In: *Polnoe sobranie zakonov Rossiyskoy imperii. Sobranie pervoe. T. X. 1737–1739 = Complete Collection of Laws of the Russian Empire. First Collection. Vol. X. 1737–1739*. Saint Petersburg: Tipografiya II Otdeleniya Sobstvennoy Ego Imperatorskogo Velichestva Kantselyarii; 1830. (In Russ.) Available at: <https://runivers.ru/bookreader/book9818/#page/960/mode/1up>.
6. 8092. – May 2. Supreme resolution on the report of the staffs of the three life guards regiments "On the construction of settlements for the Izmailovsky regiment beyond the Fontanka, behind the dwellings of

- inhabitants". In: *Polnoe sobranie zakonov Rossiyskoy imperii. Sobranie pervoe. T. XI. 1740-1743 = Complete Collection of Laws of the Russian Empire. First Collection. Vol. XI. 1740-1743*. Saint Petersburg: Tipografiya II Otdeleniya Sobstvennoy Ego Imperatorskogo Velichestva Kantselyarii; 1830. (In Russ.) Available at: <https://runivers.ru/bookreader/book9819/#page/106/mode/1up>.
7. Gladkikh A. A. The project of the regimental settlement of the life guards Izmailovsky regiment as an example of "model" residential development in Saint Petersburg in the first half of the 18th century. *Eurasian Union of Scientists*. 2015;(7-6):163–166. (In Russ.)
 8. Luppov S. P. *The history of Saint Petersburg's construction in the first quarter of the 18th century*. Moscow, Leningrad: Izdatel'stvo Akademii nauk SSSR; 1957. (In Russ.)
 9. Divinskaya L. P. From the history of Izmailovskaya sloboda. In: *Tret'i otkrytye slushaniya "Instituta Peterburga": Ezhegodnaya konferentsiya po problemam Peterburgovedeniya, February 18, 1996, Saint Petersburg = The third public hearings of the Petersburg Institute: Annual conference on the problems of Petersburg studies, February 18, 1996*. (In Russ.) Available at: https://institutspb.ru/pdf/hearings/03-04_Divinskaya.pdf.
 10. Sementsov S. V., Krasnikova O. A., Mazur T. P. (2004). *Saint Petersburg on maps and plans of the first half of the 18th century*. Saint Petersburg: Eklectika; 2004. (In Russ.)
 11. Zelenova S. V. *Forming of a system of criteria for assessing historical and architectural heritage in Russia: Author's abstract of dissertation for the degree of candidate of architecture*. Nizhny Novgorod; 2009. (In Russ.) Available at: https://new-diss.ru/_avtoreferats/01004480336.pdf.
 12. Sazonov I. E. *The story of a house*. Saint Petersburg; 2018. (In Russ.)
 13. Slabukha A. V. Establishing the historical and cultural value of architectural heritage objects (Part 1): Organizational and methodological issues. *Man and Culture*. 2016;(6):1–8. (In Russ.) <https://doi.org/10.7256/2409-8744.2016.6.20712>
 14. Slabukha A. V. Establishing the historical and cultural value of architectural heritage objects (Part 2): criteria and method in modern expert practice. *Man and Culture*. 2016;(6):9–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.7256/2409-8744.2016.6.20767>
 15. Netuzhilov K. E. The settlement of the Izmailovsky regiment in the context of Russian history of the XVIII century. *Uchenye zapiski St. Petersburg University of Management Technologies and Economics*. 2017;(1):44–48. (In Russ.)
 16. Ozhegov S. S. *Typical and repeated construction in Russia in the XVIII-XIX centuries*. Moscow: Stroyizdat; 1987. (In Russ.)
 17. Gorbachevich K. S., Khablo E. P. *Why so named? The origin of the names of streets, squares, islands, rivers and bridges in St. Petersburg*. Saint Petersburg: Norint; 2007. (In Russ.)
 18. Alekseeva S. V., Vladimirovich A. G., Erofeev A. D., Talalay M. G. (comp.) *City names today and yesterday: St. Petersburg toponymy: A complete collection of names for three centuries*. Saint Petersburg: Lik; 1997. (In Russ.)



Информация об авторе

Чайникова Олеся Олеговна, кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектурного и градостроительного наследия, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация, заместитель начальника службы реставрации, реконструкции и капитального ремонта ГМЗ «Петергоф», Петергоф, Санкт-Петербург, Российская Федерация, restavr2015@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-1363-3576>

Information about the author

Olesya O. Chainikova, Cand. Sci. (Architecture), Associate Professor in the Department of Architectural and Urban Planning Heritage, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russian Federation, Deputy Head of the Restoration, Reconstruction and Overhaul Service of The Peterhof State Museum-Reserve, Peterhof, Saint Petersburg, Russian Federation, restavr2015@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-1363-3576>

Получена 23 мая 2024 г., одобрена 25 июля 2024 г., принята к публикации 11 сентября 2024 г.

Received 23 May 2024, Approved 25 July 2024, Accepted for publication 11 September 2024

Научная статья / Original research article
УДК 725 + 711.1
<https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-22-35>

2.1.12 Архитектура зданий и сооружений. Творческие
концепции архитектурной деятельности (архитектура)
2.1.13 Градостроительство, планировка
сельских территорий (архитектура)



Типология элементов градостроительного обустройства территорий экологического туризма: системный подход

Д. М. Астанин¹✉, А. А. Ткачев², Л. В. Яловкина², А. П. Смирнов²

¹ ООО «Рустал. Северо-Запад», ул. Чайковского, 69а, пом. 4-н, оф. 3, Санкт-Петербург, 191123, Российская Федерация

² Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127434, Российская Федерация

✉ montenegro.astanin@mail.ru



Аннотация. Проблематика пространственного развития территорий экологического туризма заключается в противоречиях между рекреационным использованием и сохранением эколого-культурного наследия. Объекты обустройства туристических территорий отражены в работах российских и зарубежных исследователей. Однако принципы экологического просвещения и трансляции норм поведения через архитектуру прослеживаются слабо. С целью снижения антропогенной нагрузки элементы обустройства территории экотуризма можно представить в виде единой информационной системы, в которой каждый элемент подчинен, дополняет и является продолжением элементов высших рангов: в этом случае решается основное противоречие территорий экологического туризма – экотуристы движутся по сформированным маршрутам, в которых транслируются нормы и правила экологического поведения. В качестве ключевых элементов градостроительного обустройства территории экотуризма определены визит-центры и экомаршруты. Обозначены их функции: эколого-просветительская, туристско-информационная, познавательно-развлекательная, научно-исследовательская. Полученные результаты важны для систематизации знаний в области экотуризма, а также для разработки документов стратегического территориального планирования.

Ключевые слова: туристический эколого-просветительский информационный визит-центр, туристско-информационная функция, познавательно-развлекательная функция, научно-исследовательская функция, экологическая тропа, экологический маршрут

Для цитирования: Астанин Д. М., Ткачев А. А., Яловкина Л. В., Смирнов А. П. Типология элементов градостроительного обустройства территорий экологического туризма: системный подход. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(3):22–35. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-22-35>

Typology of ecotourism territories elements in context of urbanism development: system approach

Dmitry M. Astanin¹✉, Alexander A. Tkachev², Lyubov V. Yalovkina², Alexander P. Smirnov²

¹ "Rustal. North-West LLC", 69a Chaykovskogo St., premises 4-n, office 3, Saint Petersburg, 191123, Russian Federation

² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, Russian Federation

✉ montenegro.astanin@mail.ru



Abstract. Spatial development of ecological tourism territories is characterized by contradiction between recreational use and preservation of ecological and cultural heritage. Russian and foreign researchers devote their works to the objects of tourist territories. However, the principles of environmental education and behavioral norms are still poorly transferred through architecture. The authors propose representing the elements of the ecotourism territory arrangement as a unified information system in order to reduce the anthropogenic load. Each element of this system is subordinate, complements and is a continuation of the elements of higher ranks. This system addresses the main contradiction of ecotourism territories, and ecotourists move along the formed routes using norms and rules of environmental behavior. Visitor centers and ecological routes are identified as key elements of urban development of the ecotourism territory. They are characterized by ecological-educational, tourist-informational, cognitive-entertaining and research functions. The results of the study are important for systematization of knowledge in the field of ecotourism, as well as for the development of strategic territorial planning documents.

Keywords: tourist ecological and educational information visitor center, tourist-information function, cognitive-entertaining function, research function, nature trail, ecological route

For citation: Astanin D. M., Tkachev A. A., Yalovkina L. V., Smirnov A. P. Typology of ecotourism territories elements in context of urbanism development: system approach. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(3):22–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-22-35>



1. Введение

Территория экотуризма – это зона особо охраняемых природных территорий (ООПТ), на участках которой разрешено рекреационное использование и развитие планового туризма. В рамках градостроительного исследования она рассматривается как сложная пространственная система, которая состоит из множества взаимосвязанных и взаимодействующих элементов. Для территории экологического туризма характерно согласованное взаимное размещение элементов обустройства и наличие устойчивых территориальных связей (маршрутов). Только упорядоченное и взаимосвязанное сочетание элементов обустройства, организованное по принципам устойчивого развития, формирует новые свойства системы: возможность управлять рекреационным воздействием.

Отдельных теоретических исследований, посвященных этой теме и отражающих противоречия между рекреационным использованием территории и сохранением природного и культурного наследия, в настоящее время нет [1]. Проблема затрагивается фрагментарно в строго очерченных рамках локальных исследований. Такое состояние изученности указывает на имеющиеся возможности и на необходимость всестороннего специального теоретического исследования¹. Существующая система нормирования не отражает в полной мере стратегические задачи экологического туризма: содействие охране природы и местной социокультурной среды, экологическое образование и просвещение, участие местных жителей и получение ими доходов от туристической деятельности [3].

Теоретическую основу исследования составили научные работы различных направлений, раскрывающие его отдельные аспекты. *Системный подход в градостроительстве* рассмотрен в работах

¹ Некоторые аспекты исследуемой темы рассмотрены в следующих материалах:

What ecotourism is, definition and principles. Available at: <https://sustainability-success.com/what-ecotourism-is-definition-and-principles/> (accessed 17.01.2024).

Оценка воздействия на окружающую среду. Режим доступа: <https://proektco.ru/2021/09/27/ocenka-vzaim-na-field/index.html> (дата обращения: 15.02.2024).

Севильская стратегия для биосферных резерватов. Режим доступа: <https://biodiversity.ru/programs/management/doc/sevstrategy/ss-p1.html> (дата обращения: 15.01.2024).

В. В. Владимирова, Ю. Б. Хромова, А. А. Вергунова, А. Э. Гутнова, З. Н. Яргиной и др. [4–6], *системный подход в туризме* – в работах В. С. Преображенского, Ю. А. Веденина, Л. Ю. Мажар, М. Борушак, К. Каспер, Н. Лейпер, С. А. Gunn, С. R. Goeldner, J. R. B. Ritchie и др. [7, 8]. *Градостроительные аспекты рекреационных образований* изучались Ю. Б. Хромовым, В. П. Стаусасом, А. И. Мелик-Пашаевым, С. Б. Поморовым и др. [9].

Целью данного исследования является разработка принципов, моделей и методов пространственной организации территории экотуризма, которые способствуют снижению антропогенного воздействия.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- исследовать элементы градостроительного обустройства территории экотуризма;
- определить научно обоснованные принципы устойчивого пространственного развития территории экотуризма.

Объект исследования: пространственная организация особо охраняемых природных территорий, в функции которых входит развитие экологического туризма (территории экотуризма).

Предмет исследования: совокупность градостроительных мероприятий, обеспечивающих снижение антропогенного воздействия на территорию экотуризма.

Научная новизна исследования состоит во внедрении принципов концепции устойчивого развития в практику градостроительства на охраняемых природных территориях:

- территория экотуризма рассмотрена как сложная градостроительная система в территориальном и информационном аспектах;
- на основе выявленной специфики разработаны модели и градостроительные методы пространственной организации территории экотуризма.

2. Материалы и методы

Методы исследования включают обобщение и анализ теории и практики моделирования для решения градостроительных задач. Данное исследование основано на принципах системного подхода с применением структурно-функционального, объектно-ориентированного методов прогнозного моделирования.

Для решения поставленных задач используются:

- междисциплинарный подход (изучение исследований в области туризма, экологии, социологии, географии, истории, культурологии);
- каркасный подход (выявление градостроительного позиционирования экотуристических учреждений);
- сценарный подход (временное изменение функционально-планировочной структуры территорий экологического туризма с последующим изменением экспозиции элементов обустройства);
- социальный подход;
- картографический метод оценки территории – анализ и выявление закономерностей пространственной организации территорий экологического туризма [10–12];
- теоретическое моделирование, экспериментальное проектирование.

3. Результаты и обсуждение

Территория экологического туризма представляет собой систему взаимосвязанных и взаимодействующих элементов. Базовыми элементами обустройства этой территории являются визит-центры и экомаршруты, которые совмещают функции рекреации и сохранения природного и культурного ландшафта.

Туристический эколого-просветительский информационный визит-центр (далее – визит-центр) располагается в планировочных узлах территории экотуризма, на разрешенных зонировани-

ем участках территорий ООПТ, определяет концепцию развития территории, выступает связующим звеном между администрацией парка и посетителями, а также обеспечивает функциональную связь со всей инфраструктурой парка. В задачи визит-центра входит организовать информационные потоки таким образом, чтобы посетители ответственно относились к окружающей среде и имели возможность осознанно выбирать туристические маршруты и услуги. Основными его функциями являются эколого-просветительская (ее могут дополнять научно-исследовательская и познавательно-развлекательная функции) и туристско-информационная.

Структура визит-центра включает не только здание, но и сопутствующую инфраструктуру, расположенную в планировочном узле [13–15].

Для реализации *эколого-просветительской функции* в состав эколого-просветительского центра могут входить: кинозал, конференц-зал, залы постоянных экспозиций, учебные комнаты, библиотека [16].

На сопредельной территории могут располагаться экспозиции под открытым небом, эколого-просветительские информационные стенды, экологические тропы, вольеры для животных, дендрарии, геологические площадки.

Визит-центр национального парка «Куршская коса» (пос. Рыбачий Калининградской области) расположен на берегу залива. Он состоит из двух зданий, включает залы природы, этнографии, истории лесного хозяйства, музей русских суеверий.

Продолжает экспозицию музей под открытым небом, куда входят Древняя Самбрия (деревня эпохи викингов), вольер с пятнистыми оленями, дендрарий культурных растений, интерактивный комплекс, детский городок, коллекция деревянных скульптур.

Музей под открытым небом организован и в Тебердинском заповеднике (г. Теберда Карачаево-Черкесской республики) [1, 15, 16]. Естественным продолжением экспозиций визит-центра является начинающаяся от визит-центра экотропа. Туристы могут посетить вольеры для животных, дендропарк с альпийской горкой и искусственными прудами, где представлены характерные для данной местности растения.

Для реализации *туристско-информационной функции* в состав туристско-информационного блока визит-центра входят информационные туристические киоски, магазины сувениров и экологической продукции, кафе, гостиница [1, 15, 16], детские комнаты. На сопредельной территории могут располагаться: туристско-информационные щиты, туристические базы, палаточные городки. Элементы обустройства дифференцируются по назначению [13–15]:

1. Навигация. В туристическом киоске визит-центра можно приобрести фирменную сувенирную продукцию заповедника, заказать экскурсию, получить информацию о заповеднике и туристических маршрутах (на примере визит-центра «Лалетино» в Национальном парке «Красноярские столбы», Красноярский край).

2. Отдых. Примером может являться научно-познавательный центр «Нарым» в национальном парке «Красноярские столбы» (рис. 1): модульное двухэтажное сооружение на винтовых сваях общей площадью 330 м². На первом этаже размещены технические, служебные помещения, комната отдыха для людей с ОВЗ, экокласс, многофункциональный холл, оснащенный современными интерактивными локациями, информационными стендами и лабораторным научным оборудованием. На втором этаже обустроено 8 двухместных номеров с душевыми и санкабинами. Большая столовая и кухня находятся в административном корпусе.

На прилегающей к центру «Нарым» территории туристы могут разместиться в палаточном городке и гостевых домиках.

3. Доступность. Помимо сопутствующей информационной инфраструктуры, территория возле визит-центра для обеспечения доступности объекта обустраивается подъездными путями, парков-



Рис. 1. Гостевой комплекс «Нарым» в национальном парке «Красноярские столбы»²
Fig. 1. Narym guest complex in the Stolby National Park²

ками, причалами. К примеру, залив рядом с визит-центром национального парка «Куршская коса» оборудован причалом с катером. В национальном парке «Красноярские столбы» устроен пандус с учетом необходимого уклона для маломобильных посетителей, который ведет от парковки к смотровой площадке Гранитного карьера.

4. Осмотр. В национальном парке «Красноярские столбы» на смотровой площадке Каштаковской тропы на винтовых сваях возведен информационный центр «Такмак».

Для выполнения *познавательной-развлекательной функции* визит-центр оборудуется интерактивными познавательными и развлекательными станциями. Сопредельная территория обустроивается детскими городками, эколабиринтами и т. д.

В научно-познавательном центре «Нарым» национального парка «Красноярские столбы» функционирует экоклас, который оснащен интерактивными локациями, оборудованием для проведения экозанятий с посетителями и группами школьников в рамках образовательных экспедиций. В научно-познавательном центре «Столбы» в Гранитном карьере обустроена детская зона «Заповедный следопыт». Продолжением зоны стал эколабиринт «Мир заповедной природы», предназначенный для проведения познавательных занятий, пройти его можно в виде квеста по теме «100-летие заповедной системы».

Реализовать *научно-исследовательскую функцию* помогают входящие в состав визит-центра музеи, конференц-залы, фонды хранилищ, библиотеки, реставрационные и научно-исследовательские лаборатории, образовательные пункты. Сопредельная территория визит-центра [1, 15, 16] может быть оборудована научно-познавательными площадками. Например, на Восточном входе в национальный парк «Красноярские столбы» возведен научно-познавательный центр «Столбы», который оборудован экокласом для лабораторных занятий.

Визит-центр и сопутствующая инфраструктура – узловые элементы градостроительной системы территории экотуризма (в соответствии с градостроительным позиционированием), расположенные в планировочных центрах и узлах [13–15].

Экологическая тропа – специально проложенная и оборудованная трасса в местах, где окружающая живая природа позволяет познакомиться с естественными природными явлениями и объектами, служит для формирования экологического сознания [17].

² Нарым. Столбы. Режим доступа: <https://www.kraskompas.ru/stolby/item/1106-narym-stolby.html> (дата обращения: 15.02.2024).

Экологический маршрут – специально проложенная и информационно обеспеченная трасса, где посетители получают устную (с помощью экскурсовода) и/или письменную (стенды, аншлаги и т. д.) информацию о природных и историко-культурных комплексах и объектах [17].

Экологические тропы и маршруты, согласно градостроительному позиционированию, относятся к линейным элементам обустройства, связывающим территорию экотуризма в единое целое.

Эколого-просветительская функция реализуется через обустройство экотропы информационными стендами и другими объектами, помогающими сформировать экологическое сознание у посетителей. На экотропе «Заповедный лес» национального парка «Лосиный остров» (находится на территории г. Москвы и Московской области) расположен дендрарий, где растут деревья из разных регионов.

Одним из направлений деятельности особо охраняемых природных территорий являются научные исследования, связанные с состоянием природных и культурных комплексов территории (*научно-исследовательская функция* тропы). Для привлечения туристов к этой деятельности маршруты обустраиваются научно-исследовательскими станциями, полевыми лабораториями, наблюдательными площадками.

Познавательно-развлекательная функция тропы позволяет посетителям в игровой форме познакомиться с окружающей средой. Для этого тропа обустраивается различными объектами туристического притяжения искусственного происхождения.

В дендрологическом саду национального парка «Плещеево озеро» (г. Переславль-Залесский) проложен маршрут «Сказочная тропа» для семей с маленькими детьми, который оборудован скульптурами со сказочными персонажами, вырезанными из дерева.

Туристско-информационная функция туристического маршрута включает:

1. Осмотр. Обязательный элемент обустройства троп – обзорные точки (смотровые и видовые площадки). В национальном парке «Красноярские столбы» на маршрутах расположены естественные видовые площадки, которые называются «видовками». В случае отсутствия обзорных точек на тропе оборудуются искусственные. Так, в национальном парке «Баварский лес» (Германия) для удобства туристов, создания обзорных точек и сохранения первозданного леса построена подвесная тропа. Она начинается у автостоянки и тянется на 1 300 м на высоте 25 м. С тропы открываются удивительные виды. Дорога обтянута специальными сетями и безопасна для посещения. Заканчивается тропа яйцеобразной конструкцией, которая представляет собой смотровую площадку на высоте 44 м с винтовой лестницей.

2. Наблюдение. Для любителей понаблюдать за животными в национальном парке «Беловежская пуща» (Белоруссия) на маршруте «Докудово» обустроены специальные вышки. В утренние и вечерние часы в этом месте можно встретить пасущихся оленей, косуль, кабанов и зубров.

3. Навигация (рис. 2). Экологические тропы и маршруты маркируются и оборудуются информационными щитами, указателями, малыми архитектурными формами. Основные задачи навигации: объединить территорию парка в единое целое, чтобы показать посетителю основные точки притяжения, распределить потоки посетителей, снизив антропогенную нагрузку. В начале каждой тропы устанавливается информационный стенд. Именно на входном аншлаге туристы получают информацию о тропе. Также информационные стенды устанавливаются на туристических стоянках и у мест туристического притяжения.

Территория национального парка «Лосиный остров» имеет десятки входов вдоль границы парка с городом. Навигационные носители позволяют автомобилистам и пешеходам легко находить нужный, благоустроенный для комфортного посещения вход [1, 15, 16].

Туристические маршруты центрального района национального парка «Красноярские столбы» оборудованы навигационными знаками.

4. Доступность. Для того чтобы тропа была востребована и доступна для посещения, она может быть обустроена:

- парковкой в начале и конце тропы;
- ступенями и лестницами на спусках и подъемах с уклоном свыше 20 %;
- мостиками, которые перекидываются через горные расщелины, реки и ручьи;
- причалами у водоемов;
- настилами и т. д.

Сложные для преодоления маршруты «Медвежий круг» и «Малый медвежий круг» (национальный парк «Оуланка», Финляндия) оборудованы девятью висячими мостами, деревянными настилами и лестницами [1, 15, 16].

Для обустройства водных маршрутов в национальном парке «Угра» (Калужская область) установили четыре больших причала для туристов и дополнили их лестницами.

5. Отдых. Видовой диапазон троп огромен: от маршрутов в несколько сот метров до Большой Байкальской тропы общей протяженностью в перспективе в 2 000 км или тропы по хребту Аппалачи (3 300 км). Например, в национальном парке «Кутеней» (Канада) тропы подразделяются следующим образом:

- короткие: 2.3–3.2 км (продолжительность пребывания 1–2 ч.);
- средние: 4.8–10 км (продолжительность – 4–8 ч.);
- длинные: 6.6–55.6 км (продолжительность – 2–3 дня).

При протяженности тропы более пяти километров обустраиваются места для разведения костров и хранения дров, навесы, контейнеры для сбора мусора, источники питьевой воды, туалеты.

Многодневные экологические маршруты дополнительно обустраиваются местами ночлега: туристическими стоянками и палаточными площадками.

В результате исследования выявлено, что базовыми элементами градостроительного обустройства территории экотуризма являются визит-центры и экомаршруты, которые совмещают функции рекреации и сохранения природного и культурного ландшафта. Для выполнения означенных функций базовые элементы оборудуются дополнительными, которые классифицированы по реализуемым функциям и градостроительному позиционированию (таблица 1).

Примером удачного обустройства охраняемых территорий является Финляндия: в 2019 году она опередила другие страны, согласно Global Wildlife Travel Index («Глобальный индекс стран для путешествий по дикой природе»), благодаря высокому уровню экологической стабильности, разнообразию биологических видов, красивым природным ландшафтам, усилиям по сохранению окружающей среды и грамотному воплощению стратегии экологического туризма на своей территории [1, 15, 16] (таблица 2, рис. 3).

В России, в отличие от Финляндии, система экологического просвещения на сегодняшний день выстроена слабо, в результате чего снижается объем туристического потока, а охраняемые природные территории не получают должного внимания. Из-за неконтролируемого туризма разрушаются природные ландшафты.



Рис. 2. Национальный парк «Лосиный остров». Навигация³
Fig. 2. Losiny Ostrov National Park. Guidance³

³ Национальный парк Лосиный остров. Режим доступа: <https://losinyiostrov.ru/> (дата обращения: 17.01.2024).

Таблица 1 / Table 1

Классификация элементов обустройства территории экотуризма по назначению
 и градостроительному позиционированию
 Classification of ecotourism elements according to purpose and urban planning positioning

Градостроительное позиционирование Функция	Элементы обустройства	
	визит-центр (узловой)	экологический маршрут (линейный)
Эколого-просветительская	Экспозиции под открытым небом, дендрарии, геологические площадки	Эколого-просветительские стенды
Туристско-информационная: 1) осмотр достопримечательностей: 2) наблюдение за животными: 3) отдых: 4) информирование посетителей: 5) доступность:	смотровые, видовые площадки; вольеры для животных; туристические базы, палаточные городки, гостевые дома, зоны отдыха и костров; информационные стенды; парковки, лодочные причалы	смотровые, видовые площадки; наблюдательные площадки (вышки, укрытия, скрадки); туристические стоянки: палаточные площадки, лесные избы, навесы, кухни, туалеты, кострище, дровяники; информационные щиты; аншлаги, указатели, лестницы, мосты, лодочные причалы;
Природоохранная		Экодуки: тоннели, виадук, канал, зеленая площадка
Познавательно-развлекательная	Лабиринты, детские площадки	Искусственные объекты притяжения
Научно-исследовательская	Музеи, метеостанции	Полевые лаборатории, научно-исследовательские площадки

Таблица 2 / Table 2

Элементы обустройства в национальных парках Финляндии
 Elements of ecotourism in Finnish national parks

Градостроительное позиционирование Назначение	Элементы обустройства	
	узловые	линейные
Национальный парк «Нууксио»		
	Экскурсионная изба Opastupa Naukanpesä; информационный центр Naukkalammen; природный центр «Халтиа»	10 маршрутов (1.4–110 км) [1, 15, 16]
Отдых		12 палаточных территорий с кострищем, дровяником, биотуалетом, летней кухней и навесом, две лесные избы «Ораванколо» и «Тиканколо» [15, 16]
Осмотр	Смотровая площадка в природном центре	
Информация	Информационные стенды с картой и правилами поведения в национальном парке	

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

Назначение \ Градостроительное позиционирование	Элементы обустройства	
	узловые	линейные
Национальный парк «Оуланка»		
	Визит-центр «Оуланка»; информационный центр «Кархунтассу»	Парковка у дороги Valklammentie, 5 троп и маршрутов от 150 м до 80 км [1, 15, 16]
Отдых	2 избы для дневного пребывания; кафе	7 изб для ночлега, 50 мест для разведения костров, территории для палаток
Доступность	Парковка	9 висячих мостов, деревянных настилов и лестниц; парковка в деревне Юма
Осмотр		Смотровая площадка
Информация		Информационные доски с информацией о растениях и животных в парке
Национальный парк им. Урхо Кекконена		
	Информационный центр «Киехинен» в Саариселькя; визит-центр «Танкаваара»; информационный центр «Корватунтури» в Савукоски	5 пеших, лыжных маршрутов протяженностью 18–80 км [1, 15, 16]
Отдых	7 изб дневного пребывания	37 изб общего пользования, 24 навеса, 3 летние кухни, 5 чумов, 107 мест для костра [1, 15, 16]
Притягательность	Золотой прииск (чемпионаты по промывке золота)	
Осмотр		Смотровая площадка Кауниспя (437 м над уровнем моря)
Наблюдение		2 смотровые вышки
Информация		Информационные щиты на перекрестках
Национальный парк «Линнансаари»		
	Сайменский визит-центр «Риихисаари»	4 маршрута от 0.7 до 7 км
Отдых		Кемпинг Sammakoniemi, 5 четырехместных домов, палаточные территории
Доступность	Парковки Kemihaara	20 лодочных причалов, парковка Haukiniva
Информация		Информационный стенд у кемпинга

В основе экологического просвещения лежит информация, пространственная организация которой должна способствовать соблюдению посетителями природоохранных правил. В этом случае градостроительная система территории экотуризма рассматривается как совокупность информационных объектов, которые для достижения цели взаимодействуют посредством передачи информации.

Пространственная организация сети визит-центров выстраивается согласно принципам дифференциации информации на сценарии посещения и наследования сценариев посещения объекта сети. Для реализации этих принципов поле влияния периферийного визит-центра входит в состав поля влияния визит-центров высших рангов [1, 16].



Рис. 3. Визит-центры национальных парков (Финляндия)⁴: а) природный центр «Халтия», национальный парк «Нуоксио»; б) региональный визит-центр и музей саамской культуры «Сида», национальный парк «Лемменйоки»; в) визит-центр «Киехинен», национальный парк «Урхо Кекконен»; д) визит-центр «Танкаваара», национальный парк «Урхо Кекконен»

Fig. 3. Visitor centers of Finnish national parks⁴: a) Nature Center Haltia, Nuuksio National Park; b) Siida Regional Visitor Center and Museum of Sámi Culture, Lemmenjoki National Park; c) Customer Service Kiehinен, Urho Kekkonen National Park; d) Tankavaara Visitor Center, Urho Kekkonen National Park

Приемом, реализующим принцип дифференциации, является проектирование сценариев посещения информационного центра и туристических маршрутов.

Принцип наследования осуществляется через агрегацию полей влияния информационных центров, что обеспечивает непрерывность сценариев посещения.

Визит-центры высшего ранга наследуют функциональный состав и сценарии посещения входящих в его поле влияния учреждений низшего ранга (рис. 4). Поле влияния обуславливает объемно-планировочную структуру эколого-просветительских учреждений:

- культурная модель – сценарии посещения информационного центра;
- функции элементов сети маршрутов – его функциональный состав.

⁴ Фотографии взяты из открытых источников:

HALTIA. Режим доступа: <https://haltia.com/en/> (дата обращения: 15.01.2024).

SIIDA. Режим доступа: <https://siida.fi/> (дата обращения: 15.01.2024).

День 4. Национальный парк имени Урхо Кекконена. Режим доступа: <https://kezling.ru/travels/go-north/urho-kekkonen-national-park> (дата обращения: 15.01.2024).

Танкаваара – Деревня золотоискателей. Режим доступа: <https://foto-trip.livejournal.com/5381433.html> (дата обращения: 15.01.2024).

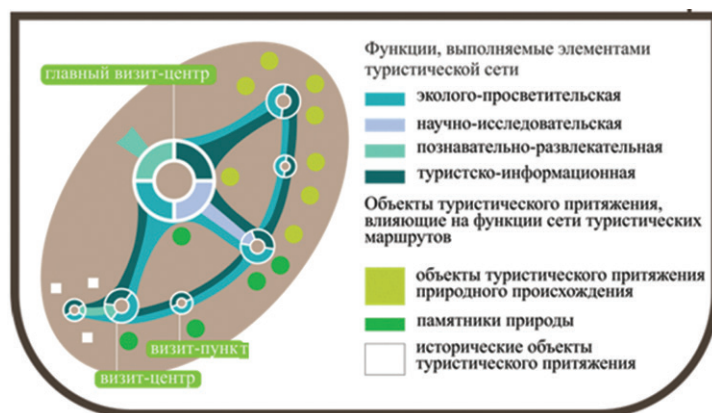


Рис. 4. Функциональный состав туристического эколого-просветительского информационного визит-центра (схема составлена авторами)
Fig. 4. Functional structure of the tourist ecological-educational information visitor center (scheme created by the authors)

В зависимости от поля влияния визит-центр может быть региональным центром, центром территории экотуризма, визит-центром и визит-пунктом отдельных объектов туристического притяжения (таблица 3).

Таблица 3 / Table 3

Функционально-планировочная организация эколого-просветительских туристско-информационных центров (визит-центров)
Functional-planning structure of ecological-educational tourist-information centers (visitor centers)

Функциональный блок	Региональный визит-центр	Главный визит-центр территории экотуризма	Визит-центр	Визит-пункт
Эколого-просветительский	помещение	экспозиционный зал; кинозал; конференц-зал; библиотека; учебная комната	экспозиционный зал; кинозал; библиотека; учебная комната	фойе
	обустройство прилегающей территории	зоопарк; дендрарий	экотропы; смотровые площадки; эко-просветительские стенды	экотропы [21]; смотровые площадки; экопросветительские стенды
Туристско-информационный	помещение	туристический центр; кафе; гостиница; магазин сувениров	туристический пункт	
	обустройство прилегающей территории	информационные стенды; зона отдыха; автостоянки	информационные стенды	информационные стенды
Научно-исследовательский	помещение	научная лаборатория; фонды хранения; библиотека	образовательный пункт	
	обустройство прилегающей территории			
Познавательно-развлекательный	помещение	интерактивный комплекс; детская комната; кинозал	детская комната	
	обустройство прилегающей территории	детские площадки	детская площадка	

4. Заключение

Территория экотуризма рассмотрена как сложная градостроительная система в территориальном и информационном аспектах. В работе определены ключевые элементы градостроительного обустройства территории экотуризма – визит-центры (узловые) и экомаршруты (линейные) – и обозначены их функции: эколого-просветительская, туристско-информационная, познавательно-развлекательная, научно-исследовательская.

Для развития экотуризма необходимо создать в нашей стране действующую информационную систему экологического просвещения, где ключевыми элементами выступают визит-центры разных рангов: от визит-пунктов и визит-центров отдельных объектов туристического притяжения до центров территорий экотуризма (к примеру, национальных парков) и региональных визит-центров (центров высшего ранга), аккумулирующих информацию по всем туристическим объектам. Данная пространственная организация позволяет реализовать сценарии посещения и наследование сценариев посещения экотуристами в соответствии с установленными нормами и правилами экологического поведения.

Практическая значимость исследования заключается в разработке системы оценки, планирования и регулирования процессов развития экологического туризма. Полученные результаты могут быть использованы при выполнении систематических исследований, разработке документов стратегического территориального планирования (схем территориального планирования).



Вклад авторов. Астанин Д. М. – научная концепция; Ткачев А. А. – научное редактирование текста; Яловкина Л. В. и Смирнов А. П. – сбор материала.

Author contributions. Dmitry M. Astanin, scientific concept; Alexander A. Tkachev, scientific editing; Lyubov V. Yalovkina, and Alexander P. Smirnov, data mining.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Астанин Д. М., Муталибова Г. К., Белов И. В. Моделирование территориальной организации сети эколого-просветительских визит-центров (градостроительная апробация концепции культурной гегемонии А. Грамши). *ЦИТИСЭ*. 2022;(2):439–450. <https://doi.org/10.15350/2409-7616.2022.2.38>
2. Мартышенко Н. С., Золотова В. И. Повышение роли экологического туризма в структуре предложения внутреннего туризма в России. *Фундаментальные исследования*. 2015;(11-5):1003–1008. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25097610_60392587.pdf.
3. Чижова В. П. Развитие экотуризма в охраняемых природных территориях (эколого-географический аспект). *Российский журнал устойчивого туризма*. 2013;(3):7–12.
4. Владимиров В. В. Актуальность и предпосылки экологического программирования в районной планировке. В сб.: *Вопросы географии: Сборник 113: Географические науки и районная планировка*. Москва: Мысль; 1980. С. 109–117.
5. Хромов Ю. Б. *Организация систем отдыха, туризма и охрана природной среды на Севере*. Ленинград: Стройиздат: Ленинградское отделение; 1981. 184 с.
6. Яковенко И. М., Воронина А. Б. Особо охраняемые природные территории как объект рекреационной деятельности. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология*. 2015;1(1):41–60. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25655968_67883889.pdf.
7. Веденин Ю. А. *Динамика территориальных рекреационных систем*. Москва: Наука; 1982. 190 с.
8. Ceballos-Lascurain, H. Tourism, ecotourism, and protected areas: the state of nature-based tourism around the world and guidelines for its development. Conference: *World Congress on National Parks and Protected Areas, 4th, Caracas, Venezuela, 10-21 February 1992*. Gland: IUCN; 1996. 301 p.

9. Поморов С. Б., Морозова Н. В. Проектирование рекреационных комплексов в Горном Алтае с учетом потребностей населения в отдыхе. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2010;(1):45–52. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_13085126_61099831.pdf.
10. Яловкина Л. В. *Разработка методики обеспечения и контроля качества дизайна картографического изображения для широкого круга пользователей: дисс. канд. техн. наук*. Новосибирск; 2020. 192 с.
11. Гедз Л. В. Классификация оценочных квалиметрических свойств оформления карт. *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2015;4:75–80. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24041297_20439431.pdf.
12. Жукова О. Ю., Гедз Л. В. Оценка влияния внешних факторов на зрительное восприятие цветной картографической продукции. *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2012;(6):29–34. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24356503_68941323.pdf.
13. Астанин Д. М., Муталибова Г. К., Вишторский Е. М., Богомолов С. А. *Градостроительное обустройство территории экологического туризма в центральной части Восточного Саяна*. Тамбов: Юконф; 2022. 128 с. Режим доступа: <https://ukonf.com/doc/mon.2022.11.01.pdf>.
14. Астанин Д. М., Муталибова Г. К., Вишторский Е. М., Богомолов С. А. *Квинтэссенция взаимодействия природоохранных систем: религиозное сознание, государственное регулирование, экологическое просвещение, международное право*. Тамбов: Юконф; 2022. 80 с. Режим доступа: <https://ukonf.com/doc/mon.2022.12.01.pdf>.
15. Астанин Д. М., Муталибова Г. К., Вишторский Е. М., Большеротова Л. В. *Перспективы пространственного развития экологического туризма*. Тамбов: Юконф; 2022. 96 с. Режим доступа: <https://ukonf.com/doc/mon.2022.07.01.pdf>.
16. Астанин Д. М. Моделирование характеристик визит-центров территорий экологического туризма как пересечение форм пространственности (градостроительная апробация акторно-сетевой теории Д. Ло). *Архитектон: известия вузов*. 2021;(1):15. [https://doi.org/10.47055/1990-4126-2021-1\(73\)-15](https://doi.org/10.47055/1990-4126-2021-1(73)-15)
17. Оборин М. С., Непомнящий В. В. Разработка экологических троп в особо охраняемых природных территориях различных природных регионов. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2010;(21):174–180. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_15584331_38907449.pdf.

References

1. Astanin D. M., Mutalibova G. K., Belov I. V. Modeling of the territorial organization of a network of ecological and educational visit centers (urban planning approbation of A. Gramsci's concept of cultural hegemony). *CITISE*. 2022;(2):439–450. (In Russ.) <https://doi.org/10.15350/2409-7616.2022.2.38>
2. Martyshenko N. S., Zolotova V. I. Increase a role ecological tourism in sentence structure of internal tourism in Russia. *Fundamental Research*. 2015;(11-5):1003–1008. (In Russ.) Available: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25097610_60392587.pdf.
3. Chizhova V. P. Ecotourism development in protected natural areas (an eco-geographical perspective). *Rossiyskiy zhurnal ustoychivogo turizma*. 2013;(3):7–12. (In Russ.)
4. Vladimirov V. V. Ecological programming in regional area planning: its topical importance and its pre-conditions. In: *Problems of geography, Vol. 113: Geographical Science and Area Planning*. Moscow: Mysl; 1980. P. 109–117. (In Russ.)
5. Khromov Yu. B. *Organization of recreation and tourism systems and environmental protection in the North*. Leningrad: Stroyizdat: Leningradskoe otdelenie; 1981. (In Russ.)
6. Yakovenko I. M., Voronina A. B. Especially protected natural territories as object of recreational activity. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*. 2015;(1):41–60. (In Russ.) Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_25655968_67883889.pdf.
7. Vedenin Yu. A. *Dynamics of territorial recreation systems*. Moscow: Nauka; 1982. (In Russ.)
8. Ceballos-Lascurain H. Tourism, ecotourism, and protected areas: the state of nature-based tourism around the world and guidelines for its development. In: *World Congress on National Parks and Protected Areas, 4th*, Caracas, Venezuela, February, 10–21, 1992. Gland: IUCN; 1996. 301 p.
9. Pomorov S. B., Morozova N. V. Designing the recreational complexes in mountain Altai taking into consideration requirements of the population for rest. *Journal of Construction and Architecture*. 2010;(1):45–52. (In Russ.) Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_13085126_61099831.pdf.

10. Yalovkina L. V. *Development of a methodology for ensuring and controlling the quality of cartographic image design for a wide range of users*. Novosibirsk; 2020. (In Russ.)
11. Gedz L. V. Classification of evaluative qualimetric properties of map design. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2015;(4):75–80. (In Russ.) Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24041297_20439431.pdf.
12. Zhukova O. Yu., Gedz L. V. Assessment of the influence of external factors on the visual perception of color cartographic products. *Izvestia vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2012;(6):29–34. (In Russ.) Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_24356503_68941323.pdf.
13. Astanin D. M., Mutalibova G. K., Vishtorskiy E. M., Bogomolov S. A. *Urban planning of ecotourism territory in the central part of the eastern Sayan mountains*. Tambov: Uconf; 2022. (In Russ.) Available at: <https://ukonf.com/doc/mon.2022.11.01.pdf>.
14. Astanin D. M., Mutalibova G. K., Vishtorskiy E. M., Bogomolov S. A. *The quintessence of interaction between nature conservation systems: religious consciousness, state regulation, environmental education, international law*. Tambov: Uconf; 2022. (In Russ.) Available at: <https://ukonf.com/doc/mon.2022.12.01.pdf>.
15. Astanin D. M., Mutalibova G. K., Vishtorskiy E. M., Bol'sherotova L. V. *Spatial development perspectives of ecotourism*. Tambov: Uconf; 2022. (In Russ.) Available at: <https://ukonf.com/doc/mon.2022.07.01.pdf>.
16. Astanin D. M. Modeling the characteristics of visitors centers in ecological tourism areas as intersection of spatial forms (urban planning trial of J. Law's actor-network theory). *Architecton: Proceedings of Higher Education*. 2021;(1):15. (In Russ.). [https://doi.org/10.47055/1990-4126-2021-1\(73\)-15](https://doi.org/10.47055/1990-4126-2021-1(73)-15).
17. Oborin M. S., Nepomnachy V. V. Development of ecological paths in natural preserves in different natural regions. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2010;(21):174–180. (In Russ.) Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_15584331_38907449.pdf.



Информация об авторах

Астанин Дмитрий Михайлович, генеральный директор ООО «Рустал. Северо-Запад», Санкт-Петербург, Российская Федерация, montenegro.astanin@mail.ru

Ткачев Александр Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, и. о. заведующего кафедрой сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, tkachevaa@yandex.ru

Яловкина Любовь Владимировна, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, kartografka@list.ru

Смирнов Александр Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация, sxodnyasmirnov@mail.ru

Information about the authors

Dmitry M. Astanin, General Director of "Rustal. North-West LLC", Saint Petersburg, Russian Federation, montenegro.astanin@mail.ru

Alexander A. Tkachev, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Acting Head of the Department of Agricultural Construction and Real Estate Appraisal, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, tkachevaa@yandex.ru

Lyubov V. Yalovkina, Cand. Sci. (Engineering), Senior Lecturer in the Department of Agricultural Construction and Real Estate Appraisal, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, kartografka@list.ru

Alexander P. Smirnov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Agricultural Construction and Real Estate Appraisal, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation, sxodnyasmirnov@mail.ru

Получена 31 января 2024 г., одобрена 13 мая 2024 г., принята к публикации 9 сентября 2024 г.

Received 31 January 2024, Approved 13 May 2024, Accepted for publication 9 September 2024



Аналитическое определение функции релаксации вязкоупругого мерзлого грунта на основе экспериментальных данных

Е. В. Корешкова¹, А. А. Шушарин¹✉, Н. М. Хасанов²

¹ Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация

² Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими, проспект академиков Раджабовых, 10, Душанбе, 734042, Республика Таджикистан

✉ shusharinaa@tyuiu.ru

Аннотация. Прочность и ползучесть мерзлых грунтов являются одними из основных механических свойств для учета времени в проектировании строительных объектов. На основании экспериментальных данных определены деформационные механические характеристики мерзлого грунта с учетом ползучести. Получена функция ползучести мерзлого грунта. По функции ползучести аналитически определена функция релаксации мерзлого грунта с помощью метода ломаных. Методика определения функций ползучести и релаксации может быть использована при расчете оснований из мерзлых грунтов под объектами строительства.

Ключевые слова: мерзлый грунт, грунтовое основание, механические характеристики, метод ломаных

Благодарности. Статья подготовлена в рамках реализации государственного задания в сфере науки на выполнение научных проектов, реализуемых коллективами образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России, по проекту «Компьютерное моделирование механических, температурных и динамических процессов в слабых и многолетнемерзлых грунтах для обеспечения надежности грунтовых оснований инженерных сооружений» (№ FEWN-2024-0006).

Для цитирования: Корешкова Е. В., Шушарин А. А., Хасанов Н. М. Аналитическое определение функции релаксации вязкоупругого мерзлого грунта на основе экспериментальных данных. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(3):36–43. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-36-43>

Analytical determination of the relaxation function of viscoelastic frozen soil based on experimental data

Elena V. Koreshkova¹, Alexander A. Shusharin¹✉, Nurali M. Hasanov²

¹ Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation

² Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, 10 Academicians Rajabov's avenue, Dushanbe, 734042, Republic of Tajikistan

✉ shusharinaa@tyuiu.ru

Abstract. Strength and creep of frozen soils are among the main mechanical properties for time estimation in the design of construction objects. Based on experimental data, the authors determined deformational

mechanical characteristics of frozen soil, including creep, and obtained a creep function of frozen soil. Using this creep function, the authors analytically determined the relaxation function of frozen soil using the broken lines method. This methodology can be used in the design of foundations for construction objects made of frozen soils.

Keywords: frozen soil, soil foundation, mechanical characteristics, broken line method

Acknowledgements. The work was prepared as part of the state assignment for the implementation of scientific projects by teams of higher education institutions under the Ministry of Science and Higher Education of Russia; project No. FEWN-2024-0006 "Computer modeling of mechanical, temperature and dynamic processes in weak and permafrost soils to ensure the reliability of ground foundations for engineering structures".

For citation: Koreshkova E. V., Shusharin A. A., Hasanov N. M. Analytical determination of the relaxation function of viscoelastic frozen soil based on experimental data. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(3):36–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-36-43>



1. Введение

Мерзлые грунты представляют собой сложные многокомпонентные материалы, состоящие из минеральных частиц, включений льда, газа, и обладают рядом специфических свойств. По сравнению с намерзлыми грунтами механические свойства мерзлых грунтов зависят от температуры [1]. Изучению механических свойств мерзлых грунтов при циклическом промерзании-оттаивании посвящена обзорная статья [2]. Реологические свойства мерзлых грунтов характеризуются существенным снижением прочности и повышением деформируемости [3]. При расчете напряженно-деформированного состояния оснований из мерзлых грунтов необходимо учитывать их вязкоупруго-пластическое поведение [4]. Для расчета деформированного состояния грунта во времени выбор модели определяет постановку экспериментов по изучению механических характеристик мерзлого грунта. В работах [5–10] описаны экспериментальные исследования механических свойств мерзлых грунтов. В [11] предложена вязкоупругая модель грунта с тремя параметрами, и задача вязкоупругости после преобразования Лапласа сведена к задаче упругости. В основе некоторых реологических моделей лежит модель Фойгта. Она характеризуется дифференциальной зависимостью деформаций от напряжений. Более сложные модели основаны на теории дробного исчисления [12]. Модели, основанные на интегральной зависимости деформаций и напряжений (закон Больцмана), рассмотрены в [13, 14]. В интеграле Больцмана рассматривается экспоненциальное представление ядра ползучести с ограниченным количеством параметров. Авторы статьи отказались от ядерного представления механических характеристик и рассмотрели вариант функции ползучести в виде ломаной линии [15, 16], параметры которой определены из эксперимента.

Экспериментальные и теоретические исследования на ползучесть мерзлого грунта рассмотрены в работах [17–19]. В данной статье показан алгоритм, как по данным из эксперимента на ползучесть или релаксацию грунтового образца построить функцию ползучести или функцию релаксации по методу ломаных, далее по уже известной из эксперимента одной функции в виде ломаной – ползучести или релаксации – найти аналитическим методом другую неизвестную функцию. Таким образом, нет необходимости ставить два эксперимента: испытание на ползучесть и испытание на релаксацию образцов.

2. Материалы и методы

Объект исследования – образец мерзлого грунта. Предмет исследования – механические характеристики мерзлого грунта.

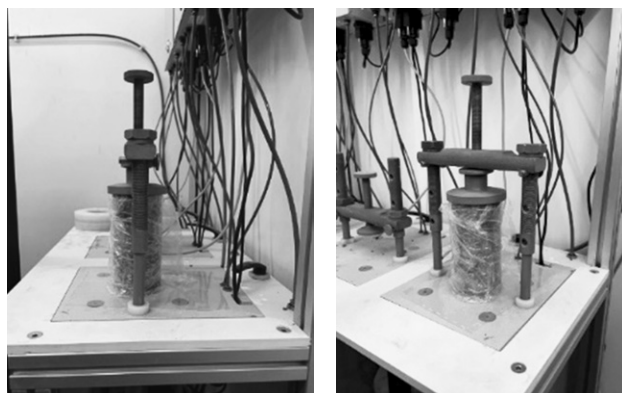


Рис. 1. Установка испытания мерзлого грунта методом одноосного сжатия (фото авторов)

Fig. 1. Uniaxial compression test setup for frozen soil (author's photo)

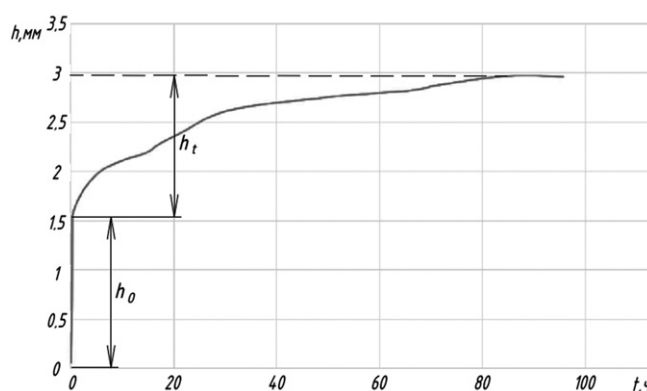


Рис. 2. Зависимость абсолютных деформаций от времени (график получен Гуляевым Р. С.)

Fig. 2. Dependence of absolute deformations on time (graph obtained by Gulyaev R. S.)

Функция ползучести мерзлого грунта определялась экспериментально. Испытание проводилось в приборе для одноосного сжатия образца грунта (рис. 1). Лабораторный эксперимент поставлен Р. С. Гуляевым, магистрантом базовой кафедры ООО «Мостострой-11» (Тюменский индустриальный университет). Материалом для проведения эксперимента был суглинок нарушенного сложения с влажностью 56 %; плотностью 1.41 г/см³; льдистостью 0.64.

К образцу диаметром 70 мм, высотой 146 мм прикладывалась нагрузка ступенчато по 0.14 МПа. Критерием стабилизации являлось значение абсолютных деформаций меньше 0.01 мм за 12 часов. Эксперимент закончен при достижении продольных деформаций равных 20 % от исходной высоты образца. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

Используя кривую экспериментальных данных, с помощью метода наименьших квадратов получили функцию ползучести в виде ломаной линии [20] (время безразмерное):

$$\Pi(t) = \Pi(0) \left\{ h(t) - \sum_{i=0}^n (a_i - a_{i+1}) \cdot (t - T_i) \cdot h(t - T_i) \right\}, \quad (1)$$

где $a_0 = 0$, $a_{i+1} = 0$, $T_0 = 0$, $h(t)$ – функция Хевисайда, a_i – неизвестные коэффициенты ломаной, которые находятся по экспериментальным данным.

Для функции $\Pi(t)$ известно изображение по Лапласу-Карсону [20]:

$$\Pi^*(p) = \Pi(0) \left[1 - \frac{a_0 - a_1}{p} e^{-pT_0} - \frac{a_1 - a_2}{p} e^{-pT_1} - \dots - \frac{a_i - a_{i+1}}{p} e^{-pT_i} - \frac{a_n - a_{n+1}}{p} e^{-pT_n} \right], \quad p = \frac{1}{T}.$$

Определим функцию релаксации $R(t)$ грунта. Функция релаксация также представима в виде ломаной с неизвестными коэффициентами, $b_i, i = 1, \dots, m$:

$$R(t) = R(0) \left\{ h(t) - \sum_{i=0}^m (b_i - b_{i+1}) (t - \tilde{T}_i) h(t - \tilde{T}_i) \right\}, \quad p_i = \frac{1}{\tilde{T}_i}. \quad (2)$$

Значения T_i , $\tilde{T}_i$ для функции ползучести и для функции релаксации в общем случае различны.

По методу ломаных находится оригинал функции релаксации $R(t)$. Для этого составлена система уравнений, основанная на равенстве неизвестного оригинала в изображениях и известной функции в изображениях $R^*(p_i) = 1/\Pi^*(p_i)$, на системе точек $p_i, i = 1, \dots, 4$.

Система уравнений имеет вид [20]:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^L \frac{e^{-p_1 T_{i-1}} - e^{-p_1 T_i}}{p_1} b_i = \frac{\Pi^*(p_1)}{\Pi(0)} - 1 \\ \sum_{i=1}^L \frac{e^{-p_{L-1} T_{i-1}} - e^{-p_{L-1} T_i}}{p_{L-1}} b_i = \frac{\Pi^*(p_{L-1})}{\Pi(0)} - 1. \\ \sum_{i=1}^L (T_i - T_{i-1}) b_i = \frac{\Pi^*(p_{L=0})}{\Pi(0)} - 1 \end{cases} \quad (3)$$

Заключительное уравнение системы (3) отличается, так как записано для точки $p_5 = 0$. Для асимптотических и начальных значений искомой функции необходимо учесть теорему о пределах [20]:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = \lim_{p \rightarrow 0} R^*(p), \quad \lim_{t \rightarrow 0} R(t) = \lim_{p \rightarrow \infty} R^*(p).$$

Формулы (1)–(3) были реализована в Excel. Обязательно проводилась проверка алгоритма на тестовом примере для образцов из оргстекла и глины [21, 22]. Погрешность вычислений метода составила не более двух процентов.

3. Результаты и обсуждение

На рис. 3 показана полученная функция ползучести. Коэффициенты формулы (1) равны: $a_1 = 2.992 \cdot 10^{-5}$; $a_2 = 1.571 \cdot 10^{-5}$; $a_3 = 2.696 \cdot 10^{-5}$; $a_4 = 1.68 \cdot 10^{-5}$; $a_5 = 2.785 \cdot 10^{-6}$; $a_6 = 2.785 \cdot 10^{-7}$.

Функция релаксации грунта определена по системе уравнений (3), для которой значения T_i : $T_1 = 2$, $T_2 = 11$, $T_3 = 18$, $T_4 = 30$, $T_5 = 70$. Результатом решения системы уравнений (3) являются коэффициенты b_i : $b_1 = -0.0012$, $b_2 = -0.00138$, $b_3 = -0.00721$, $b_4 = -0.00483$. Механические характеристики мерзлого грунта представлены на рис. 4.

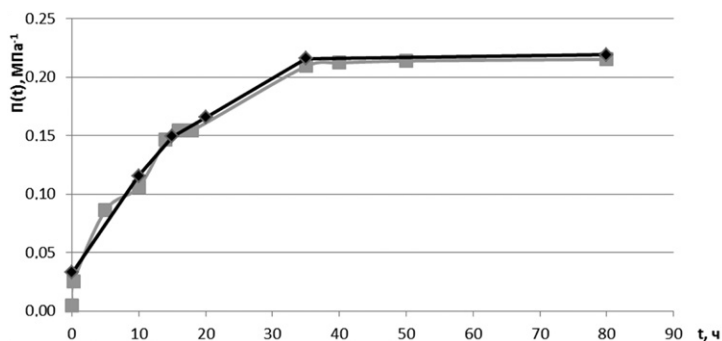


Рис. 3. Функция ползучести:
 $\blacklozenge$ $\Pi(t)$ – экспериментальная;
 $\blacksquare$ $\Pi(t)$ – теоретическая
 (график составлен авторами)
 Fig. 3. Creep function:
 $\blacklozenge$ $\Pi(t)$ – experimental;
 $\blacksquare$ $\Pi(t)$ – theoretical
 (graph obtained by the authors)

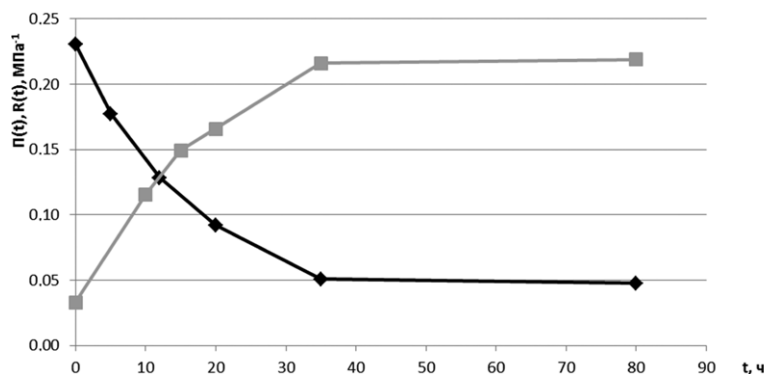


Рис. 4. Функции:
 $\blacklozenge$ $R(t)$ ползучести;
 $\blacksquare$ $\Pi(t)$ релаксации
 (график составлен авторами)
 Fig. 4. Functions:
 $\blacklozenge$ $R(t)$ creep function;
 $\blacksquare$ $\Pi(t)$ relaxation function
 (graph obtained by the authors)

Как видно из рис. 4, функция релаксации является убывающей функцией, так как описывает падение напряжения во времени при постоянной деформации сжатия. Для оценки точности найденной аналитическим способом функции релаксации необходимо провести испытание образца грунта на релаксацию.

4. Заключение

Функция ползучести мерзлого грунта получена на основе экспериментальных данных. С помощью функции ползучести и метода ломаных получена функция релаксации мерзлого грунта. При этом функцию релаксации предложено находить без постановки эксперимента на релаксацию образца.

Полученные механические характеристики грунта применимы в определенных расчетных моделях, например, при расчете деформированного состояния грунтового основания, нагруженного внешней нагрузкой [24].



Вклад авторов. Корешкова Е. В. – идея, написание статьи, научное редактирование статьи; Шушарин А. А. – обработка материала, численные расчеты; Хасанов Н. М. – консультирование, научное редактирование статьи.

Author contributions. Elena V. Koreshkova, conceptualization, writing, and scientific editing of the article; Alexander A. Shusharin, data processing and numerical calculations; Nurali M. Hasanov, consulting and scientific editing of the article.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Волохов С. С., Никитин И. Н., Лавров Д. С. Температурные деформации мерзлых грунтов при резком изменении температуры. *Вестник Московского университета. Серия 4: Геология*. 2017;2:66–71. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2017-2-66-71>
2. Болдырев Г. Г., Идрисов И. Х. Влияние циклического замораживания-оттаивания на прочность и деформируемость мерзлых грунтов: состояние вопроса. *Инженерная геология*. 2017;3:6–17.
3. Степанов М. А., Мальцева Т. В., Краев А. Н., Бартоломей Л. А., Караулов А. М. Устранение прогрессирующего развития неравномерности осадок многоэтажного жилого дома на ленточных свайных фундаментах. *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2017;9(4):62TVN417. Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/62TVN417.pdf>.
4. Enlong Liu, Yuanming Lai, Henry K. K. Wong, Jili Feng. An elastoplastic model for saturated freezing soils based on thermo-poromechanics. *International Journal of Plasticity*. 2018;107:246–285. <https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2018.04.007>
5. Chaochao Zhang, Dongwei Li, Changtai Luo, Zecheng Wang. Research on creep characteristics and the model of artificial frozen soil. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022;4(1):1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/2891673>
6. Hongsheng Li, Haitian Yang, Cheng Chang, Xiutang Sun. Experimental investigation on compressive strength of frozen soil versus strain rate. *Journal of Cold Regions Engineering*. 2001;15(2):125–133. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-381X\(2001\)15:2\(125\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(2001)15:2(125))
7. Chaochao Zhang, Dongwei Li, Changtai Luo, Zecheng Wang, Guanren Chen. Research on creep characteristics and the model of artificial frozen soil. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022;2022:2891673. <https://doi.org/10.1155/2022/2891673>
8. Junhao Chen, Han Li, Lijin Lian, Gen Lu. Comparison of mechanical properties and sensitivity of compressive and flexural strength of artificial frozen sand. *Geofluids*. 2022;2022:6564345. <https://doi.org/10.1155/2022/7419030>
9. Ma Wei, Xiaoxiao Chang. Analyses of strength and deformation of an artificially frozen soil wall in underground engineering. *Cold Regions Science and Technology*. 2002;34(1):11–17. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(01\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(01)00042-8)

10. Вялов С. С. *Реология мерзлых грунтов*. Москва: Стройиздат; 2000. 464 с.
11. Sabri M. M., Shashkin K. G. Soil-structure interaction: theoretical research, in-situ observations, and practical applications. *Magazine of Civil Engineering*. 2023;120(4):12005. <https://doi.org/10.34910/MCE.120.5>
12. Anumita Mishra, Nihar Ranjan Patra. Analysis of creep settlement of pile groups in linear viscoelastic soil. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2019;43(14):2288–2304. <https://doi.org/10.1002/nag.2976>
13. Jia-Cai Liu, Guo-Hui Lei, Xu-Dong Wang. One-dimensional consolidation of visco-elastic marine clay under depth-varying and time-dependent load. *Marine Georesources & Geotechnology*. 2015;33(4):337–347. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2013.877109>
14. Wang Lei, De'An Sun, Peichao Li, Yi Xie. Semi-analytical solution for one-dimensional consolidation of fractional derivative viscoelastic saturated soils. *Computers and geotechnics*. 2017;83:30–39. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2016.10.020>
15. Мальцева Т. В., Набоков А. В., Воронцов В. В., Крижановская Т. В., Минаева А. В. Расчет деформированного состояния вязкоупругого водонасыщенного основания. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. 2010;(4):94–99. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16339146>.
16. Бай В. Ф., Мальцева Т. В., Набоков А. В., Воронцов В. В., Минаева А. В. Теоретические предпосылки расчета песчаных армированных массивов в слабых глинистых грунтах. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. 2011;(1):102–106. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16452831>.
17. Melnikov R., Zazulya J., Stepanov M., Ashikhmin O., Maltseva T. OCR and POP parameters in plaxis-based numerical analysis of loaded over consolidated soils. In: *15th International scientific conference "Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development", Saint Petersburg, 12–15 September 2016. Procedia Engineering*. 2016;165:845–852. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.783>
18. Мальцева Т. В., Трефилина Е. Р. Моделирование двухфазного тела с учетом несущей способности жидкой фазы. *Математическое моделирование*. 2004;16(11):47–57. Режим доступа: <https://www.mathnet.ru/links/02963cb37a6f60206e1b658877b13dbb/mm222.pdf>.
19. Jie Yuan, Yuexin Gan, Jian Chen, Songming Tan, Jitong Zhao. Experimental research on consolidation creep characteristics and microstructure evolution of soft soil. *Frontiers in Materials*. 2023;10:1137324. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1137324>
20. Мальцев Л. Е., Карпенко Ю. И. *Теория вязкоупругости для инженеров-строителей*. Тюмень: Вектор Бук; 1999. 240 с.
21. Колтунов М. А. *Ползучесть и релаксация*. Москва: Высшая школа; 1976. 278 с.
22. Гладков А. Е., Мальцева Т. В., Исакова Н. П. Методика определения механических характеристик вязкоупругих грунтов. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2023;(4):26–33. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2023-4-26-33>
23. Безухов Н. М. *Основы теории упругости, пластичности и ползучести*. Москва: Высшая школа, 1968. 538 с.
24. Maltseva T. V., Trefilina E. R., Saltanova T. V. Deformed state of the bases buildings and structures from weak viscoelastic soils. *Magazine of Civil Engineering*. 2020;(3):119–130. <https://doi.org/10.18720/MCE.95.11>

References

1. Volokhov S. S., Nikitin I. N., Lavrov D. S. Temperature deformation of frozen soils caused by rapid changes in temperature. *Moscow University Geology Bulletin*. 2017;72(3):224–229. <https://doi.org/10.3103/S0145875217030103>
2. Boldyrev G. G., Idrisov I. H. Influence of cyclic freezing-thawing on the strength and deformability of frozen soils: a state-of-the-art review. *Engineering Geology World*. 2017;3:6–17. (In Russ.)
3. Stepanov M. A., Maltseva T. V., Kraev A. N., Bartholomew L. A., Karaulov A. M. Elimination of the progressive development of uneven sedimentation of a multi-storey residential house on tape pile foundations. *Internet-zhurnal "Naukovedenie"*. 2017;9(4):62TVN417. (In Russ.) Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/62TVN417.pdf>.
4. Enlong Liu, Yuanming Lai, Henry K. K. Wong, Jili Feng. An elastoplastic model for saturated freezing soils based on thermo-poromechanics. *International Journal of Plasticity*. 2018;107:246–285. <https://doi.org/10.1016/j.ijplas.2018.04.007>.
5. Chaochao Zhang, Dongwei Li, Changtai Luo, Zecheng Wang. Research on creep characteristics and the model of artificial Ffrozen soil. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022;(4):1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/2891673>

6. Hongsheng Li, Haitian Yang, Cheng Chang, Xiutang Sun. Experimental investigation on compressive strength of frozen soil versus strain rate. *Journal of Cold Regions Engineering*. 2001;15(2):125–133. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-381X\(2001\)15:2\(125\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-381X(2001)15:2(125))
7. Chaochao Zhang, Dongwei Li, Changtai Luo, Zecheng Wang, Guanren Chen. Research on creep characteristics and the model of artificial frozen soil. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2022;2022:2891673. <https://doi.org/10.1155/2022/2891673>
8. Junhao Chen, Han Li, Lijin Lian, Gen Lu. Comparison of mechanical properties and sensitivity of compressive and flexural strength of artificial frozen sand. *Geofluids*. 2022;2022:6564345. <https://doi.org/10.1155/2022/7419030>
9. Ma Wei, Xiaoxiao Chang. Analyses of strength and deformation of an artificially frozen soil wall in underground engineering. *Cold Regions Science and Technology*. 2002;34(1):11–17. [https://doi.org/10.1016/S0165-232X\(01\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S0165-232X(01)00042-8)
10. Vyalov S. S. *Rheology of frozen soils*. Moscow: Stroyizdat; 2000. (In Russ.)
11. Sabri M. M., Shashkin K. G. Soil-structure interaction: theoretical research, in-situ observations, and practical applications. *Magazine of Civil Engineering*. 2023;120(4):12005. <https://doi.org/10.34910/MCE.120.5>
12. Anumita Mishra, Nihar Ranjan Patra. Analysis of creep settlement of pile groups in linear viscoelastic soil. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2019;43(14):2288–2304. <https://doi.org/10.1002/nag.2976>
13. Jia-Cai Liu, Guo-Hui Lei, Xu-Dong Wang. One-dimensional consolidation of visco-elastic marine clay under depth-varying and time-dependent load. *Marine Georesources & Geotechnology*. 2015;33(4):337–347. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2013.877109>
14. Wang Lei, De'An Sun, Peichao Li, Yi Xie. Semi-analytical solution for one-dimensional consolidation of fractional derivative viscoelastic saturated soils. *Computers and geotechnics*. 2017;83:30–39. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2016.10.020>
15. Maltseva T. V., Nabokov A. V., Vorontsov V. V., Krizhanivskaya T. V., Minaeva A. V. Viscoelastic water-saturated soil, residual pore pressure, two-phase elastic half-space. *Oil and Gas Studies*. 2010;(4):94–99. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16339146>.
16. Bai V. F., Maltseva T. V., Nabokov A. V., Vorontsov V. V., Minaeva A. V. Theoretical basis for calculating sand-reinforced masses in weak clay soils. *Oil and Gas Studies*. 2011;(1):102–106. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16452831>.
17. Melnikov R., Zazulya J., Stepanov M., Ashikhmin O., Maltseva T. OCR and POP parameters in plaxis-based numerical analysis of loaded over consolidated soils. In: *15th International scientific conference "Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development", Saint Petersburg, 12–15 September 2016. Procedia Engineering*. 2016;165:845–852. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.783>
18. Maltseva T. V., Trefilina E. R. Modeling of the two-phase body with account of carrying abilities of the fluid phase. *Matematicheskoe modelirovanie*. 2004;16(11):47–57. (In Russ.) Available at: <https://www.mathnet.ru/links/22401914519291b481f37248ea88830c/mm222.pdf>.
19. Jie Yuan, Yuxin Gan, Jian Chen, Songming Tan, Jitong Zhao. Experimental research on consolidation creep characteristics and microstructure evolution of soft soil. *Frontiers in Materials*. 2023;10:1137324. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1137324>
20. Maltsev L. E., Karpenko Yu. I. *Viscoelasticity theory for civil engineers*. Tyumen: Vector Buk; 1999. (In Russ.)
21. Koltunov M. A. *Creep and relaxation*. Moscow: Vysshaya shkola; 1976. (In Russ.)
22. Gladkov A. E., Maltseva T. V., Isakova N. P. Method for determining the mechanical characteristics of viscoelastic soils. *Architecture, Construction, Transport*. 2023;(4):26–33. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2023-4-26-33>
23. Bezukhov N. M. *Fundamentals of elasticity, plasticity, and creep theory*. Moscow: Vysshaya shkola; 1968. (In Russ.)
24. Maltseva T. V., Trefilina E. R., Saltanova T. V. Deformed state of the bases buildings and structures from weak viscoelastic soils. *Magazine of Civil Engineering*. 2020;(3):119–130. <https://doi.org/10.18720/MCE.95.11>



Информация об авторах

Корешкова Елена Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, koreshkovaev@tyuiu.ru

Шушарин Александр Андреевич, инженер-исследователь, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, shusharinaa@tyuiu.ru

Хасанов Нурали Мамедович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой оснований, фундаментов и подземных сооружений, Таджикский технический университет имени академика М. С. Осими, Душанбе, Республика Таджикистан

Information about the authors

Elena V. Koreshkova, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Building Materials, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, koreshkovaev@tyuiu.ru

Alexander A. Shusharin, Research Engineer, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, shusharinaa@tyuiu.ru

Nurali M. Hasanov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head of the Department of Bases, Foundations and Underground Structures, Tajik Technical University named after academician M. S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

*Получена 13 июня 2024 г., одобрена 10 сентября 2024 г., принята к публикации 23 сентября 2024 г.
Received 13 June 2024, Approved 10 September 2024, Accepted for publication 23 September 2024*



Оценка инженерно-геологических изысканий города Тюмени по качеству лабораторных образцов грунта

Р. В. Мельников , З. А. Косинова, Д. В. Рачков
Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация
 melnikovrv@tyuiu.ru

 **Аннотация.** Проведение инженерно-геологических изысканий является сложным и ответственным процессом. От качества их проведения зависит надежность и безопасность проектных решений. В настоящем исследовании оценивалось качество лабораторных образцов грунта на основании отчетов по инженерно-геологическим изысканиям города Тюмени и Тюменского района. Оценка проводилась по 13 отчетам девяти изыскательских организаций. Для оценки использовались методики Терцаги и Лунне. Для этого соответствующим образом проводилась обработка данных компрессионных испытаний грунта, которые получили из 505 паспортов. Результаты представлены в виде диаграмм: в целом для выборки; по организациям; по виду и консистенции грунта; по глубине отбора проб. Сделаны выводы о неудовлетворительном качестве изысканий и факторах, повлиявших на это. Даны рекомендации для повышения качества образцов грунта, отбираемых в ходе инженерно-геологических изысканий.

Ключевые слова: инженерно-геологические изыскания, качество образцов грунта, Терцаги, Лунне, лабораторные испытания, компрессионное сжатие, глубина отбора проб

Для цитирования: Мельников Р. В., Косинова З. А., Рачков Д. В. Оценка инженерно-геологических изысканий города Тюмени по качеству лабораторных образцов грунта. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(3):44–53. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-44-53>

Assessment of engineering geological survey quality in Tyumen based on the laboratory soil sample analysis

Roman V. Melnikov , Zlata A. Kosinova, Dmitry V. Rachkov
Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation
 melnikovrv@tyuiu.ru

 **Abstract.** Carrying out engineering geological surveys is a complex and responsible process. The reliability and safety of design solutions depend on the quality of their execution. This study assessed the quality of laboratory soil samples based on reports from engineering geological surveys conducted in Tyumen city and Tyumensky district. The assessment was based on 13 reports from 9 survey organizations. The Terzaghi and Lunne methods were used for evaluation. To achieve this, data from compression tests on soil samples, obtained from 505 reports, was processed accordingly. The data were presented as diagrams: for the sample as a whole; by organizations; by type and consistency of soil; by depth of sampling. The study concluded that the quality of the surveys was inadequate and identified factors contributing to this. The study provided recommendations for improving the quality of soil samples collected during engineering geological surveys.

Keywords: engineering geological surveys, soil sample quality, Terzaghi, Lunne, laboratory testing, compression test, sampling depth

For citation: Melnikov R. V., Kosinova Z. A., Rachkov D. V. Assessment of engineering geological survey quality in Tyumen based on the laboratory soil sample analysis. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(3):44–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-44-53>



1. Введение

Важным этапом строительства различных объектов инфраструктуры являются инженерно-геологические изыскания. Без них невозможно принять надежные и безопасные решения на этапе проектирования. При проведении инженерно-геологических изысканий обязательно определяют характеристики грунтов и проводят их последующую оценку. На достоверность результатов существенно влияет качество образцов грунта, поступающих в лабораторию [1, 2]. Во время бурения, отбора, упаковки, транспортировки, хранения монолита и вырезания из него лабораторного образца происходит изменение структуры грунта вследствие разуплотнения, смятия, высыхания и т. п. [3, 4].

Существуют национальные стандарты, по которым определяют качество лабораторных образцов грунта:

- ГОСТ Р ИСО 22475-1-2017 Геотехнические исследования и испытания¹;
- СП 23.13330.2018 Основания гидротехнических сооружений²;
- EN 1997-2 (2007) (English): Eurocode 7: Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing³;
- Norsok Standart G-001 Marine soil investigations⁴;
- ASTM D-2487 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)⁵;
- British Standard BS5930:2015 Code of Practice for Ground Investigations⁶.

Оценка качества лабораторных образцов грунта проводится для повышения точности результатов лабораторного определения механических характеристик [5]. Она может быть качественной и количественной. Качественную (визуальную) оценку осуществляют в полевых и лабораторных условиях: оценивается форма монолита, его сплошность и однородность.

Количественная оценка проводится в лабораторных условиях по методике Терцаги [6] или Лунне [7]. Методики объединяет общий подход – на этапе реконсолидации (при приложении к об-

¹ ГОСТ Р ИСО 22475-1-2017 Геотехнические исследования и испытания. Методы отбора проб и измерения подземных вод. Часть 1. Технические принципы для выполнения = Geotechnical investigation and testing. Sampling methods and groundwater measurements. Part 1. Technical principles for execution. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200157817>.

² СП 23.13330.2018 Основания гидротехнических сооружений = Foundation of hydraulic structures. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/553863425>.

³ EN 1997-2 (2007) (English): Eurocode 7: Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and testing. Available at: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/02/en.1997.2.2007-1.pdf>.

⁴ Norsok Standart G-001 Marine soil investigations. Available at: <https://standards.globalspec.com/std/9978967/G-001>.

⁵ ASTM D-2487 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). Режим доступа: <https://www.astm.org/standards/d2487>.

⁶ British Standard BS5930:2015 Code of Practice for Ground Investigations. Available at: <https://geotechnicaldesign.info/download/bs5930-2015.pdf>.

разцу бытового давления) оценивается сжатие образца грунта по объемной деформации или коэффициенту пористости (таблица 1). Если качество образца высокое, то получаемые при испытании образцов грунта механические характеристики считаются надежными, при низком качестве рекомендуется определять только физические характеристики.

Таблица 1 / Table 1

Методики определения качества образцов грунта
Methods for determining soil sample quality

Значение параметра $\Delta e/e_0$			Качество по Лунне	Объемная деформация, %	Качество по Терцаги
OCR = 1...2	OCR = 2...4	OCR = 4...6			
до 0.04	до 0.03	до 0.02	Очень хорошее	< 1 %	A
0.04...0.07	0.03...0.05	0.02...0.035	Хорошее	1...2 %	B
0.07...0.14	0.05...0.1	0.035...0.07	Плохое	2...4 %	C
свыше 0.14	свыше 0.1	свыше 0.07	Очень плохое	4...8 %	D
				> 8 %	E

По мнению В. А. Васенина [8], большинство образцов грунта имеют неудовлетворительное качество из-за нарушенной природной структуры и несовершенства приборов для отбора образцов грунта. Данный эффект усиливается при повышении значений параметра консистенции глинистых образцов [9]. Некоторые основные физические характеристики – влажность, влажность на границах текучести и раскатывания, гранулометрический состав, плотность твердых частиц грунта – можно определить на образцах любого качества и даже на образцах нарушенной структуры [10]. При определении механических характеристик грунта, более важных на этапе проектирования, вероятность получения некорректных результатов из-за плохого качества образцов очень высока [11, 12].

Целью данной работы являлась оценка качества инженерно-геологических изысканий для гражданского строительства в городе Тюмени на основе оценки качества лабораторных образцов грунта.

2. Материалы и методы

В рамках данной работы был произведен анализ 13 отчетов по инженерно-геологическим изысканиям девяти изыскательских организаций. Изыскания были проведены на площадках, расположенных в г. Тюмени и Тюменском районе. Все изыскания были выполнены для проектирования объектов жилого и общественного назначения. Были изучены данные 505 паспортов компрессионных испытаний глинистых грунтов, проведенных в 10 грунтовых лабораториях.

Изыскательские организации, участвовавшие в выборке: ООО «НПК Статика 72», ООО Фирма «Прогноз», ООО «ИнжГеоСервис», ООО «ПРИЗ», ООО «Геокад», ООО «Стройпроект», НПО «ТюмГАСУ», ООО «СКДС», ОАО «ПИР «ТюменьДорПроект».

Грунтовые лаборатории, участвовавшие в выборке: ООО «Нипин», ООО Фирма «Прогноз», ООО НПО «АрктикПромИзыскания», ООО «ПРИЗ», ИП Митрофанов А.Ю., ООО «ГеоЛаб», ООО «Стройизыскания», НПО «ТюмГАСУ», ОАО «ПИИ ТюменьДорПроект», лаборатория, не указанная в отчете.

Заказчиками инженерно-изыскательских работ являлись основные застройщики г. Тюмени: ОАО «ТДСК», ГК ARSIB Development, ГК «Брусника», ГК «ЭНКО», ГК «Навигатор. Девелопмент», ГК «ТИС», СЗ «ЖБИ-3 Девелопмент», ГК «Талан», ООО «Создатели», АО «Страна Девелопмент». Таким образом, выборка представлена инженерно-геологическими отчетами изыскательских компаний, активно участвующих в гражданском строительстве г. Тюмени. Хотя исследуемые отчеты и представляют со-

бой законченные продукты, изыскательские компании являются традиционными контрагентами застройщиков города, поэтому данная выборка может являться репрезентативной для гражданского строительства в Тюмени.

Так как цель данной работы состояла в комплексной оценке качества инженерно-геологических изысканий, а не качества материалов конкретных изыскательских организаций или грунтовых лабораторий, результаты исследований из этических соображений представлены в обезличенном виде.

Для оценки качества лабораторных образцов по методике Лунне (таблица 1) необходимо было определить коэффициент переуплотнения OCR. Принималось, что для всех рассмотренных отчетов площадки исследования не были подвергнуты каким-либо нагрузкам и сложены грунтами верхне-четвертичного (Q_{III}) и современного (Q_{IV}) отложения, поэтому коэффициент OCR был равен единице.

В процентном соотношении выборка грунтов из паспортов компрессионных испытаний имела следующее деление по виду: глины – 22.2 %, суглинки – 72.5 %, супеси – 5.3 %. Преобладание суглинков в целом характерно для грунтовых условий г. Тюмени и юга Тюменской области [13].

Согласно всем отчетам, степень реконсолидации при проведении компрессионных испытаний и последующем определении модуля деформации отсутствовала.

Все исследуемые изыскательские организации использовали для бурения и отбора образцов механическое колонковое бурение. Диаметр скважин – от 108 до 160 мм при глубине до 20–35 м.

Оценка качества образцов грунта включала следующие мероприятия. Вначале для каждого инженерно-геологического отчета в базу данных заносилась общая информация об изыскательской организации и грунтовой лаборатории, способе бурения и отбора образцов. Затем для каждого паспорта компрессионных испытаний фиксировалась глубина отбора образца, вид грунта и его физические характеристики, определялось бытовое давление на образец грунта. Для этого использовались данные инженерно-геологических колонок и таблица физико-механических свойств выделенных ИГЭ. Так как программы компрессионных испытаний не содержали этап реконсолидации, каждая компрессионная кривая аппроксимировалась наиболее подходящей функцией для создания на компрессионной кривой точки, равной бытовому давлению. Далее, с учетом параметров исходного состояния каждого образца грунта и его параметров при приложении бытового давления определялось качество данного образца.

Для косвенной оценки использовалась методика норвежского инженера-геотехника Терье Финн Лунне [7]. Так как она основана на испытании морских глинистых грунтов от мягкопластичной до текучей консистенции и проведении компрессионных испытаний со ступенями нагрузки не более трех часов, что указано в СП 23.13330.2018, для основной оценки использовалась методика австрийского и американского инженера-геолога Карла Терцаги [8], которая не имеет существенных ограничений к применению.

3. Результаты и обсуждение

Собранная информация в виде базы данных позволила оценить каждую изыскательскую организацию и грунтовую лабораторию отдельно и в совокупности, оценить влияние вида грунта, консистенции и глубины отбора на качество образца.

Результаты общей оценки образцов грунта представлены в виде диаграмм (рис. 1). Совокупная оценка всех данных по всей толще изучаемых грунтов показала, что качество лабораторных образцов грунта неудовлетворительное: более 60 % образцов низкого качества («плохого» и «очень плохого» по Лунне, D и E по Терцаги – для них рекомендуется определение только физических параметров). Оценка качества по обоим методикам показала достаточно близкие результаты, поэтому в дальнейшем использовалась методика Терцаги как более универсальная. В связи с выявленным низким качеством образцов грунта потребовалось определить факторы, которые привели к такому результату.

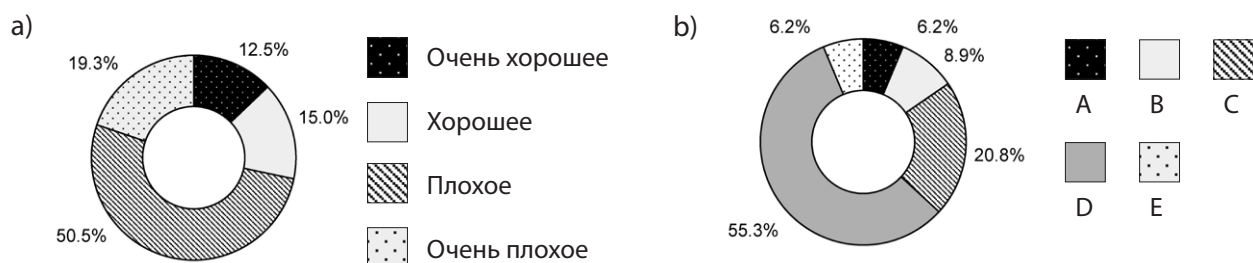


Рис. 1. Общая оценка качества лабораторных образцов грунта: а) по Лунне; б) по Терцаги (диаграммы составлены авторами)
Fig. 1. General assessment of laboratory soil sample quality: a) using the Lunne method; b) using the Terzaghi method (diagrams created by the authors)

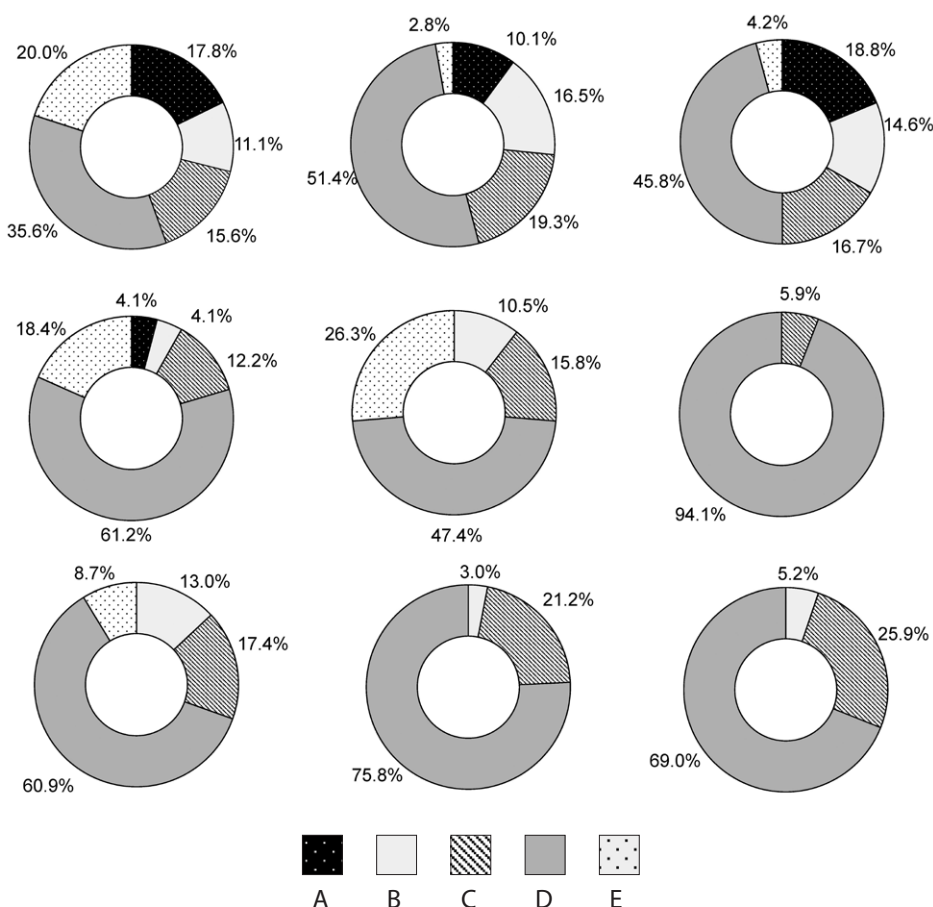


Рис. 2. Оценка качества образцов грунта по методу Терцаги для каждой изыскательской организации (диаграммы составлены авторами)
Fig. 2. Soil sample quality assessment for each survey organization using Terzaghi method (diagrams created by the authors)

После оценки каждой изыскательской организации (без указания ее названия) была проведена оценка качества образцов грунта по методу Терцаги для каждой организации отдельно (рис. 2). Более 50 % образцов грунта, отраженных в отчетах, имели низкое качество (только для определения физических параметров), при этом у отдельных организаций отсутствовали образцы хорошего качества, необходимые для определения механических характеристик. Это существенным образом

влияло на качество отчета по инженерным изысканиям и, как следствие, на надежность принятых проектных решений.

Схожие результаты были получены и для грунтовых лабораторий.

Оценка влияния вида и консистенции глинистого грунта на качество лабораторного образца (рис. 3) показала, что вне зависимости от вида глинистого грунта (глина, суглинок или супесь) на качество образца существенное воздействие оказывает консистенция. Глинистые грунты твердой и полутвердой консистенции лучше, чем грунты с более высоким показателем текучести, сохраняли природную структуру. Данные результаты вполне логичны, образцы с выраженной пластичностью и текучестью больше других подвержены деформированию.

Оценка влияния глубины отбора на сохранение структуры образцов грунта (рис. 4) позволила сделать вывод, что до 90 % образцов грунта удовлетворительного качества (А и В по классификации Терцаги) находились на глубине, не превышающей 6.0 м, и только для них могли быть получены надежные механические характеристики. При увеличении глубины до 12.0 м происходило снижение качества до неудовлетворительного (С и D по классификации Терцаги) – по образцам грунта могли

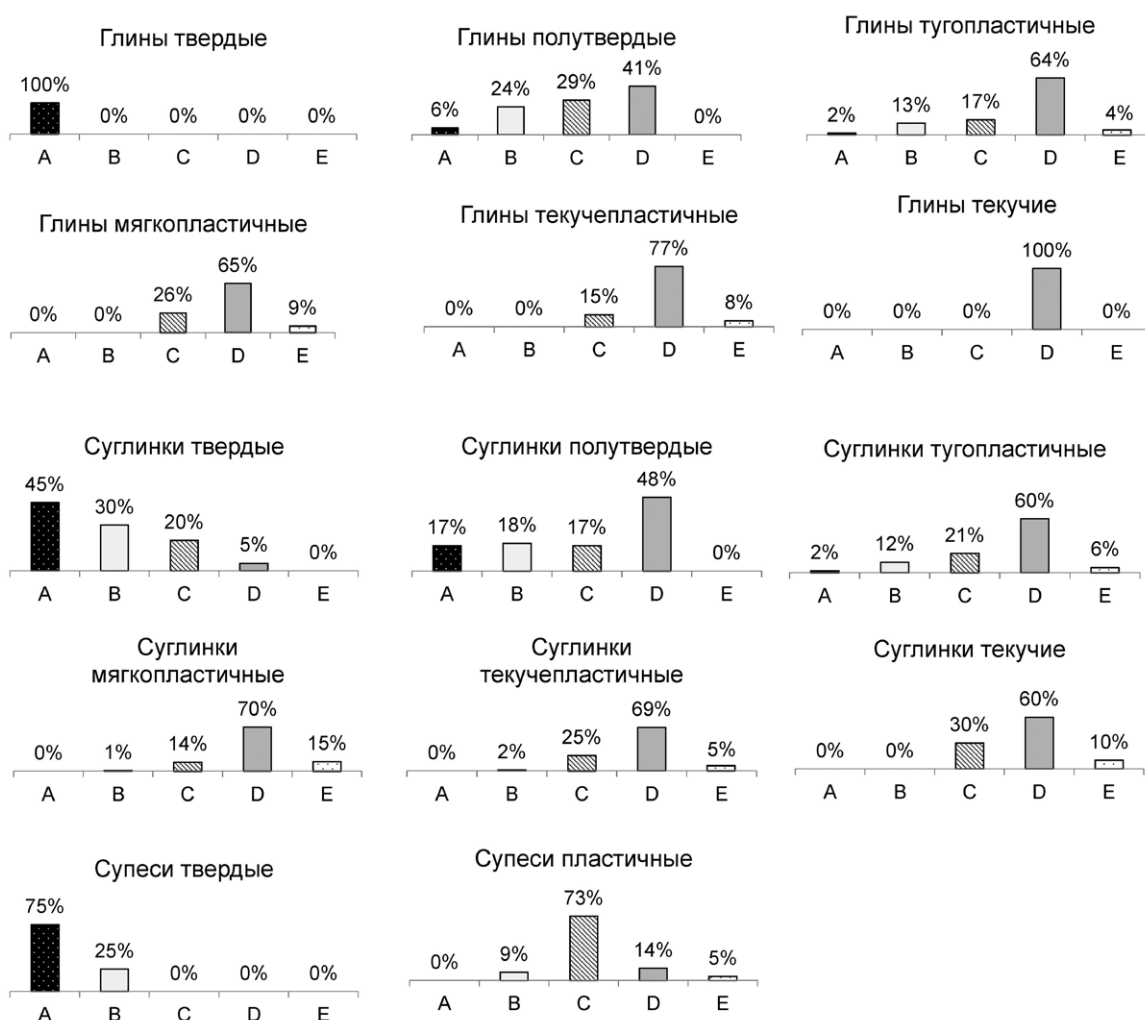


Рис. 3. Оценка качества образцов грунта по методу Терцаги в зависимости от вида и консистенции грунта (диаграммы составлены авторами)
Fig. 3. Soil sample quality assessment using the Terzaghi method, classified by soil type and consistency (diagrams created by the authors)

быть определены только отдельные физические характеристики. Качество образцов, отобранных на глубине более 12.0 м, также было неудовлетворительным (преимущественно D по классификации Терцаги). Влияние глубины отбора на качество образцов грунта существенно, во многом это объясняется снятием с образца грунта бытового давления при его отборе и последующем разуплотнении. Отличие от качества D отдельных образцов грунта, находившихся на глубине более 12.0 м, было связано с консистенцией глинистого грунта (твердой, полутвердой – текучепластичной, текучей). На качество образцов, отобранных на глубине менее 6.0 м, консистенция оказывала меньшее влияние.

4. Заключение

Проведенное исследование позволило сделать вывод о низком качестве инженерно-геологических изысканий, особенно для глинистых образцов грунта с консистенцией $IL > 0.25$, а также для образцов, отобранных на глубине более 6.0 м (рис. 4). Учитывая, что в выборку были включены изыскательские организации, являющиеся традиционными партнерами застройщиков города, можно сделать вывод, что в целом качество проведения инженерно-геологических изысканий в г. Тюмени и Тюменском районе требует повышения.

Невозможно определить, на каком этапе – полевом или лабораторном, – происходит существенное изменение структуры образцов грунта. Для повышения качества лабораторных образцов грунта изыскательским организациям необходимо провести контроль качества на каждом этапе изысканий: на полевом – бурение, отбор, описание, упаковка, транспортировка; на лабораторном – хранение, подготовка и само испытание, обработка результатов. Необходим контроль качества и

соблюдение требований всех нормативных документов, для ответственных объектов рекомендуется проводить надзор (супервайзинг) сторонней специализированной организацией [14].

Так как на качество образцов грунта существенно влияет как глубина отбора, так и консистенция, организациям необходимо разработать регламент проведения работ и предусмотреть в нем способ отбора, упаковки и транспортировки образцов.

В состав полевой группы как минимум должны входить буровой мастер, помощник бурового мастера и полевой геолог. Все специалисты должны регулярно проходить повышение квалификации. Ответственность и обязанности каждой штатной единицы должны быть строго регламентированы.

Перед проведением лабораторных испытаний рекомендуется отдавать приоритет глинистым грунтам с более высокими значениями консистенции (например, основываясь на данных реестра образцов грунта или бурового журнала).

Данные мероприятия не являются затратными и материалоемкими, поэтому должны рассматриваться как первоочередные. Следование этим рекомендациям должно повысить качество

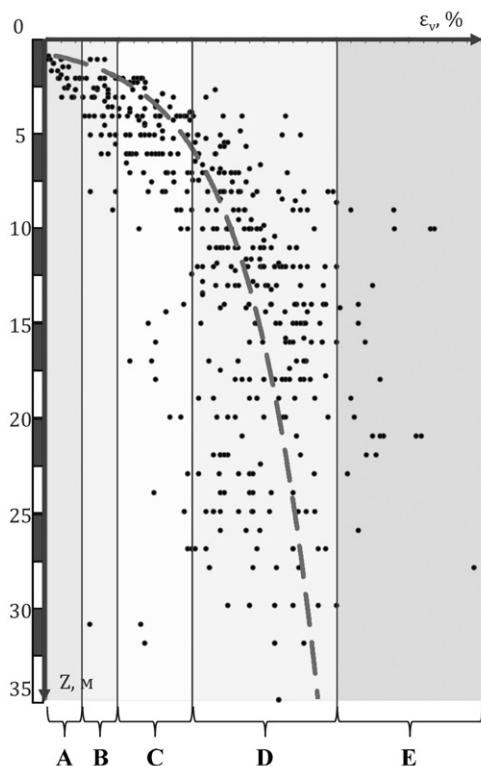


Рис. 4. Общая оценка качества образцов грунта по методу Терцаги в зависимости от глубины отбора (график составлен авторами)

Fig. 4. General assessment of soil sample quality using the Terzaghi method, classified by sampling depth (graph created by the authors)

образцов грунта, которое необходимо оценивать при камеральной обработке. В случае, если повышения качества не произойдет, следует поменять способ упаковки, транспортировки или отбора (возможно, и способ бурения). К примеру, для отбора образцов грунта использовать грунтоносы или двойное колонковое бурение; для упаковки образцов грунта – жесткие обоймы или гильзы, для транспортировки – грунтовые ящики с возможностью вертикальной транспортировки без ударных воздействий.

Также следует указать, что при проведении компрессионных испытаний отсутствует этап реконсолидации, поэтому для образцов грунта рекомендуется назначать на одну ступень нагружения больше, особенно для залегающих на глубине.

Проведение инженерно-геологических изысканий является сложным и ответственным процессом, ошибки, допущенные при производстве работ, переходят на следующие этапы строительства и отражаются на проектировании. К сожалению, на качество изысканий влияет и финансовая составляющая. Стремление заказчика к экономии может стать причиной формального подхода к данному этапу работ. Наличие данного фактора практически невозможно оценить стороннему специалисту, но следует принимать его во внимание.

Так как инженерно-геологические изыскания являются основой проектирования и строительства, залогом надежной, долговечной и безаварийной эксплуатации объектов строительства, данный процесс необходимо контролировать и качественно оценивать [15, 16]. В настоящее время оценка качества лабораторных образцов грунта нормативно не закреплена и не используется при подготовке инженерно-геологических отчетов. Как показало данное исследование, инженерно-геологические изыскания для гражданского строительства г. Тюмени и Тюменского района основываются на образцах грунта низкого качества, что существенно влияет на достоверность механических характеристик ИГЭ. Количественно оценить данное влияние без контрольных изысканий невозможно, но, по мнению различных исследователей [4, 6–8], достоверность характеристик снижается не менее чем на 20 %.



Вклад авторов. Мельников Р. В. – разработка и обоснование концепции исследования, анализ и обобщение результатов исследования, написание текста рукописи; Косинова З. А. – анализ и обобщение данных литературы, проведение экспериментального исследования, анализ и обобщение результатов исследования; Рачков Д. В. – работа с графическим материалом, редактирование и оформление текста рукописи.

Author contributions. Roman V. Melnikov, developed and justified the research concept, analyzed and summarized the research results, and wrote the manuscript; Zlata A. Kosinova, analyzed and summarized existing literature, conducted the experimental research, analyzed and summarized the research results; Dmitry V. Rachkov, worked with the graphic materials, edited, and formatted the manuscript.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Nicoletti J. V. M., Franchi M. R. A., Motomiya A. V. de A., Motomiya W. R., Molin J. P. Efficiency and quality of soil sampling according to a sampling tool. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2023;27(6):480–486. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/AGRIAMBI.V27N6P480-486>
2. Кропоткин М. П. Фоменко И. К. Инженерно-геологические изыскания в России сегодня: проблемы нормативной технической документации, экспертизы и контроля качества. *Инженерные изыскания*. 2021;15(5-6):8–23. <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2021-15-5-6-8-23>
3. Hiroyuki Tanaka, Pankaj Sharma, Takashi Tsuchida, Masanori Tanaka. Comparative Study on Sample Quality Using Several Types of Samplers. *Soils and Foundations*. 1996;36(2):57–68. https://doi.org/10.3208/SANDF.36.2_57
4. Тычина Н. И. Исследования влияния конструкций грунтоносов и способов их погружения на свойства грунтов в монолитах, отбираемых из буровых скважин: автореф. дис. канд. техн. наук. М.: ПНИИИС; 1971. 146 с.

5. Mabit L., Fulajtar E., Toloza A., Ochoa V., Maestroni B. Implementation and Optimization of Soil Sampling: Some Practical Guidance and Considerations. In: *Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management*. 2018. P. 47–63. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816155-5.00004-X>
6. Terzaghi K., Peck Ralph B., Mesri G. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons; 1996. 592 p. Available at: <https://archive.org/details/soil-mechanics-in-engineering-practice-1996-by-karl-terzaghi-ralph-b-peck-gholamreza-mesri/page/n1/mode/2up>.
7. Lunne T., Berre T., Strandvik S. Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay. *Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics*. 1997. P. 81–102. Available at: <https://trid.trb.org/View/476476>.
8. Васенин В. А. Статистическая оценка параметров нарушения природной структуры лабораторных образцов глинистых отложений при инженерно-геологических изысканиях на территории Санкт-Петербурга и окрестностей. *Инженерная геология*. 2018;XIII(6):48–65. <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-6-48-65>
9. Lacasse S., Berre T., Lefebvre G. Block sampling of sensitive clays. In: *11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (San Francisco)*. 1985. P. 887–892. Available at: <https://www.issmge.org/publications/publication/block-sampling-of-sensitive-clays>.
10. Юшков И. А., Глущенко Е. С. Разработка бурового устройства со съёмным керноприемником для бурения инженерно-геологических скважин. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-геологічна*. 2012;2(17):117–126. Режим доступа: http://ea.donntu.ru:8080/bitstream/123456789/29030/1/Npdntu_gg_2012_2_21.pdf.
11. Иовлев Г. А., Пискунов Н. С., Бахвалов Е. Д., Очкуров В. И. Методы оптимизации параметров нелинейных грунтовых моделей для инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2022;(7):148–163. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_7_0_148
12. Хачатрян В. А. Качество инженерно-геологических изысканий и особенности современных геотехнических расчетов. *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2016;(5-1):110–114. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26100659_95011880.pdf.
13. Пронозин Я. А., Малышкин А. П., Наумкина Ю. В., Епифанцев Л. Р., Мельников Р. В., Порошин О. С. и др. *Геотехника Тюмени. Наука и инновации*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2024. 198 с.
14. Присс О. Г., Димитрюк Ю. С. Контроль качества инженерных изысканий – гарантия безаварийной эксплуатации объекта. *Инженерный вестник Дона*. 2023;(1):516–532. Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8173>.
15. Макарычев К. В., Анжаурова К. С. Аварии зданий и сооружений вызванные ошибками при производстве инженерных изысканий. *Современные научные исследования и инновации*. 2020;(6). Режим доступа: <https://web.snauka.ru/issues/2020/06/92683>.
16. Степанов М. А., Мальцева Т. В., Краев А. Н., Бартоломей Л. А., Караулов А. М. Устранение прогрессирующего развития неравномерности осадок многоэтажного жилого дома на ленточных свайных фундаментах. *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2017;9(4). Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/62TVN417.pdf>.

References

1. Nicoletti J. V. M., Franchi M. R. A., Motomiya A. V. de A., Motomiya W. R., Molin J. P. Efficiency and quality of soil sampling according to a sampling tool. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2023;27(6):480–486. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/AGRIAMBI.V27N6P480-486>
2. Kropotkin M. P., Fomenko I. K. Engineering-geological surveys in Russia today: problems of regulatory technical documentation, expertise, and quality control. *Engineering Survey*. 2021;15(5-6):8–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.25296/1997-8650-2021-15-5-6-8-23>
3. Hiroyuki Tanaka, Pankaj Sharma, Takashi Tsuchida, Masanori Tanaka. Comparative Study on Sample Quality Using Several Types of Samplers. *Soils and Foundations*. 1996;36(2):57–68. https://doi.org/10.3208/SANDEF.36.2_57
4. Tychina N. I. *Investigations of the influence of designs of soil carriers and methods of their immersion on the properties of soils in monoliths, selected from boreholes*. Moscow: PNIIS; 1971. (In Russ.)
5. Mabit L., Fulajtar E., Toloza A., Ochoa V., Maestroni B. Implementation and Optimization of Soil Sampling: Some Practical Guidance and Considerations. In: *Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management*. 2018. P. 47–63. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816155-5.00004-X>
6. Terzaghi K., Peck Ralph B., Mesri G. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wiley & Sons; 1996. 592 p. Available at: <https://archive.org/details/soil-mechanics-in-engineering-practice-1996-by-karl-terzaghi-ralph-b-peck-gholamreza-mesri/page/n1/mode/2up>.

7. Lunne T., Berre T., Strandvik S. Sample disturbance effects in soft low plastic Norwegian clay. *Symposium on Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics*. 1997. P. 81–102. Available at: <https://trid.trb.org/View/476476>.
8. Vasenin V. A. Evaluation of disturbed parameters of the natural structure of the laboratory samples of clay deposits during engineering and geological surveys in Saint Petersburg territory and nearest areas. *Inzhenernaya Geologiya*. 2018;XIII(6):48–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2018-13-6-48-65>
9. Lacasse S., Berre T., Lefebvre G. Block sampling of sensitive clays. In: *11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (San Francisco)*. 1985. P. 887–892. Available at: <https://www.issmge.org/publications/publication/block-sampling-of-sensitive-clays>.
10. Yushkov I., Gluschenko Ye. Development of a drilling tool with a removable core-sampler for engineering-geological drilling. *Naukovi pratsi Donets'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Girmicho-geologichna*. 212;2(17):117–126. (In Ukr.) Available at: http://ea.donntu.ru:8080/bitstream/123456789/29030/1/Npdntu_gg_2012_2_21.pdf.
11. Iovlev G. A., Piscunov N. S., Bahvalov E. D., Ochukrov V. I. Optimizing nonlinear soil body models for geotechnical conditions of Saint-Petersburg. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2022;7:148–163. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_7_0_148
12. Khachatryan V. A. Quality of engineering-geological surveys and peculiarities of modern geotechnical calculations. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2016;(5-1):110–114. (In Russ.) Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26100659_95011880.pdf.
13. Pronozin Ya. A., Malyshkin A. P., Naumkina Yu. V., Epifantsev L. R., Mel'nikov R. V., Poroshin O. S. et al. *Tyumen Geotechnics. Science and innovations*. Tyumen: Industrial university of Tyumen; 2024. (In Russ.)
14. Priss O.G., Dimitryuk J. S. Quality control of engineering surveys is a guarantee of trouble – free operation of the facility. *Engineering Journal of Don*. 2023;(1):516–532. (In Russ.) Available at: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8173>.
15. Makarychev K.V., Anzhaurova K.S. Accidents of buildings and structures caused by errors in engineering surveys. *Electronic scientific & practical journal "Modern scientific researches and innovations"*. 2020;6. (In Russ.) Available at: <https://web.snauka.ru/issues/2020/06/92683>.
16. Stepanov M. A., Maltseva T. V., Kraev A. N., Bartholomew L. A., Karaulov A. M. Elimination of the progressive development of uneven sedimentation of a multi-storey residential house on tape pile foundations. *Naukovedenie*. 2017;9(4). (In Russ.) Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/62TVN417.pdf>.



Информация об авторах

Мельников Роман Викторович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительного производства, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, melnikovrv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8369-3206>

Косинова Злата Андреевна, магистрант кафедры строительного производства, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, karter.dekart@yandex.ru

Рачков Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры строительного производства, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, rachkovdv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7057-5676>

Information about the authors

Roman V. Melnikov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Construction Production, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, melnikovrv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8369-3206>

Zlata A. Kosinova, Graduate Student in the Department of Construction Production, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, karter.dekart@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7057-5676>

Dmitry V. Rachkov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Construction Production, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, rachkovdv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7057-5676>

Получена 16 июня 2024 г., одобрена 05 сентября 2024 г., принята к публикации 20 сентября 2024 г.

Received 16 June 2024, Approved 05 September 2024, Accepted for publication 20 September 2024



Температурный расчет грунтового основания в геотехнических программных комплексах

Д. С. Скворцов¹✉, А. И. Синицкий², Е. А. Жайсамбаев¹

¹ Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация

² Научный центр изучения Арктики, ул. Республики, 20, Салехард, 629008, Российская Федерация

✉ tmn.skvorcov@mail.ru



Аннотация. Важным этапом решения проблемы строительства мелкозаглубленных фундаментов на сезоннопромерзающих пучинистых грунтах является выполнение температурных расчетов грунтового основания. Для проведения температурных расчетов грунтов могут быть использованы программные комплексы Frost 3D и QFrost. В настоящем исследовании произведено сравнение результатов расчета величин промерзания грунтового основания опытной натурной площадки в программных комплексах Frost 3D и QFrost с данными геотехнического мониторинга. Натурная площадка расположена в г. Тюмени в районе пос. Березняки. Установлено, что использование программных комплексов Frost 3D и QFrost при моделировании грунтового основания позволяет определять величину промерзания с погрешностью до 3.5 %, что говорит о достоверности результатов и возможности использования данных программных комплексов для выполнения температурных расчетов.

Ключевые слова: сезоннопромерзающий грунт, температурный расчет, программный комплекс, основание зданий и сооружений, геокриология, фазовое состояние грунта, Frost 3D, QFrost

Благодарности. Статья подготовлена в рамках реализации государственного задания в сфере науки на выполнение научных проектов, реализуемых коллективами образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России, по проекту «Компьютерное моделирование механических, температурных и динамических процессов в слабых и многолетнемерзлых грунтах для обеспечения надежности грунтовых оснований инженерных сооружений» (№ FEWN-2024-0006).

Для цитирования: Скворцов Д. С., Синицкий А. И., Жайсамбаев Е. А. Температурный расчет грунтового основания в геотехнических программных комплексах. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(3):54–63. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-54-63>

Temperature calculation of soil foundation in geotechnical software packages

Dmitry S. Skvortsov¹✉, Anton I. Sinitsky², Erkn A. Zhajsambaev¹

¹ Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation

² Scientific Center for Arctic Studies, 20 Respubliki St., Salekhard, 629008, Russian Federation

✉ tmn.skvorcov@mail.ru

Abstract. A crucial step in addressing the challenge of constructing shallow foundations on seasonally freezing heaving soils is performing temperature calculations of the soil foundation. The software packages Frost 3D and QFrost can be used for conducting these temperature calculations. This research compared the results of calculating frost penetration depths of a test site's soil foundation using Frost 3D and QFrost with data from geotechnical monitoring. The test site was located in Tyumen, in the vicinity of the Bereznaki settlement. The study found that using Frost 3D and QFrost software packages for modeling the soil foundation allows for determining frost penetration depths with an error of up to 3.5 %, indicating the reliability of the results and the possibility of using these software packages for performing temperature calculations.

Keywords: seasonally freezing soil, temperature calculation, software package, building foundation, geocryology, soil phase state, Frost 3D, QFrost

Acknowledgements. The work was prepared as part of the state assignment for the implementation of scientific projects by teams of higher education institutions under the Ministry of Science and Higher Education of Russia; project No. FEWN-2024-0006 "Computer modeling of mechanical, temperature and dynamic processes in weak and permafrost soils to ensure the reliability of ground foundations for engineering structures".

For citation: Skvortsov D. S., Sinitsky A. I., Zhajsambaev E. A. Temperature calculation of soil foundation in geotechnical software packages. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(3):54–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-54-63>

1. Введение

Как показывает практика строительства, расположение фундаментов мелкого заложения ниже глубины промерзания и даже устройство фундаментов глубокого заложения (свайных) на пучинистых грунтах не всегда целесообразно [1, 2]. Изучение использования сезоннопромерзающего слоя грунта в качестве естественного основания под фундаменты мелкого заложения, а также разработка мероприятий, направленных на снижение сил и деформаций морозного пучения, являются актуальными задачами. Авторами предложено конструктивное решение в виде армированной по контуру теплоизоляционной подушки для малоэтажных зданий и вспомогательных хозяйственно-бытовых сооружений на ленточных фундаментах с предполагаемой нагрузкой от фундамента, которая чаще всего не превышает 80–160 кН на 1 погонный метр для малозаглубленных фундаментов [3]. Для исследования работы данного конструктивного решения (рис. 1) был проведен натурный эксперимент на площадке, расположенной в г. Тюмени в районе пос. Березняки.

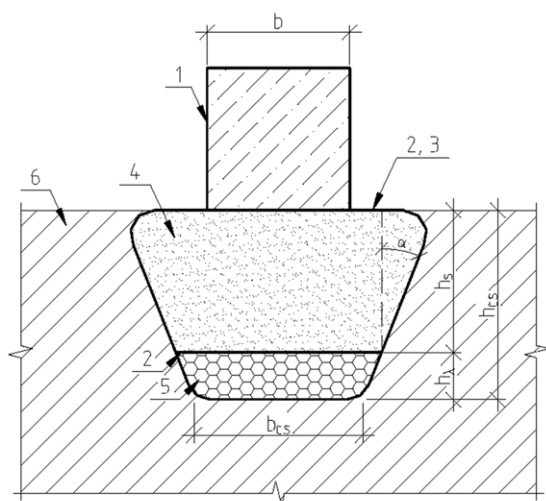


Рис. 1. Схема предложенного конструктивного решения: 1 – ленточный фундамент, 2 – тканый геосинтетик Геоспант ТН 50, 3 – водонепроницаемая пленка, 4 – песок, 5 – гранулированный сыпучий теплоизоляционный материал, 6 – грунтовое основание

Fig. 1. Scheme of the proposed construction solution: 1 – strip foundation, 2 – geotextile fabric Geospant TN 50, 3 – waterproof membrane, 4 – sand, 5 – granular, loose thermal insulation material, 6 – soil subgrade

В отличие от мерзлых грунтов, армированию талых грунтов для улучшения эксплуатационных характеристик посвящено немало исследований. Эффективность их армирования подтверждена на примере песчаных армированных массивов [4], песчаных армированных цилиндров [5] и свай [6], при армировании песчаных подушек в талых грунтах [7–9], при армировании грунтов вертикальными и горизонтальными элементами [10, 11], при устройстве различных армированных грунтовых сооружений [12].

Неотъемлемой частью решения задачи изучения сезоннопромерзающего слоя грунта в качестве естественного основания под фундаменты мелкого заложения является выполнение температурных расчетов. Данные расчеты необходимы для определения величины промерзания грунтового основания и последующего подбора параметров конструктивного решения – толщины и ширины подушки, величины заполнения подушки утеплителем. Расчеты проводятся в программных комплексах.

Для выполнения достоверного моделирования температурного режима грунтового основания с конструктивным решением требовалось предварительно произвести верификацию расчетной модели, а именно произвести моделирование грунтового основания без конструктивного решения (естественные грунтовые условия), и сравнить полученные данные расчетов температуры с фактическими данными мониторинга температуры грунтов площадки. В статье представлен температурный расчет естественного грунтового основания площадки, на которой проводился натурный эксперимент, полученные результаты сравнивались с фактическими данными мониторинга температуры грунтового основания площадки.

2. Материалы и методы

Объектом исследования являлось грунтовое основание площадки, представленное в виде сезоннопромерзающего пучинистого глинистого грунта без конструктивного решения. Предметом исследования являлся температурный режим рассматриваемого грунтового основания без конструктивного решения.

Цель работы заключалась в верификации расчетной температурной модели грунтового основания без конструктивного решения, реализованной в программных комплексах Frost 3D, QFrost, с данными мониторинга температуры грунтового основания в зимний период времени.

Температурные расчеты грунтового основания сводятся к решению задачи Стефана, связанной с кондуктивным теплообменом с наличием фазовых переходов [13–16]. Для решения задачи Стефана давно используется и хорошо себя зарекомендовала двухслойная явная схема с применением метода балансов и с энтальпийной формулировкой задачи. Алгоритм расчета по такому методу впервые был предложен Л. Н. Хрустальевым и реализован сотрудниками кафедры геофизиологии геологического факультета МГУ в пакете программ «Тепло» более 20 лет назад. На текущий момент температурные расчеты грунтов можно проводить в таких современных программных комплексах, как Frost 3D, QFrost, Termoground (модуль FemModels), Борея 3D, Midas FEA NX и др. Использование перечисленных программных комплексов отражено в многочисленных работах по моделированию грунтовых оснований [17–20].

Порядок работы в программах заключается в задании расчетной области, грунтового массива и строительных конструкций, разбиении модели на конечные элементы, задании начальных и граничных условий, задании характеристик грунтов и материалов, проведении расчета во времени и анализе получаемых данных в виде распределения полей температур.

Программный комплекс Frost 3D позволяет производить моделирование теплового режима грунтового массива совместно со строительными конструкциями и сооружениями (трубопроводов с учетом переноса тепла, добывающих скважин, гидротехнических сооружений), а также производить расчет термостабилизирующих устройств. Программный комплекс Frost 3D сертифицирован в Российской Федерации и соответствует стандартам. Общий вид расчетной схемы температурного расчета представлен на рис. 2.

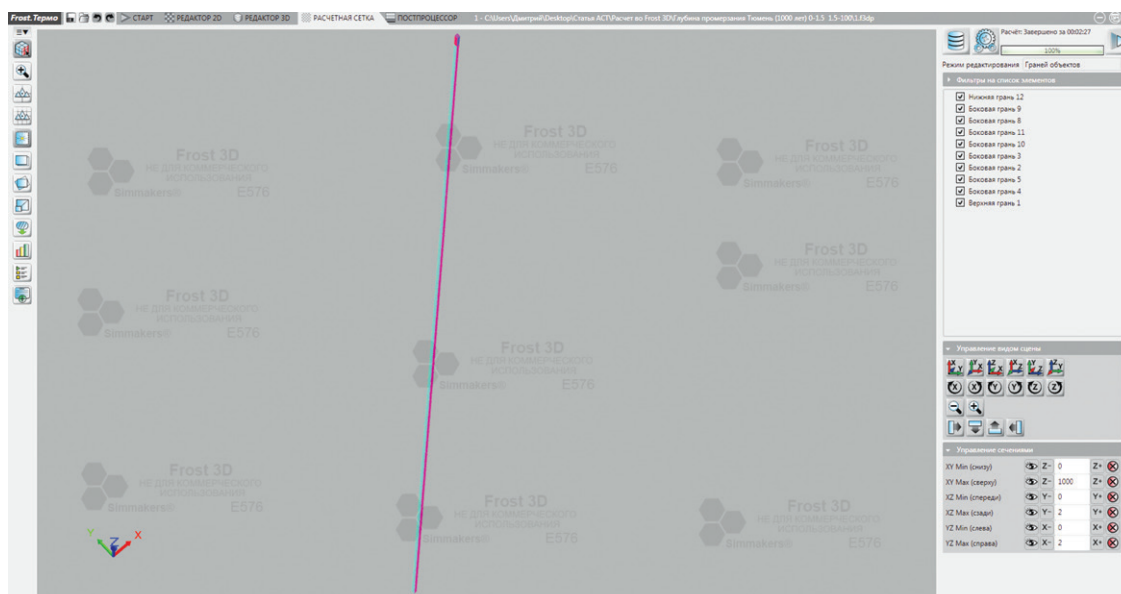


Рис. 2. Общий вид расчетной схемы температурного расчета в программе Frost 3D
Fig. 2. General view of the temperature calculation scheme in Frost 3D software

Программа позволяет выполнять расчеты в 2D и 3D с учетом неровности рельефа местности путем подгрузки геометрии пространства из геодезических программных комплексов, расчет фильтрации грунтовых вод, строить графики зависимостей изменения температуры и содержания незамерзшей влаги во времени, получать результаты расчетов в виде динамических изображений и графиков. Программа адаптирована для расчетов на высокопроизводительных компьютерах с использованием многоядерных конфигураций центрального процессора, позволяющихкратно увеличивать производительность расчетов в многопоточном режиме. Использование высокопроизводительных компьютеров позволяет решать пространственные задачи (до нескольких квадратных километров). Процесс задания расчетной схемы в программе сопряжен с большими трудозатратами по времени.

Данная программа активно используется проектными организациями, особенно в нефтегазовой отрасли, так как значительная часть месторождений находится в районах распространения многолетнемерзлых грунтов. Перечисленные преимущества позволили решить полный комплекс инженерно-строительных задач для различных геологических условий площадки.

В программном комплексе QFrost моделирование производится в 2D-постановке с использованием двухслойной явной разностной схемы с применением метода балансов и с энтальпийной формулировкой задачи. QFrost является свободным программным обеспечением и распространяется на условиях лицензии GNU GPL (стандартная общественная лицензия). Общий вид расчетной схемы температурного расчета представлен на рис. 3.

По сравнению с Frost 3D, процесс задания расчетной схемы в программном комплексе QFrost проще и занимает меньше времени. В результате расчетов программа выдает распределение температур в массиве расчетной области и количество незамерзшей воды. В программе возможен расчет массивов модели с дискретностью 1 см по геометрии. Для расчета достаточно ввода основных теплофизических характеристик (теплопроводности λ , теплоемкости C для талого и мерзлого состояния, температуры начала замерзания T_{bf} , теплоты фазового перехода Q_{ϕ}), что позволяет производить расчеты при наличии результатов стандартных инженерно-геологических изысканий. Отличительной особенностью программы является возможность задания кривой замерзания воды в грунте при

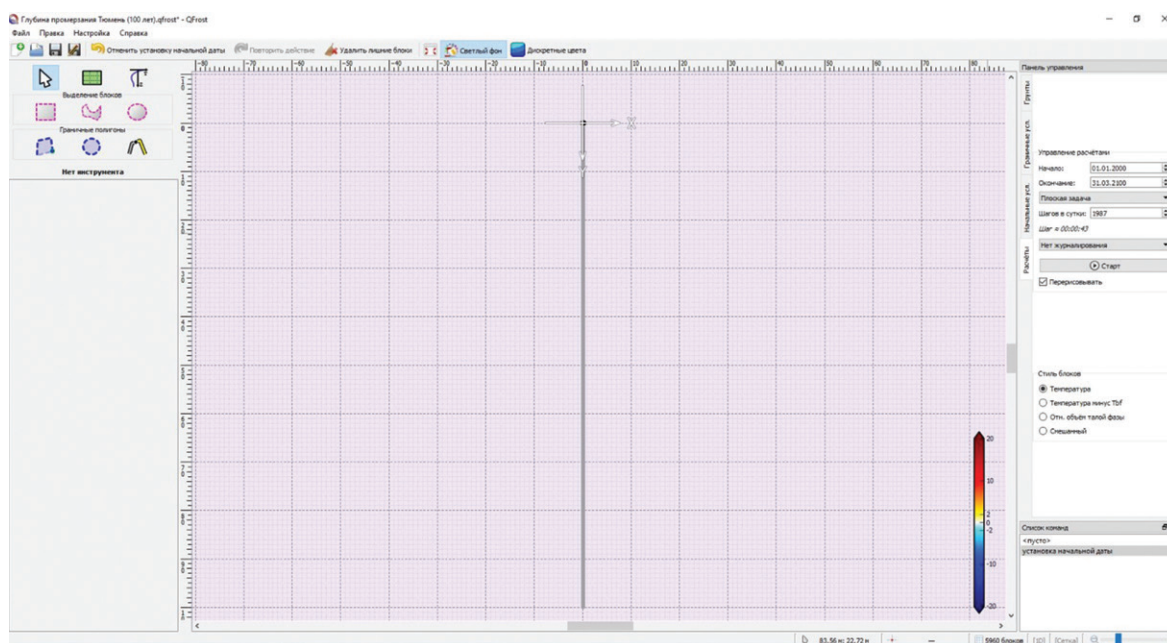


Рис. 3. Общий вид расчетной схемы температурного расчета в программе QFrost
Fig. 3. General view of the temperature calculation scheme in QFrost software

различных температурах. Программа не адаптирована под высокопроизводительные компьютеры, использующие многоядерные конфигурации центрального процессора. Расчеты выполняются в один поток, скорость выполнения расчетов напрямую зависит от производительности используемой архитектуры центрального процессора и его частоты.

По причине ограниченного функционала (отсутствует возможность создания моделей в 3D и, как следствие, невозможно произвести расчет линейных объектов с разными инженерно-геологическими и граничными условиями на различных участках объекта по длине, а также отсутствует возможность моделирования термостабилизаторов) данная программа не нашла широкого применения в проектных институтах, однако используется для проведения расчетов без учета фильтрации влаги в грунте, а также научных расчетов.

3. Результаты и обсуждение

Температурный расчет грунтового основания

Площадка, где проводился натурный эксперимент, располагается в г. Тюмени в районе пос. Березняки. Физико-механические характеристики ИГЭ (инженерно-геологических элементов), определенные по результатам инженерно-геологических изысканий, представлены в таблице 1.

Грунтовое основание в программных комплексах моделировалось в виде 2D-стержня с размерами $b \times h = 0.2 \times 100.0$ м, состоящего из элементов кубов с размером грани 0.01 м при начальной температуре $+10$ °C. Расчет величины промерзания грунтового основания производился на 100 лет. По верхней грани задавалось граничное условие I рода, по боковым и нижней граням граничные условия «без теплопотока». Граничное условие I рода моделирует среднемесячную температуру по поверхности грунта с учетом солнечной радиации и инфильтрации осадков [21], используемые в расчете среднемесячные значения температур представлены в таблице 2. Теплофизические характеристики грунтового основания представлены в таблице 3, данные для задания кривой незамерзшей воды – в таблице 4.

Таблица 1 / Table 1

Физико-механические характеристики ИГЭ-1, ИГЭ-2
Physical and mechanical properties of engineering geotechnical unit 1 and engineering geotechnical unit 2

Показатель	Значения	
	ИГЭ-1	ИГЭ-2
Глубина заложения, м	0.0–1.5	1.5–2.5
Плотность грунта ρ , г/см ³	1.96	1.87
Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	1.61	1.37
Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	2.73	2.71
Коэффициент пористости e , д. ед.	0.69	0.98
Число пластичности I_p , д. ед.	14.62	14.87
Показатель текучести I_L , д. ед.	0.16	0.56
Влажность грунта w , %	21.6	36.4
Влажность на границе пластичности w_p , %	19.2	28.2
Влажность на границе текучести w_L , %	33.9	43.0
Степень водонасыщения S_r , д. ед.	0.85	1.01
Степень морозной пучинистости $\varepsilon_{\text{мр}}$, %	3.4	4.6
Модуль деформации E , МПа	7.0	4.9
Удельное сцепление, кПа	240	80
Угол внутреннего трения, град.	39	54

Таблица 2 / Table 2

Граничное условие I рода по поверхности грунта
Boundary condition of the first kind at the soil surface

Месяц	Температура, °C	Месяц	Температура, °C	Месяц	Температура, °C
Январь	–13.00	Май	+16.50	Сентябрь	+16.44
Февраль	–10.91	Июнь	+25.81	Октябрь	+5.99
Март	–2.53	Июль	+30.03	Ноябрь	–3.48
Апрель	+8.13	Август	+24.11	Декабрь	–9.07

Таблица 3 / Table 3

Теплофизические характеристики грунта моделируемого основания
Thermal properties of the simulated foundation soil

Вид грунта	Теплопроводность мерзлого грунта λ_f , Вт/(м·°C)	Теплопроводность талого грунта $\lambda_{\text{тг}}$, Вт/(м·°C)	Теплоемкость мерзлого грунта C_f , кДж/(м ³ ·°C)	Теплоемкость талого грунта $C_{\text{тг}}$, кДж/(м ³ ·°C)	Объемная теплота таяния L_v , МДж/м ³
ИГЭ-1	1.593	1.358	2770.862	2912.320	–*
ИГЭ-2	1.791	1.549	2911.320	3274.040	–*

* Примечание: задавались данные функции количества незамерзшей воды

Таблица 4 / Table 4

Данные для задания кривой незамерзшей воды
Data for defining the unfrozen water curve

ИГЭ-1	Температура грунта T , °C	–0.3	–0.5	–1.0	–2.0	–3.0	–4.0	–6.0	–8.0	–10.0	–15.0
	Влажность грунта за счет незамерзшей воды w_w , %	19.7	18.5	16.1	13.7	12.7	12.1	11.5	11.3	11.1	10.7
ИГЭ-2	Температура грунта T , °C	–0.3	–0.5	–1.0	–2.0	–3.0	–4.0	–6.0	–8.0	–10.0	–15.0
	Влажность грунта за счет незамерзшей воды w_w , %	19.1	17.9	15.6	13.3	12.3	11.7	11.1	10.9	10.7	10.3

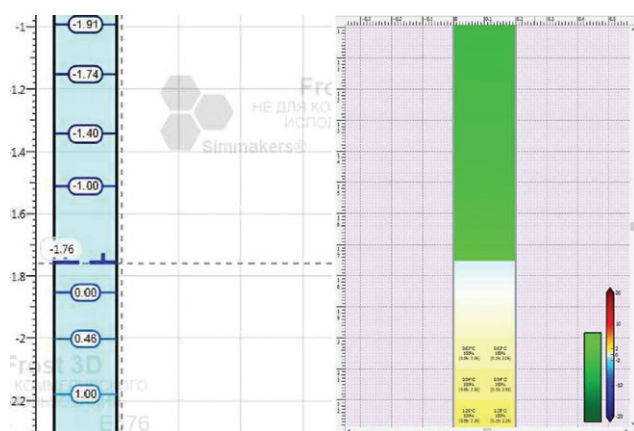


Рис. 4. Результаты расчета глубины промерзания
грунтового основания в Frost 3D (слева)
и QFrost (справа)

Fig. 4. Frost penetration depth calculation results in Frost
3D (left) and QFrost (right)

Результаты расчета промерзания грунтового основания в программных комплексах QFrost и Frost 3D представлены на рис. 4.

В результате расчетов глубина промерзания грунтового основания составила 1.76 и 1.75 м соответственно для программных комплексов Frost 3D и QFrost. Полученная разница глубины промерзания обусловлена погрешностью выполняемых расчетов. По данным мониторинга температур грунтового основания, величина промерзания в период зимы 2023–2024 г. составила 1.7 м, разница полученных расчетных значений по сравнению с данными геотехнического мониторинга составила 3.5 %, что позволяет говорить о достоверности моделирования рассмотренного грунтового основания в программных комплексах Frost 3D и QFrost.

4. Заключение

1. Использование программных комплексов Frost 3D и QFrost при моделировании грунтового основания позволяет определять величину промерзания с одинаковой погрешностью до 3.5 %, что говорит о достоверности получаемых при моделировании грунтового основания результатов.

2. Температурные расчеты грунтовых оснований в 2D-постановке рациональнее проводить в программном комплексе QFrost, для выполнения расчетов в котором требуется меньший по сравнению с Frost 3D объем данных.

3. Выполнение температурных расчетов грунтовых оснований в 3D-постановке в программном комплексе QFrost не реализовано. Для их выполнения необходимо использовать программный комплекс Frost 3D, позволяющий моделировать грунтовые основания любой сложности в 2D- и 3D-постановке, несмотря на большой объем данных, требуемых для выполнения расчетов.

4. Выбор программного комплекса для выполнения моделирования грунтовых оснований должен основываться на параметрах объекта моделирования (геометрии области моделирования, конструкции объекта моделирования, количестве объектов моделирования и др.). При возможности достоверного моделирования грунтового основания в 2D-постановке рациональнее использовать программный комплекс QFrost. При отсутствии возможности достоверного моделирования в 2D-постановке, например, при моделировании термостабилизации грунтов, требуется использовать программные комплексы с возможностью выполнения расчета в 3D-постановке, одним из которых является Frost 3D.

Вклад авторов. Сковрцов Д. С., Синицкий А. И., Жайсамбаев Е. А. – разработка концепции исследования, Сковрцов Д. С. – проведение численного моделирования, анализ и обобщение результатов, работа с текстом рукописи.

Author contributions. Dmitry S. Skvortsov, Anton I. Sinitsky, and Erkn A. Zhajsambaev developed the research concept; Dmitry S. Skvortsov conducted numerical modeling, analyzed and summarized the results, and worked on the manuscript.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Список литературы

1. Марахтанов В. П. Криогенные деформации свайного основания трубопроводов. *Трубопроводный транспорт: теория и практика*. 2013;(5):18–22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23502631>.
2. Пазиняк В. В., Кутвицкая Н. Б., Минкин М. А. Экспериментальные исследования устойчивости трубопроводов на крупномасштабной грунтовой модели. *Криосфера земли*. 2006;X(1):51–55. Режим доступа: https://earthcryosphere.ru/archive/2006_1/07.Pazinyak_1_2006.pdf.
3. *Рекомендации по проектированию и расчету малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах* [Ордена Трудового Красного знамени НИИОСП им. Н.М. Герсеевича Госстроя СССР]. Москва: Ордена Трудового Красного знамени НИИОСП им. Н. М. Герсеевича Госстроя СССР; 1985. 61 с. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200074992>.
4. Бай В. Ф., Мальцева Т. В., Набоков А. В., Воронцов В. В., Минаева А. В. Теоретические предпосылки расчета песчаных армированных массивов в слабых глинистых грунтах. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. 2011;(1):102–106. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16452831>.
5. Мальцев Л. Е., Мальцева Т. В., Минаева А. В., Набоков А. В. Определение перемещений армирующего элемента песчаного цилиндра. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2012;(2):234–238. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17779954>.
6. Мальцева Т. В., Набоков А. В., Черных А. В. Применение песчаных армированных свай при строительстве малоэтажных зданий. *Вестник Тюменского государственного архитектурно-строительного университета*. 2015;(2):34–39. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24389410>.
7. Бай В. Ф., Краев А. Н. Исследование работы песчаной армированной подушки с криволинейной подшовой в условиях слабых грунтов. *Вестник гражданских инженеров*. 2014;(3):107–110. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21813073>.
8. Тажигулов А. А. *Песчаные подушки с геотекстилем на слабых водонасыщенных глинистых грунтах: автореф. дис. канд. техн. наук*. Москва: Московский государственный строительный университет; 1993. 20 с.
9. Татьянникова Д. А., Пономарев А. Б. Модельные штамповые испытания по исследованию работы армированных фундаментных подушек под нагрузкой. В сб.: *Инженерно-геотехнические изыскания, проектирование и строительство оснований, фундаментов и подземных сооружений*. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; 2017. С. 219–223.
10. Мирсаяпов И. Т., Шарафутдинов Р. А. Несущая способность и осадки грунтового основания армированного вертикальными и горизонтальными элементами. *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016;(2):111–116. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26455345_84235665.pdf.
11. Гришина А. С. Мащенко А. В., Пономарев А. Б. Результаты исследований прочностных характеристик глинистых грунтов, армированных различными геосинтетическими материалами. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика*. 2015;(4):9–21. Режим доступа: https://vestnik.pstu.ru/urbanistic/archives/?id=&folder_id=5274.
12. Джоунс К. Д. *Сооружения из армированного грунта*. Мельник В. Г. (ред.). Москва: Стройиздат; 1989. 268 с.
13. Хрусталева Л. Н. *Основы геотехники в криолитозоне*. Москва: ИНФРА-М; 2019. 543 с. https://doi.org/10.12737/textbook_5c6142a7282862.58234241
14. Павлов А. Р., Матвеева М. В. Итерационная разностная схема для задачи тепломассопереноса при промерзании грунтов. *Вестник Самарского государственного университета. Серия естественные науки*. 2007;(6):242–252. Режим доступа: <http://vestniksamgu.ssau.ru/est/2007web6/math/2007560310.pdf>.
15. Кроник Я. А., Демин И. И. *Расчеты температурных полей и напряженно-деформированного состояния грунтовых сооружений методом конечных элементов*. Москва: МИСИ; 1982. 102 с.
16. Роман Л. Т. *Механика мерзлых грунтов*. Москва: Наука/Интерпериодика; 2002. 425 с.
17. Макаров А. С., Краев А. Н., Твердохлеб С. А., Шанхоев З. Ш. Результаты экспериментального исследования и численного моделирования плоскопараллельного промораживания образца грунта в экспериментальном стенде. *Интернет-журнал «Транспортные сооружения»*. 2017;4(4):09TS417. <http://dx.doi.org/10.15862/09TS417>
18. Сахаров И. И., Парамонов В. Н., Парамонов М. В., Игошин М. Е. Деформации морозного пучения и оттаивания грунтов при работе и повреждении сезонно-охлаждающих устройств. *Промышленное и гражданское строительство*. 2017;(12):23–30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32278886>.

19. Кудрявцев С. А., Сахаров И. И., Парамонов В. Н. *Промерзание и оттаивание грунтов*. Санкт-Петербург: Георекострукция; 2014. 247 с. Режим доступа: <http://geo-bookstore.ru/files/KudrSahPar.pdf>.
20. Мельников А. В. Влияние теплоизоляции фундаментов на изменение температурного режима сезонно-промерзающего основания в районе глубокого сезонного промерзания. *Вестник гражданских инженеров*. 2012;(6):77–83. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20153977>.
21. Осокин Н. И., Сосновский А. В., Накалов П. Р., Ненашев С. В. Термическое сопротивление снежного покрова и его влияние на промерзание грунта. *Лед и Снег*. 2013;(1):93–103. Режим доступа: <https://ice-snow.igras.ru/jour/article/view/89>.

References

1. Marahtanov V. P. Pipelines pile foundation cryogenic deformations. *Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika*. 2013;5:18–22. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23502631>.
2. Pazinyak V. V., Kutvitskaya N. B., Minkin M. A. The experimental researches on pipeline stability for large-scale soil model. *Earth's Cryosphere*. 2006;X(1):51–55. (In Russ.) Available at: https://earthcryosphere.ru/archive/2006_1/07.Pazinyak_1_2006.pdf.
3. *Recommendations for the design and calculation of shallow foundations on powdery soils* [Order of the Red Banner of Labor N. M. Gersevanov NIIOSP of the USSR Gosstroy]. Moscow: Order of the Red Banner of Labor N. M. Gersevanov NIIOSP of the USSR Gosstroy; 1985. (In Russ.) Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200074992>.
4. Baj V. F., Mal'tseva T. V., Nabokov A. V., Vorontsov V. V., Minaeva A. V. Theoretical prerequisites for the calculation of sand reinforced massifs in weak clay soils. *Oil and Gas Studies*. 2011;(1):102–106. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16452831>.
5. Maltsev L. E., Maltseva T. V., Minayeva A. V., Nabokov A. V. Definition of displacement reinforcing element sandy cylinder. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2012;(2):234–238. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17779954>.
6. Maltseva T. V., Nabokov A. V., Chernykh A. V. Reinforced sand piles for low-rise buildings. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2015;(2):34–39. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24389410>.
7. Bay V. F., Kraev A. N. Research of performance of the sand pad reinforced on the contour with the curvilinear sole in the conditions of weak clay soil. *Bulletin of Civil Engineers*. 2014;(3):107–110. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21813073>.
8. Tazhigulov A. A. *Sandy cushions with geotextile on weak water-saturated clay soils*. Moscow: Moscow State University of Civil Engineering; 1993. (In Russ.)
9. Tat'yannikova D. A., Ponomarev A. B. Model die tests to investigate the performance of reinforced foundation pads under load. In: *Inzhenerno-geotekhnicheskie izyskaniya, proektirovanie i stroitel'stvo osnovaniy, fundamentov i podzemnykh sooruzheniy*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2017. P. 219–223. (In Russ.)
10. Mirsayapov I. T., Sharafutdinov R. A. Bearing capacity and precipitation of soil foundations reinforced by vertical and horizontal elements. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2016;(2):111–116. (In Russ.) Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_26455345_84235665.pdf.
11. Grishina A., Mashchenko A., Ponomarev A. Results of strength research of clay soil reinforced by different geosynthetics. *PNRPU Bulletin. Urban development*. 2015;(4):9–21. (In Russ.) Available at: https://vestnik.pstu.ru/urbanistic/archives/?id=&folder_id=5274.
12. Jones C. J. F. P. *Earth reinforcement and soil structures*. Oxford: Butterworth-Heinemann; 1988. Available at: https://www.academia.edu/40325571/Earth_Reinforcement_and_Soil_Structures.
13. Khrustalev L. *Fundamentals of geotechnics in the cryolithozone*. Moscow: INFRA-M; 2019. https://doi.org/10.12737/textbook_5c6142a7282862.58234241
14. Pavlov A. R., Matveeva M. V. Iterative finite-difference scheme for the problem of heat and mass transfer in freezing grounds. *Vestnik of Samara University/ Natural Science Series*. 2007;(6):242–252. (In Russ.) Available at: <http://vestniksamgu.ssau.ru/est/2007web6/math/2007560310.pdf>.
15. Kronik Ya. A., Demin I. I. *Calculations of temperature fields and stress-strain state of soil structures by finite element method*. Moscow: Moscow Engineering and Construction Institute; 1982. (In Russ.)
16. Roman L. T. *Mechanics of frozen soils*. Moscow: Nauka/Interperiodika; 2002. (In Russ.)

17. Makarov A. S., Kraev A. N., Tverdokhlebov S. A., Shankhoyev Z. Sh. Results of experimental research and numerical modeling of plane-parallel freezing of a soil sample in an experimental test-bed. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2017;4(4):09TS417. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.15862/09TS417>
18. Sakharov I. I., Paramonov V. N., Paramonov M. V., Igoshin M. E. Deformations of frost heave and thawing of soils during operation and damage of seasonal cooling devices. *Industrial and Civil Engineering*. 2017;(12):23–30. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32278886>.
19. Kudryavtsev S. A., Sakharov I. I., Paramonov V. N. *Freezing and thawing of soils*. Saint Petersburg: Georekonstruktsiya; 2014. (In Russ.) Available at: <http://geo-bookstore.ru/files/KudrSahPar.pdf>.
20. Mel'nikov A. V. Influence of foundation heat insulation on temperature conditions change of the seasonally frozen soil base in the area of deep seasonal freezing. *Bulletin of Civil Engineers*. 2012;(6):77–83. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20153977>.
21. Osokin N. I., Sosnovsky A. V., Nakalov P. R., Nenashev S. V. Thermal resistance of snow cover and its effect on the ground freezing. *Ice and Snow*. 2013;53(1):93–103. (In Russ.) <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2013-1-93-103>



Информация об авторах

Скворцов Дмитрий Сергеевич, ассистент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, tmn.skvorcov@mail.ru

Синицкий Антон Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Научный центр изучения Арктики, Салехард, Российская Федерация, AlSinitskii@yanao.ru

Жайсамбаев Еркн Аскерович, аспирант кафедры строительного производства, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, zhajsambaeva@tyuiu.ru

Information about the authors

Dmitry S. Skvortsov, Assistant in the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, tmn.skvorcov@mail.ru

Anton I. Sinitskii, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Scientific Center for Arctic Studies, Salekhard, Russian Federation, AlSinitskii@yanao.ru

Erkn A. Zhajsambaev, Postgraduate Student in the Department of Construction Production, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, zhajsambaeva@tyuiu.ru

Получена 17 июня 2024 г., одобрена 30 августа 2024 г., принята к публикации 20 сентября 2024 г.

Received 17 June 2024, Approved 30 August 2024, Accepted for publication 20 September 2024



Влияние кислотной активации на извлечение ионов марганца из природных и сточных промышленных вод

Л. А. Пимнева✉, А. А. Загорская, Е. А. Жеребчук
Тюменский индустриальный университет, ул. Луначарского, 2, Тюмень, 625001,
Российская Федерация

✉ pimnevala@tyuiu.ru



Аннотация. Увеличение концентрации марганца характерно не только для пресной воды, но и для сточных вод. Металл попадает в стоки в результате деятельности промышленных предприятий: обогащения марганцевых окисленных руд, производства гальванических элементов и органического синтеза. Соединения марганца являются сильными ядами с выраженными кумулятивными эффектами, которые ведут к блокированию ферментов, угнетению функции щитовидной железы и накапливаются в печени и почках. Для очистки природных и производственных сточных вод от марганца используют сорбционный метод, который позволяет удалить загрязнения до любой остаточной концентрации. Однако для снижения последствий антропогенного воздействия на окружающую среду в условиях роста объемов водопотребления требуется применение новых эффективных материалов. В настоящее время для очистки природной и сточных вод промышленных предприятий стали использовать модифицированные природные глинистые материалы. Авторы исследовали извлечение ионов марганца из водных растворов с помощью модифицированного диатомита. Обработку диатомита осуществляли раствором соляной кислоты для повышения количества поверхностных адсорбционных центров. Химическая модификация глинистых сорбентов увеличивает поровое пространство и удельную поверхность, что способствует возрастанию сорбционной емкости. Полученные экспериментальные результаты показывают увеличение обменной емкости модифицированной Н-формы: 1.45 мг/г в сравнении с нативной формой – 0.63 мг/г. Рассчитаны значения предельной величины сорбции: для нативной формы – 0.58 мг/г, для Н-формы – 1.19 мг/г. Определены оптимальные условия сорбционного извлечения ионов марганца: 15.7 % для нативной формы и 63.2 % для модифицированной Н-формы.

Ключевые слова: сорбция, природные сорбенты, модификация соляной кислотой, модифицированный диатомит, ионы марганца, модель адсорбции Ленгмюра, изотерма адсорбции Фрейндлиха, модель адсорбции Темкина

Для цитирования: Пимнева Л. А., Загорская А. А., Жеребчук Е. А. Влияние кислотной активации на извлечение ионов марганца из природных и сточных промышленных вод. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(3):64–73. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-64-73>

The impact of acid activation on manganese ion extraction from natural water and industrial wastewater

Lyudmila A. Pimneva✉, Alla A. Zagorskaya, Elizaveta A. Zherebchuk
Industrial University of Tyumen, 2 Lunacharskogo St., Tyumen, 625001, Russian Federation

✉ pimnevala@tyuiu.ru



Abstract. Increased manganese concentration is characteristic not only of fresh water, but also of wastewater. Metal enters wastewater as a result of industrial activities such as manganese oxide ore beneficiation, galvanic cell production, and organic synthesis. Manganese compounds are strong poisons with pronounced cumulative effects. The effect leads to enzyme blockage, thyroid gland suppression, and accumulation in the liver and kidneys. Sorption method is used to remove manganese from natural water and industrial wastewater. This method can remove contaminants to any desired residual concentration. However, to mitigate the consequences of anthropogenic impact on the environment in the context of growing water consumption, the use of new, efficient materials is required. Currently, modified natural clay materials are being used for the purification of natural water and industrial wastewater. The authors investigated the extraction of manganese ions from aqueous solutions using modified diatomite. The diatomite was treated with a hydrochloric acid solution to increase the number of surface adsorption sites. Chemical modification of clay sorbents increases the pore space and specific surface area, which leads to an increase in sorption capacity. The experimental results showed an increase in the exchange capacity of the modified H-form: 1.45 mg/g compared to the native form – 0.63 mg/g. The values of maximum sorption capacity were 0.58 mg/g for the native form and 1.19 mg/g for the H-form. The optimal conditions for the sorption extraction of manganese ions were determined: 15.7 % for the native form and 63.2 % for the modified H-form.

Keywords: sorption, natural sorbents, modification with hydrochloric acid, modified diatomite, manganese ions, Langmuir adsorption model, Freundlich adsorption isotherm, Temkin adsorption model

For citation: Pimneva L. A., Zagorskaya A. A., Zherebchuk E. A. The impact of acid activation on manganese ion extraction from natural water and industrial wastewater. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(3):64–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-64-73>



1. Введение

Ежегодно весенние паводки обостряют экологическую проблему загрязнения водных объектов, особенно в регионах с развитой системой промышленных предприятий. В Тюменской области постоянно контролируется содержание ионов тяжелых металлов в водных источниках¹. Река Тура имеет большое значение для экономики Тюмени и региона в целом. Забор воды идет на хозяйственно-питьевые нужды многочисленных населенных пунктов, расположенных вдоль реки, а также на производственные цели промышленных предприятий. В 2022 г. на юге Тюменской области зарегистрировано 608 источников питьевого централизованного водоснабжения, из них поверхностных в бассейне реки Тура – 94.

Анализируя данные рис. 1, можно отметить, что забор воды в 2022 г. по сравнению с 2021 г. вырос на 7.8 %, а сброс сточных вод увеличился на 6.5 %. Из сбрасываемых промышленных и бытовых стоков 89.815 млн м³ являются загрязненными или недостаточно очищенными, что на 1.4 % выше уровня 2021 г.

Увеличение объемов отводимых промышленных и бытовых сточных вод на фоне снижения среднегодового уровня воды привело к загрязнению воды и негативному воздействию на экосистему реки. По результатам мониторинга², в 12 створах произошло повышение уровня загрязненности воды. Доминирующими поллютантами для бассейна Туры стали вещества, обуславливающие наличие ХПК и БПК₅, ионов аммония, соединений железа, меди, марганца, нефтепродуктов и фенолов.

¹ Доклад об экологической ситуации в Тюменской области в 2022 г. Режим доступа: <https://tinyurl.com/3u74cwea> (дата обращения: 22.04.2024).

² Экспертиза водного химического риска Тюмени и Тюменского района. Режим доступа: https://tyumen.rosvodokanal.ru/about/open_info/svedeniya-o-kachestve/ (дата обращения: 25.04.2024).

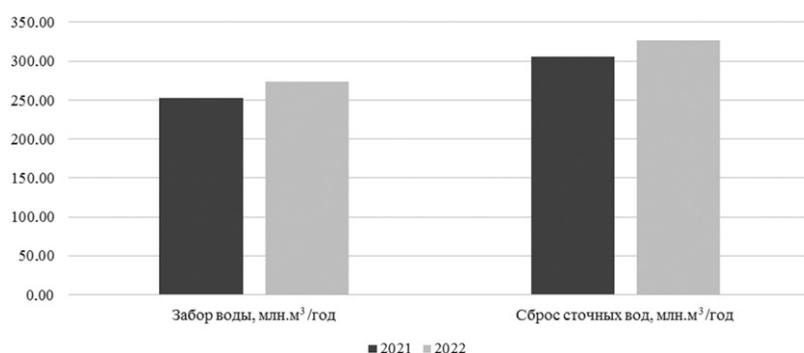


Рис. 1. Использование воды р. Туры для водохозяйственных нужд
(график составлен в соответствии с данными¹)

Fig. 1. Use of the Tura River water for water management needs (the basis for the diagram were data¹)

Уровни загрязнения по отдельным загрязняющим веществам в створе № 1 (на 7.4 км выше г. Тюмени) приведены на рис. 2.

Общее накопление загрязняющих веществ в окружающей среде в первую очередь сказывается на качестве питьевой воды. При исследовании в 2022 г. питьевых источников водоснабжения было установлено, что 12 % проб воды не соответствует гигиеническим нормативам по содержанию марганца. В сетях водоснабжения гигиеническим нормативам содержания марганца не соответствует 10.7 % проб, наибольший процент неудовлетворительных проб зарегистрирован в г. Тюмени, Тюменском, Ялуторовском районах и Заводоуковском городском округе³.

Марганец входит в список обязательно определяемых показателей качества воды⁴, поскольку относится ко второму классу опасности. Предельная концентрация марганца в питьевой воде должна составлять не более 0.1 мг/дм³.

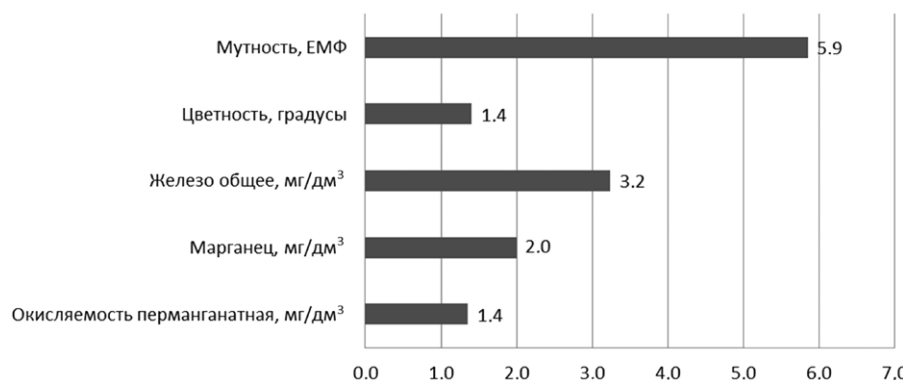


Рис. 2. Превышение санитарно-гигиенических нормативов качества воды в створе № 1, 2022 г.
(график составлен авторами)

Fig. 2. Exceedance of sanitary and hygienic water quality standards at the intake point No. 1, 2022
(graph obtained by the authors)

³ Поверхностные воды. Случаи высокого и экстремально высокого загрязнения поверхностных вод. Юг Тюменской области. Режим доступа: <http://omsk-meteo.ru/index.php/ru/home/monitoring-zagryazneniya-okruzhayushchej-sredy/yug-tyumenskoj-oblasti/poverkhnostnye-vody/sluchai-vysokogo-zagryazneniya-ekstremalno-vysokogo-zagryazneniya> (дата обращения: 27.04.2024).

⁴ Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315-03. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901862249> (дата обращения: 27.04.2024).

В воде с высоким содержанием концентрации ионов марганца (II) повышается токсичность по отношению к живым организмам. Известно, что ионы Mn^{2+} приводят к снижению содержания железа и гемоглобина в крови живых организмов [1]. Соединения марганца являются сильными ядами с выраженными кумулятивными эффектами, которые приводят к блокированию ферментов, угнетению функции щитовидной железы и накапливаются в печени и почках [2].

Для очистки природных вод от загрязнителей применяют реагентный и электрокоагуляционный методы. Использование этих методов увеличивает стоимость затрат на электроэнергию и реагенты. В питьевых водах накапливаются остаточные ионы металлов [3, 4]. Эффективными и экологически безвредными методами считаются сорбционные методы [5]. В последние годы как в России, так и за рубежом интенсивно стали использовать для очистки вод глинистые минералы [6, 7]. Выбор природного сорбента определяется его доступностью и эффективностью очистки вод [8–10].

Целью данной работы явилось исследование сорбционных свойств и текстуры сорбента на основе нативного и модифицированного диатомита.

2. Материалы и методы

В качестве сорбента в работе был использован природный и модифицированный диатомит. Сорбент является осадочной кремнистой породой. Диатомит представляет отложения одноклеточных микроорганизмов со сложно структурированным кремниевым панцирем. Структура диатомита представлена аморфным коллоидным кремнеземом. Кремнезем образовался при диффузионном осаждении с содержанием глинистых включений. Аморфный кремнезем в диатомите отличается от обычного кремнезема. Диатомит обладает большой пористостью.

Рентгеноструктурным анализом (PCA) с помощью сканирующего растрового микроскопа JEOLJSM 6510 LV (Япония) определили химический состав диатомита (таблица 1). Исследования показали, что структура диатомита богата кремнеземом органического происхождения, остатками радиолярий, диатомитовых водорослей и кремниевых губок (рис. 3).

Таблица 1 / Table 1

Состав диатомита Ирбитского месторождения Свердловской области
Composition of diatomite from the Irbit deposit in the Sverdlovsk Oblast

Содержание	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	Fe_2O_3	TiO_2	MgO
% масс.	80.11	9.18	0.286	1.83	0.703	4.90	0.814	0.983

Рентгенофазовым анализом определили фазовый состав диатомита. Рентгенофазовый анализ выполнен на дифрактометре Bruker D2 Phaser с линейным детектором Lynxeye с медным анодом (CuK α -излучение, Ni-фильтр). Полученные экспериментальные данные позволили выделить в диатомите пять фаз: монтмориллонит (ММТ) – 55 %, гидрослюда – 23 %, смешанослойный минерал (ССО) – 18 %, каолинит – 3 % и хлорит – 1 %.

Анализ отечественных [11, 12] и зарубежных [13, 14] исследований показал, что эффективными являются модифицированные формы природных глинистых сорбентов. Химическая модификация глинистых сорбентов увеличивает поровое пространство и удельную поверхность, что способствует возрастанию сорбционной емкости [15].

Первичную обработку природного диатомита начали с отмывки водой от глинистых примесей и отделения мелкой фракции. Навеску исходного диатомита смешивали с 1.0 М раствором соляной кислоты в соотношении Т : Ж = 1 : 10. При 90 °С полученную смесь нагревали на водяной бане в течение

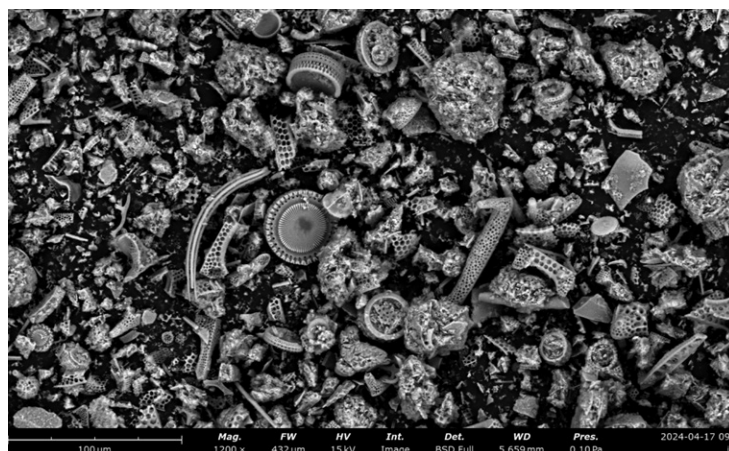


Рис. 3. Микрофотография природного диатомита, полученная с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) (фото авторов)

Fig. 3. Scanning electron microphotograph of natural diatomite (author's photo)

ние 4 часов. Смесь охлаждали при комнатной температуре и промывали дистиллированной водой до нейтральной среды ($\text{pH} = 6$).

Сорбцию ионов марганца из водных растворов сульфата марганца проводили в статических условиях при температурах 298, 318 и 333 К. Растворы ионов марганца (II) с концентрациями от 0.02 до 0.12 М готовили методом разбавления. Анализ раствора на содержание ионов марганца проводился комплексонометрическим титрованием [16].

Сорбционную емкость (A) и степень извлечения (α) сорбента определяли по формулам:

$$A = \frac{(C_0 - C) \cdot V_{p-pa}}{m_{\text{сорбента}}},$$

$$\alpha(\%) = \frac{(C_0 - C) \cdot 100}{C_0},$$

где C_0, C – исходная и равновесная концентрация ионов марганца, мг/дм^3 ;

V_{p-pa} – объем раствора, дм^3 ;

$m_{\text{сорбента}}$ – масса сорбента, г.

3. Результаты и обсуждение

Современные сорбционные технологии требуют использования сорбентов с повышенной обменной емкостью и высокой избирательной способностью. Модифицирование природных сорбентов позволяет создать новый тип материалов – полусинтетические сорбенты. Эти сорбенты можно отнести к композиционным материалам. Основой являются природные глинистые минералы, содержащие диоксиды кремния, оксиды алюминия и железа. При модифицировании таких материалов неорганическими и органическими соединениями происходит изменение внутренней структуры. В результате такого модифицирования происходит увеличение удельной поверхности природного сорбента, что улучшает поглонительную способность сорбента.

Для увеличения удельной поверхности диатомита нами была проведена активация с использованием соляной кислоты. Раствор 1.0 М соляной кислоты способен частично растворять обменные катионы металлов, таких как алюминий, железо, кальций, магний. Растворенные ионы металлов покидают в кристаллической решетке свои места. Свободные места занимают катионы водорода. Ионы водорода при этом образуют активные центры в диатомите. Таким образом, при активации соляной кислотой происходит изменение химического состава диатомита (рис. 4) с уменьшением размера частиц от 0.5–2.0 мм. В результате изменилась пористость диатомита (таблица 2).

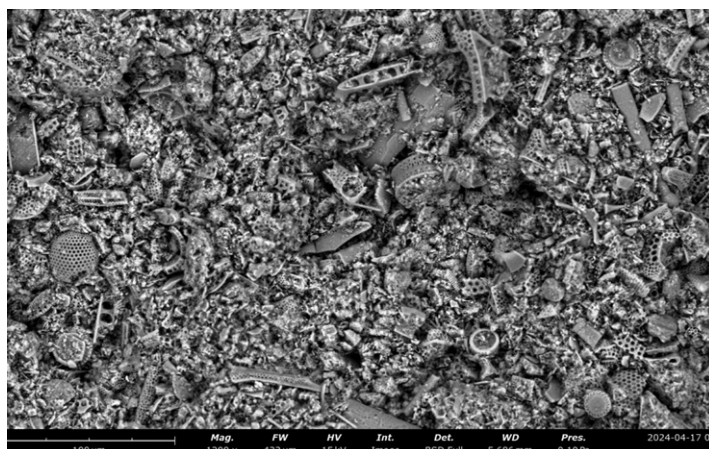


Рис. 4. СЭМ-микрофотография диатомита, обработанного раствором 1.0 М соляной кислоты (фото авторов)
Fig. 4. SEM-microphotograph of diatomite treated with 1.0 M hydrochloric acid solution (author's photo)

Таблица 2 / Table 2

Характеристики нативного и модифицированного диатомита
Characteristics of native and modified diatomite

Сорбент	Удельная поверхность, м ² /г	Удельный объем пор, см ³ /г	Истинная плотность, г/см ³	pH водной суспензии
Диатомит нативный	31.7	0.013	2.09	2.77
Диатомит модифицированный	81.6	0.034	2.33	0.801

Важным показателем фильтрующих загрузок является механическая прочность, которая характеризуется истираемостью и измельчаемостью. Если сравнить показатели кварцевого песка Верх-Исетского района г. Екатеринбурга (истираемость 0.14 % и измельчаемость 1.17 %) и диатомита, то последний имеет истираемость 0.05 % и измельчаемость 0.09 % и превосходит кварцевый песок по механической прочности.

С увеличением концентрации марганца Mn^{2+} в исходном растворе обменная емкость возрастает (рис. 5). При сравнении величины обменной емкости диатомита в нативной и модифицированной формах видно, что в модифицированной форме обменная емкость возрастает больше чем в два раза (с 0.63 до 1.45 мг/г). Увеличение обменной емкости связано с заменой обменных катионов. Частичное удаление OH-группы в шестикоординационном ионе алюминия приводит к образованию свободных связей в кристаллической решетке. Эти связи заполняются катионами водорода соляной кислоты. Малые размеры катионов водорода легко внедряются на поверхность сорбента и внутрь кристаллической решетки. Кислотная природа модифицированного диатомита проявляется за счет протекающих химических процессов с соляной кислотой.

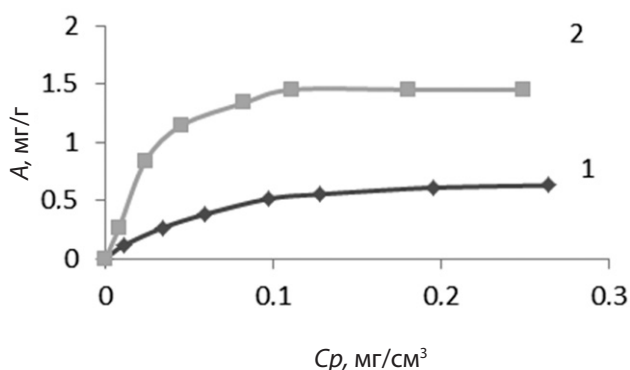
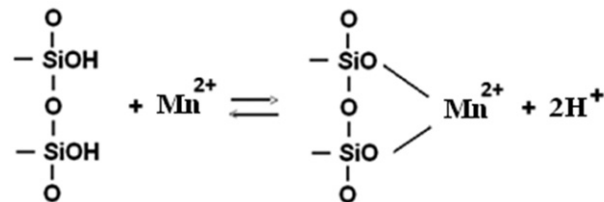


Рис. 5. Изотермы сорбции ионов марганца для нативной (1) и модифицированной (2) форм диатомита
(график составлен авторами)
Fig. 5. Manganese ion sorption isotherms for native (1) and modified (2) forms of diatomite
(graph obtained by the authors)

Механизм сорбции марганца Mn^{2+} на диатомите в обеих формах заключается в реакции ионного обмена:



Результаты таблицы 3 подтверждают, что на модифицированной форме диатомита степень извлечения ионов марганца (II) возрастает в 2.5 раза по отношению к нативной форме.

Таблица 3 / Table 3
Степень извлечения ионов марганца (II) при сорбции на диатомите
The degree of extraction of manganese (II) ions by sorption with diatomite

C_0 , ммоль/см ³	0.01	0.03	0.05	0.08	0.1	0.15	0.2
T, К							
Диатомит в нативной форме, α, %							
298	15.8	12.3	10.4	8.7	7.3	5.3	4.1
318	31.6	17.5	13.5	10.0	8.5	6.2	4.8
333	47.4	22.8	16.5	11.9	10.0	7.0	5.4
Диатомит в кислотной форме, α, %							
298	45.8	38.6	31.1	22.6	19	12.6	9.5
318	52.6	47.4	35.2	25.2	20.5	14.0	10.5
333	63.2	54.4	40.4	29.0	23.5	15.9	12.0

При описании процесса сорбции ионов марганца на диатомите использовались модели Ленгмюра, Фрейндлиха и Темкина. В таблице 4 представлены результаты расчетов.

Модель Ленгмюра характеризует образование мономолекулярного сорбционного слоя. Описание сорбции на гетерогенной поверхности характеризует модель Фрейндлиха. В изотерме Фрейндлиха энергия сорбции находится в логарифмической зависимости от степени заполнения поверхности, а в модели Темкина данная зависимость линейна.

Таблица 4 / Table 4
Изотермы сорбции ионов марганца на диатомите
Sorption isotherms of manganese ions with diatomite

Диатомит	Изотермы			
Изотерма Ленгмюра $A = A_{\infty} (C/(k_L + C))$				
Нативная форма	T, K	$A_{\infty}, \text{мг/дм}^3$	k_L	R^2
	298	0.58	23.25	0.999
	318	0.61	35.65	0.999
	333	0.66	54.25	0.999
Н-форма	298	1.19	70.0	0.996
	318	2.36	211.5	0.999
	333	2.73	366	0.999

Продолжение таблицы 4 / Continuation of table 4

Диатомит	Изотермы			
Изотерма Фрейндлиха $A = k_F \cdot C^n$				
Нативная форма	T, K	n	lgk_F	R^2
	298	2.36	1.05	0.998
	318	2.83	1.11	0.999
	333	3.97	1.07	0.999
Н-форма	298	5.71	0.304	0.996
	318	6.58	0.33	0.999
	333	6.99	0.383	0.999
Изотерма Темкина $A = (1/\alpha) \cdot lg(k_T \cdot C_p)$				
Нативная форма	T, K	$1/\alpha$	lgk_T	R^2
	298	0.134	5.25	0.976
	318	0.123	6.10	0.982
	333	0.113	7.13	0.971
Н-форма	298	1.021	2.39	0.984
	318	0.946	2.68	0.979
	333	1.000	2.84	0.983

Примечание: A – количество сорбированного марганца (мг/г),
 k_L и A_{∞} , k_F и n , k_T и α – константы Ленгмюра, Фрейндлиха и Темкина соответственно

4. Заключение

Изучена сорбция ионов марганца (II) нативной и модифицированной формами диатомита. Полученные экспериментальные результаты показывают обменную емкость в нативной форме – 0.63 мг/г, в Н-форме – 1.45 мг/г.

Степень извлечения ионов марганца (II) с увеличением температуры сорбции от 298 до 333 К в нативной форме увеличивается с 15.8 до 47.4 %, в модифицированной Н-форме – с 45.8 до 63.2 %.

Изотермы сорбции в интервале исходных концентраций от 0.01 до 0.2 мг/мл при контакте с диатомитом в нативной и Н-форме хорошо описываются уравнениями Ленгмюра и Фрейндлиха, что подтверждается высокими значениями коэффициентов корреляции ($R^2 = 0.999$). Параметры процесса A_{∞} и k_L модели Ленгмюра для нативной формы – 0.58 мг/г и 23.25 л/мг, для Н-формы – 1.19 мг/г и 70 л/мг соответственно. Расчеты показывают увеличение обменной емкости в 2 раза при модификации диатомита в кислой среде.

Таким образом, в результате применения диатомита, модифицированного соляной кислотой, происходит увеличение пропускной способности на очистных сооружениях. При этом снижаются затраты воды на промывку фильтров из природных сорбентов.

Вклад авторов. Пимнева Л. А. – сбор и обобщение данных, проведение экспериментального исследования, анализ результатов; Загорская А. А. – обзор литературы, Жеребчук Е. В. – проведение экспериментального исследования.

Author contributions. Lyudmila A. Pimneva, data collection and collation, conducting the experimental study, and results analysis; Alla A. Zagorskaya, review; Elizaveta V. Zherebchuk, conducting the experimental study.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Медведев И. Ф., Деревягин С. С. *Тяжелые металлы в экосистемах*. Саратов: Ракурс; 2017. 178 с.
2. Волобуева Е. Е., Пимонова С. А., Булычева О. С. Токсические свойства марганца. *Успехи современного естествознания*. 2014;6:87.
3. Назаров В. Д., Назаров М. В., Разумов В. Ю., Дремина М. А., Осипова А. А. Очистка природных вод от железа и марганца. *Градостроительство и архитектура*. 2017;7(4):54–59. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2017.04.9>
4. Дзюбо В. В., Алферова Л. И., Васильев В. М. О некоторых особенностях озонирования подземных вод. *Вода и экология: проблемы и решения*. 2018;2:10–16. <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.20.2.10-16>
5. Головки Т. К., Гармаш Е. В., Скугорева С. Г. Тяжелые металлы в окружающей среде и растительных организмах. *Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН*. 2008;7:2–7.
6. Jean Wilfried Hounfodji, Wilfried G. Kanhounon, Gaston Kpotin, Guy S. Atohou, Juliette Laine, Yann Foucaud, Michael Badawi. Molecular insights on the adsorption of some pharmaceutical residues from wastewater on kaolinite surfaces. *Chemical Engineering Journal*. 2021;407:127176. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127176>
7. Folasegun Anthony Dawodu, Kovo Godfrey Akpomie. Simultaneous adsorption of Ni (II) and Mn(II) ions from aqueous solution onto a Nigerian kaolinite clay. *Journal of Materials Research and Technology*. 2014;3(2):129–141. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2014.03.002>
8. Фоменко А. И., Соколов Л. И. Исследование сорбционных свойств болотных руд для извлечения ионов марганца и железа из подземных вод. *Журнал прикладной химии*. 2019;92(2):257–263. <https://doi.org/10.1134/S004446181902018X>
9. Дударев В. И., Минаева Л. А. Применение углеродных сорбентов для извлечения марганца из растворов. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2024;14(1):35–40. <https://doi.org/10.21285/achb.897>
10. Падалкин Н. В., Евшин П. Н. Модифицированные сорбенты на основе опоки для очистки вод. *Труды Колеского научного центра РАН*. 2019;10(1-3):262–269. <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.1.262-269>
11. Сынбулатова Р. И., Осипова Е. А. Сорбенты для извлечения ионов меди. В сб.: *Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 26–27 января 2023 г.* Оренбург: Оренбургский государственный университет; 2023. С. 4436–4440.
12. Ханхасаева С. Ц., Бадмаева С. В., Ухинова М. В. Синтез Fe-алюмосиликатных материалов на основе монтмориллонита и тестирование их сорбционных свойств. *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2022;22(4):534–544. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom/2022.22/10609>
13. Yurak V., Apakashev R., Dushin A., Usmanov A., Lebzina M., Malyshev A. Testing of natural sorbents for the assessment of heavy metal ions' adsorption. *Applied Sciences*. 2021;11(8):3723. <https://doi.org/10.3390/app11083723>
14. Piri M., Sepehr E., Samadi A., Farhadi K. H., Alizadeh M. Contaminated soil amendment by diatomite: chemical fractionation of zinc, lead, copper and cadmium. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2021;18:1191–1200. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02872-0>
15. Boriskov D., Efremova S., Komarova N., Tikhomirova E., Bodrov A. Applicability of the modified diatomite for treatment of wastewater containing heavy metals. *E3S Web of Conferences*. 2021;247(7):01052. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701052>
16. Шварценбах Г., Флашка Г. *Комплексонометрическое титрование*. Москва: Химия; 1970. 360 с.

References

1. Medvedev I. F., Derevyagin S. S. *Heavy metals in ecosystems*. Saratov: Rakurs; 2017. (In Russ.)
2. Volobueva E. E., Pimonova S. A. The toxic properties of manganese. *Advances in Current Natural Sciences*. 2014;6:87. (In Russ.)
3. Nazarov V. D., Nazarov M. V., Razumov V. Yu., Dryomina M. A., Osipova A. A. Purification of natural waters of iron and manganese. *Urban Construction and Architecture*. 2017;7(4):54–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2017.04.9>
4. Dzyubo V. V., Alferova L. I., Vasiliev V. M. On some features of ozone treatment of ground waters. *Water and Ecology*. 2018;2:10–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2018.20.2.10-16>
5. Golovko T. K., Garmash E. V., Skugoreva S. G. Heavy metals in the environment and plant organisms. *Vestnik instituta biologii Komi nauchnogo tsentra Ural'skogo otdeleniya RAN*. 2008;7:2–7. (In Russ.)

6. Jean Wilfried Hounfodji, Wilfried G. Kanhounon, Gaston Kpotin, Guy S. Atohoun, Juliette Laine, Yann Foucaud, Michael Badawi. Molecular insights on the adsorption of some pharmaceutical residues from wastewater on kaolinite surfaces. *Chemical Engineering Journal*. 2021;407:127176. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127176>
7. Folasegun Anthony Dawodu, Kovo Godfrey Akpomie. Simultaneous adsorption of Ni(II) and Mn(II) ions from aqueous solution onto a Nigerian kaolinite clay. *Journal of Materials Research and Technology*. 2014;3(2):129–141. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2014.03.002>
8. Fomenko A. I., Sokolov L. I. Study of sorption properties of bog ores for extraction of manganese and iron ions from ground water. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2019;92(2):288–294. <https://doi.org/10.1134/S1070427219020186>
9. Dudarev V. I., Minaeva L. A. Use of carbon sorbents to extract manganese from solutions. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2024;14(1):35–40. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/achb.897>
10. Padalkin N. V., Evshin P. N. Modified sorbents based on silica clay for water treatment. *Transactions of the Kola Science Centre*. 2019;10(1-3):262–269. (In Russ.) <https://doi.org/10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.1.262-269>
11. Synbulatova R. I., Osipova E. A. Sorbents for copper ion extraction. In: *University Campus as a Regional Center of Education, Science, and Culture: Materials of the All-Russian Scientific and Methodical Conference, Orenburg, January 26-27, 2023*. Orenburg: Orenburg State University; 2023. P. 4436–4440.
12. Khankhasaeva S. Ts., Badmaeva S. V., Ukhinova M. V. Synthesis of Fe-containing aluminosilicate materials based on montmorillonite and an assessment of their sorption properties. *Sorption and Chromatography Processes*. 2022;22(4):534–544. (In Russ.) <https://doi.org/10.17308/sorpchrom/2022.22/10609>
13. Yurak V., Apakashev R., Dushin A., Usmanov A., Lebzina M., Malyshev A. Testing of natural sorbents for the assessment of heavy metal ions' adsorption. *Applied Sciences*. 2021;11(8):3723. <https://doi.org/10.3390/app11083723>
14. Piri M., Sepehr E., Samadi A., Farhadi K. H., Alizadeh M. Contaminated soil amendment by diatomite: chemical fraction of zinc, lead, copper and cadmium. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2021;18:1191–1200. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02872-0>
15. Boriskov D., Efremova S., Komarova N., Tikhomirova E., Bodrov A. Applicability of the modified diatomite for treatment of wastewater containing heavy metals. *E3S Web of Conferences*. 2021;247(7):01052. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124701052>
16. Schwarzenbach G., Flaschka H. *Die komplexometrische Titration*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag; 1965. 332 p.



Информация об авторах

Пимнева Людмила Анатольевна, д-р хим. наук, профессор, профессор кафедры строительных материалов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, pimnevala@tyuiu.ru
Загорская Алла Александровна, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, zagorskajaaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3147-0438>

Жеребчук Elizaveta Васильевна, обучающийся, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация

Information about the authors

Lyudmila A. Pimneva, Dr. Sci. (Chemistry), Professor, Professor in the Department of Building Materials, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, pimnevala@tyuiu.ru

Alla A. Zagorskaya, Senior Lecturer in the Department of Technosphere Safety, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, zagorskajaaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3147-0438>

Elizaveta V. Zherebchuk, Student, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

Получена 22 мая 2024 г., одобрена 19 августа 2024 г., принята к публикации 17 сентября 2024 г.

Received 22 May 2024, Approved 19 August 2024, Accepted for publication 17 September 2024



Численная оценка устойчивости и деформативности конструкции земляного полотна методом замены слабого грунта на слабых основаниях

Чунг Хиеу Ле¹ ✉, Суан Хунг Нго²

¹ Российский университет транспорта (МИИТ), ул. Образцова, 9, стр. 9, Москва, 127994, Российская Федерация

² Ханойский горно-геологический университет, 18 Фо Виен, Дык Тханг, Бак Ту Лиём, Ханой, 12400, Вьетнам

✉ letrunghieu531996@gmail.com



Аннотация. Актуальным вопросом отрасли железнодорожного транспорта является повышение устойчивости и снижение деформативности конструкций земляного полотна в условиях строительства на слабых основаниях методом замены слабого грунта. В ходе исследования определялась ширина слабого грунта понизу, подлежащего замене, с учетом требований к показателям деформативности, обеспечивающим заданные геометрические параметры при устройстве земляного полотна в различных условиях грунтового основания. Численное моделирование осуществлялось на основе известных теоретических принципов и в соответствии с последовательностью этапов строительства высокоскоростной железнодорожной магистрали на слабых основаниях с помощью геотехнического программного обеспечения Plaxis 2D. При рассмотрении и оценке различной толщины слоя слабого грунта, подлежащего замене, построен график зависимости деформации от главного напряжения в точке развития пластической деформации, определено значение стабильного запаса прочности. Проведенное исследование позволило предложить численный метод определения коэффициента устойчивости откосов. Анализ актуальных нормативных документов и методов расчета земляных конструкций на слабых грунтах подтвердил необходимость доработки существующих методов расчета.

Ключевые слова: численная оценка, прочность, деформативность, коэффициент устойчивости, устойчивость откоса, земляное полотно, слабые глинистые грунты, дорожное строительство, BCM, Plaxis 2D

Благодарности. Авторы выражают благодарность АО «Мосгипротранс» (Москва, Российская Федерация) за предоставление исходных данных и помощь в проведении исследования.

Для цитирования: Ле Чунг Хиеу, Нго Суан Хунг. Численная оценка устойчивости и деформативности конструкции земляного полотна методом замены слабого грунта на слабых основаниях. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(3):74–85. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-74-85>

Numerical evaluation of stability and deformability of earth embankment structure by replacing weak soil on weak foundations

Trung Hieu Le¹ ✉, Xuan Hung Ngo²

¹ Russian University of Transport (MIIT), 9, bldg. 9 Obraztsova St., Moscow, 127994, Russian Federation

² Hanoi University of Mining and Geology, 18 Pho Vien, Duc Thang, Bac Tu Liem, Hanoi, 12400, Vietnam

✉ letrunghieu531996@gmail.com



Abstract. A pressing issue for the railway industry is to enhance the stability and reduce the deformability of earth embankment structures constructed on weak foundations using the method of replacing weak soil. The authors determined the width of the weak soil at the base, requiring replacement, taking into account the requirements for deformability indicators that ensure the specified geometric parameters of the earth embankment under various soil foundation conditions. The numerical modeling was based on established theoretical principles in accordance with the sequence of construction stages for a high-speed railway line on weak foundations using the geotechnical software Plaxis 2D. By considering and evaluating different thicknesses of the weak soil layer to be replaced, the authors constructed a graph of the dependence of deformation on the principal stress at the point of plastic deformation development, and determined the value of the stable safety factor. The research made it possible to propose a numerical method for determining the slope stability coefficient. Analysis of current regulatory documents and calculation methods for earth structures on weak soils has confirmed the need to refine existing calculation methods.

Keywords: numerical assessment, strength, deformability, stability coefficient, slope stability, earth embankment, weak clay soils, road construction, high-speed railway, Plaxis 2D

Acknowledgements. The authors express their gratitude to JSC "Mosgirotrans" (Moscow, Russian Federation) for providing the initial data and assistance in conducting the research.

For citation: Le Trung Hieu, Ngo Xuan Hung. Numerical evaluation of stability and deformability of earth embankment structure by replacing weak soil on weak foundations. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(3):74–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-74-85>



1. Введение

Высокоскоростное движение появилось в начале 1960-х годов в Японии [1], в СССР развитие высокоскоростного наземного транспорта началось в конце 1960 – начале 1970-х годов. На сегодняшний день высокоскоростные поезда в России эксплуатируются на действующих железнодорожных линиях. В соответствии с приказом Минтранса России от 23.06.2022 № 250¹, скорость пассажирских поездов не должна превышать 140 км/ч. Согласно международной классификации, высокоскоростная железнодо-



Рис. 1. Основные элементы земляного полотна ВСМ [3]

Fig. 1. Main elements of a high-speed railway embankment [3]

¹ Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: утверждены приказом Министерства транспорта России от 23 июня 2022 года № 250. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/351240235> (дата обращения: 07.05.2024).

рожная магистраль (ВСМ) обеспечивает движение поездов со скоростью более 250 км/ч, по действующим российским стандартам – свыше 200 км/ч. Это перспективный показатель скорости для таких дорог [2]. Высокоскоростной можно назвать такую железную дорогу, по которой пассажирские поезда следуют со скоростью от 200 до 400 км/ч на всем ее протяжении или на некоторых участках.

Следует отметить, что в настоящее время в России отсутствуют нормы и правила проектирования ВСМ, поэтому при проектировании ВСМ Россия учитывает зарубежный опыт и стремится найти самостоятельные решения. Кроме того, отсутствуют стандартные проекты и решения земляного полотна (основные элементы земляного полотна ВСМ изображены на рис. 1).

Согласно действующим нормам Российской Федерации, для оценки надежности основания дороги в зависимости от типа дороги предложено использовать расчетный коэффициент запаса [4]. Проблема расчета величины коэффициента запаса по устойчивости грунтового массива (склонов, оснований фундаментов) считается одной из важнейших задач геомеханики. Авторы [5, 6] подчеркивали, что решение этой проблемы может быть осуществлено посредством анализа напряженного состояния грунтового массива на основе линейной теории упругости и упругопластических задач.

В соответствии с предыдущими стандартами устойчивость откоса определяют путем сравнения значения расчетного коэффициента устойчивости K_s с нормативным коэффициентом устойчивости $[K_s]$, установленным в СП 32-104-98². Однако данный стандарт не учитывает ухудшение свойств материала с течением времени, воздействие окружающей среды и т. п.

Согласно нормативным требованиям к проектированию земляного полотна на слабых грунтах³, коэффициент безопасности, который служит критерием устойчивости основания насыпи, вычисляется по формуле:

$$K_{\text{без}} = \frac{P_{\text{без}}}{P_{\text{рас}}},$$

где $P_{\text{без}}$ – безопасная нагрузка, т. е. предельная нагрузка, отвечающая условию устойчивости;

$P_{\text{рас}}$ – расчетная (проектная) нагрузка.

Таким образом, устойчивость основания для ВСМ обеспечивается при условии $K_{\text{без}} > 1.3$.

С другой стороны, при расчете устойчивости откоса насыпи на слабом основании особым образом подбирают координаты центра вращения (O) и радиус (R). Их определяют так, чтобы центр (O) находился в наиболее невыгодном положении. Это позволяет определить наименьшее из возможных значений коэффициента устойчивости K_s для данного откоса (рис. 2).

Еще одна сложность заключается в том, что устройство земляного полотна для ВСМ в районах с широким распространением слабых грунтов сопряжено со многими трудностями, которые могут привести к его деформации.

Например, в [7] авторы отмечают, что динамические нагрузки меняют свое положение и по сравнению со статической нагрузкой могут стать причиной значительных деформаций конструкции.

Земляное полотно является важной составляющей конструкции пути. Его влиянию на деформируемость дорог посвящено много работ [8–13]. Обобщив результаты проведенных исследований, необходимо выделить следующее:

² СП 32-104-98 Проектирование земляного полотна железных дорог колеи 1520 мм = Design of earthwork for rail ways with 1520 mm TRACK. Дата введения 01.01.1999. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200003314> (дата обращения: 03.03.2024).

³ Методические указания по проектированию земляного полотна на слабых грунтах. Москва: Оргтрансстрой; 1968. 125 с.

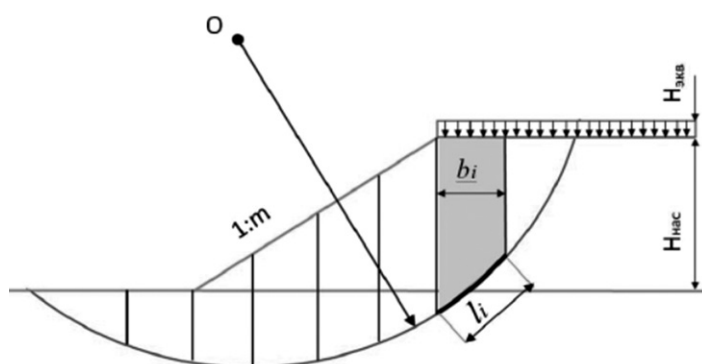


Рис. 2. Схема к расчету устойчивости откоса насыпи на слабом основании ⁴

Fig. 2. Scheme for slope stability analysis of an embankment on a weak foundation ⁴

- на образование деформаций дороги влияет множество факторов, один из них – модуль упругости грунта [8];
- за время многолетней эксплуатации железнодорожного пути происходят серьезные изменения, которые необходимо учитывать при проектировании земляного полотна⁵;
- земляное полотно ВСМ, рассчитанное по первой группе предельных состояний, согласно [11], должно гарантировать необходимую несущую способность и устойчивость откосов⁶;
- в ходе проектирования расчетный коэффициент устойчивости определяется методом предельного равновесия грунтового массива по круговой цилиндрической поверхности скольжения или другой заданной поверхности скольжения.

Учитывая тот факт, что создание современной транспортной инфраструктуры является одним из приоритетных направлений политики страны, необходимо продолжать исследования в сфере строительства ВСМ.

Слабые глинистые грунты обладают рядом уникальных характеристик, которые существенно затрудняют устройство фундаментов на естественных основаниях. Это обуславливает необходимость поиска новых методик расчета и их углубленного исследования [14].

На участках со слабыми грунтами для земляного полотна рекомендуется использовать насыпи. Характеристики грунтов, расположенных в верхней части насыпей, а также требуемое положение поверхности покрытия над расчетным уровнем поверхностных и грунтовых вод определяются согласно СП 24.13330.2021⁷ с учетом типа местности и особенностей увлажнения.

Одним из решений, позволяющих использовать слабые грунты в основании насыпей, является метод замены слабого грунта с ограниченной глубиной, который позволяет обеспечить устойчивость и прочность земляного полотна железных дорог.

⁴ ОДМ 218.4.4.002-2020 Методические рекомендации по использованию существующих насыпей из слабых и обводненных грунтов при реконструкции автомобильных дорог. Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/media/uploaded-files/218.4.4.002-2020.pdf> (дата обращения: 10.04.2024).

⁵ Справочная энциклопедия дорожника. Т. V. Проектирование автомобильных дорог / Под ред. д-ра техн. наук Г. А. Федотова, П. И. Поспелова. Москва: Транспорт; 1989. 438 с.

⁶ СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах = Soil bases and foundations on permafrost soils. Дата введения 01.07.2021. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573659326> (дата обращения: 07.03.2024).

⁷ СП 24.13330.2021 Свайные фундаменты = Pile foundations. Дата введения 15.01.2022. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/728474148> (дата обращения: 07.03.2024).

В процессе проектирования и расчета насыпей на слабых грунтах необходимо предусмотреть дополнительные меры по обеспечению их несущей способности и ускорению осадки. Для этого требуется проведение детальных исследований устойчивости и прогнозирования осадки слабого фундамента и изучение различных методов, включая замену слабого грунта в основании насыпи. Также важно учитывать специфику проектируемой дороги и местные условия.

Разработка методов оценки устойчивости откосов земляного полотна на слабых грунтах посредством современных программных продуктов позволит повысить качество проектирования. Это, в свою очередь, приведет к повышению долговечности конструкций и, как следствие, повысит уровень безопасности на железнодорожных объектах.

Целью исследования являлось определение ширины замены слабого грунта понизу в различных условиях с учетом деформативности сжатой зоны земляного полотна, обеспечивающей заданные геометрические параметры текущего земляного полотна.

Исследование было направлено на решение следующих практических задач:

- повышение устойчивости конструкции земляного полотна за счет замены слабого грунта;
- увеличение радиуса кривой поверхности смещения.

2. Материалы и методы

На рис. 3 изображена схема конструкции земляного полотна, которое было построено на поверхности слабой толщи.

Для оценки деформативности земляного полотна был выбран поперечный профиль насыпи (рис. 4).

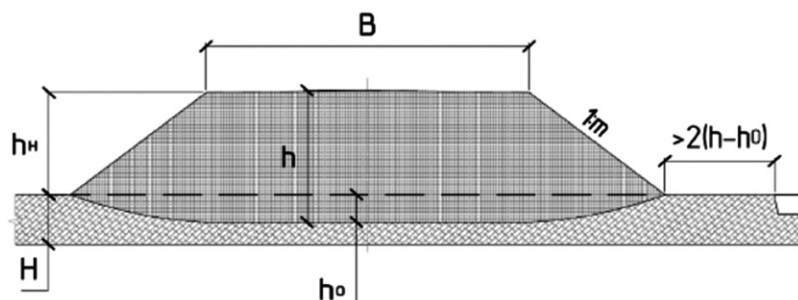


Рис. 3. Типовая схема земляного полотна, построенного на поверхности слабого грунта (B – ширина насыпи сверху; h_n – высота насыпи; h – толщина насыпи с учетом ее осадки; H – мощность слабого грунта) (схема из СП 32-104-98)

Fig. 3. Typical scheme of an earth embankment constructed on a weak soil surface (B – embankment width at the top; h_n – embankment height; h – embankment thickness considering its settlement; H – thickness of weak soil) (scheme from SP 32-104-98)

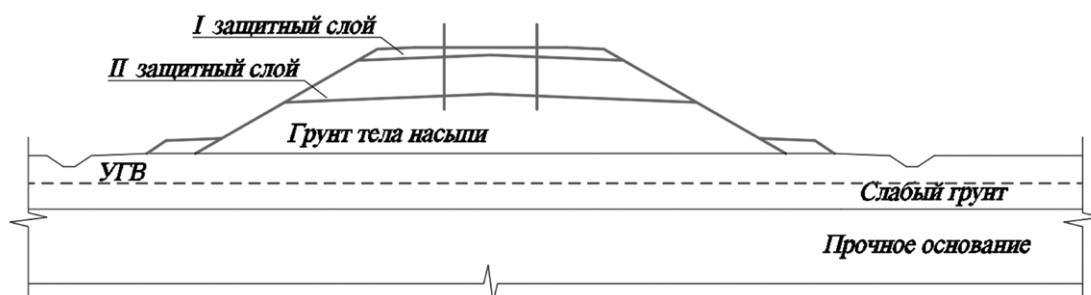


Рис. 4. Типовая конструкция замены слабого грунта (схема составлена авторами в AutoCAD)

Fig. 4. Typical design for replacing weak soil (scheme complied by the authors in AutoCAD)

В настоящем исследовании были рассмотрены два случая:

- насыпь находится над слоями слабого грунта мощностью не более 3 м;
- насыпь находится над слоями слабого грунта мощностью более 3 м.

Геометрические параметры насыпи, принятые для расчетного поперечного профиля, приведены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1

Геометрические параметры насыпи (расчетного поперечного профиля земляного полотна)
Geometric parameters of the embankment (calculated cross-section of the earth embankment)

Высота насыпи h_n , м	Крутизна откосов насыпи 1: m	Ширина основной площадки b , м	Ширина конструкции безбалластного верхнего строения пути $b_{всн}$, м
2.85	1:1.75	15.9	3.2

В основании типовой конструкции земляного полотна выделены два слоя грунтов: суглинок мягкопластичный (слабый грунт) и суглинок легкий пылеватый твердый (прочное основание).

Физические и механические характеристики инженерно-геологических элементов (ИГЭ), в том числе тела насыпи, защитных слоев и грунтов основания приведены в таблице 2.

Таблица 2 / Table 2

Параметры ИГЭ для расчетов осадки земляного полотна
Parameters of engineering-geological elements for earth embankment settlement calculations

Наименование грунта	Удельный вес грунта $\gamma_{пласг}$, кН/м ³	Удельный вес водонасыщенного грунта γ_{sat} , кН/м ³	Коэффициент фильтрации K , м/сут	Модуль деформации E , кН/м ²	Коэффициент Пуассона ν	Удельное сцепление c , кН/м ²	Угол внутреннего трения ϕ , °	Коэффициент уплотнения e
ИГЭ бж4 Суглинок мягкопластичный	19.11	19.41	0.01	300	0.35	6	6	0.76
ИГЭ 21ж1 Суглинок легкий пылеватый твердый	17.84	20.1	0.0324	58 000	0.37	46.4	22	0.64
Насыпной грунт, ЩПГС (защитный слой № 1)	18.62	18.62	80	120 000	0.3	2	43	1.0
Насыпной грунт, песок средней крупности (защитный слой № 2)	17.64	18.31	50	80 000	0.3	3	40	1.0
Насыпной грунт, песок средней крупности (насыпь)	17.64	18.44	50	50 000	0.3	3	40	0.98

Примечание: расчетные характеристики грунтов тела насыпи (угол внутреннего трения, сцепление) рассчитываются на основании норм по СП 22.13330.2021

Для каждого случая было рассмотрено два варианта замены:

- **Вариант 1:** ширина замены грунта понизу определяется откосом с заложением 1:0.5 (в соответствии с консистенцией и типом грунта), отложенным от подошвы откоса до нижней границы слоя слабого грунта. Данное проектное решение выполнено на основании рис. 5.
- **Вариант 2:** ширина замены грунта задается распределением давления в ней под углом равным 45°. Откосы траншеи выполняются заложением 1:0.5 (в соответствии с консистенцией и типом грунта). Данное проектное решение выполнено на основании требований по замене слабых грунтов, указанных в работе [15].

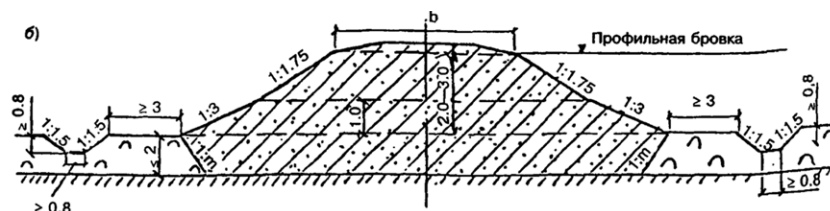


Рис. 5. Поперечные профили насыпей высотой до 3 м из мелких и пылеватых песков, песчанистых супесей: 1:m – крутизна откосов траншеи выторфовывания (от 1:0 до 1:0.5) (схема из СП 32.104.982)

Fig. 5. Cross-sections of embankments up to 3 m high, composed of fine and silty sands, sandy loams: 1:m – slope steepness of the peat excavation trench (from 1:0 to 1:0.5) (scheme from SP 32.104.982)

Для решения поставленных задач использовался метод конечных элементов. Математическое моделирование проводилось с использованием геотехнической программы Plaxis 2D. Численное моделирование расчета выполнялось в несколько этапов (рис. 6).



Рис. 6. Численное моделирование расчета этапов (схема составлена авторами)

Fig. 6. Numerical modeling of calculation stages (diagram created by the authors)

Благодаря тому, что графовый метод позволяет быстро и точно находить численные решения линейных задач, можно предположить, что он будет также эффективен и при решении последовательности упругих задач. Для решения упругопластической задачи мы использовали график деформации, на котором представлены зоны упругой деформации и повторного нагружения (рис. 7).

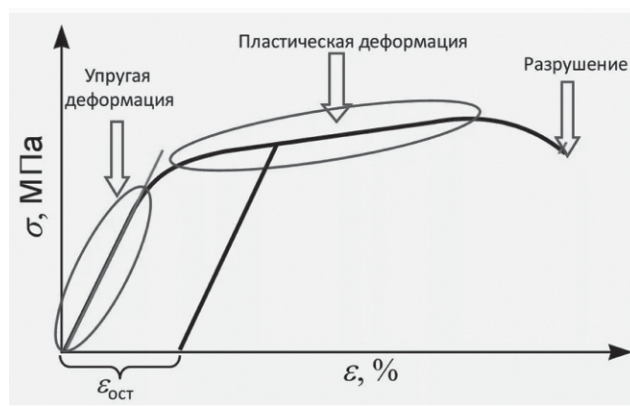


Рис. 7. График деформации [16]

Fig. 7. Deformation graph [16]

3. Результаты и обсуждение

Проведенный численный расчет устойчивости откосов насыпи позволяет определить пластические деформации от главных напряжений на слабом основании. График зависимости наибольших деформаций ϵ от главных напряжений σ в точке развития максимальных пластических деформаций представлен на рис. 8. Наглядно видно следующее:

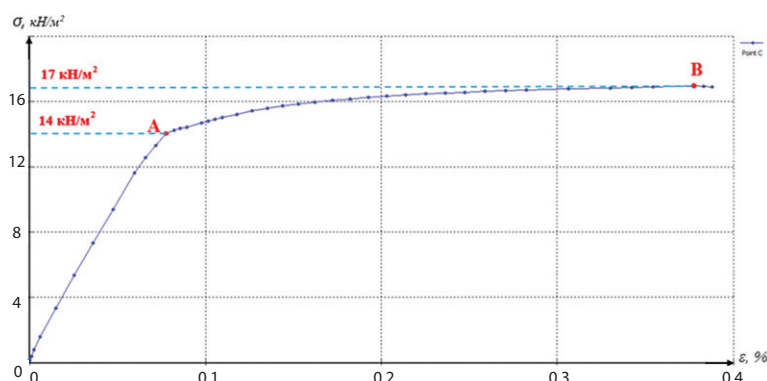


Рис. 8. Кривая зависимости деформаций от главных напряжений в точке развития пластических деформаций (график составлен авторами в Plaxis 2D)
Fig. 8. Curve of deformation dependence on principal stresses at the point of plastic deformation development (graph created by the authors in Plaxis 2D)

- слабый грунт под подошвой насыпи не способен сопротивляться нагрузке и переходит в пластическую фазу при напряжении 14 кН/м^2 (точка А), рабочее напряжение не достигается, программа прекращает расчет;
- при напряжении 17 кН/м^2 (точка В) грунт переходит в фазу разрушения, когда деформация продолжает расти при неизменном напряжении.

Таким образом, в ходе рассмотрения проблемы устойчивости откосов земляного полотна, расположенного на слабом основании, был разработан способ вычисления коэффициента устойчивости откосов. Деформированные схемы модели и вертикальные перемещения на этапе оценки устойчивости откосов по всем вариантам представлены на рис. 9–12.

Результаты экспериментальной задачи моделирования сведены в таблицу 3.

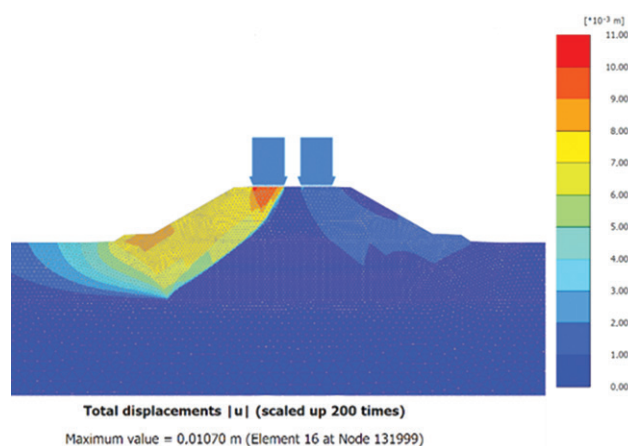


Рис. 9. Изолиния общих деформаций модели по варианту 1 с мощностью слабого грунта 3 м (модель составлена авторами в Plaxis 2D)

Fig. 9. Contour line of total deformations in the model for variant 1 with a weak soil thickness of 3 m (model created by the authors in Plaxis 2D)

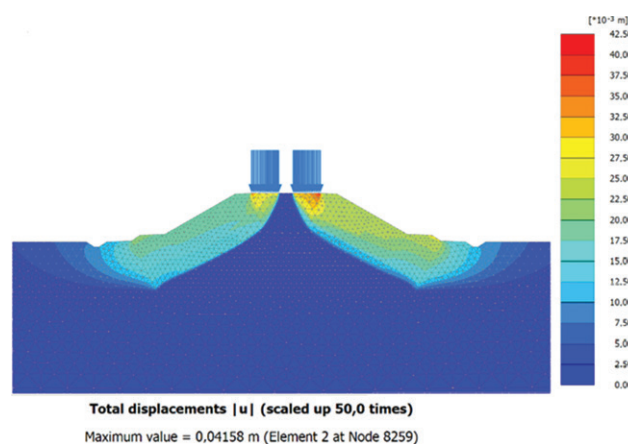


Рис. 10. Изолиния общих деформаций модели по варианту 2 с мощностью слабого грунта 3 м (модель составлена авторами в Plaxis 2D)

Fig. 10. Contour line of total deformations in the model for variant 2 with a weak soil thickness of 3 m (model created by the authors in Plaxis 2D)

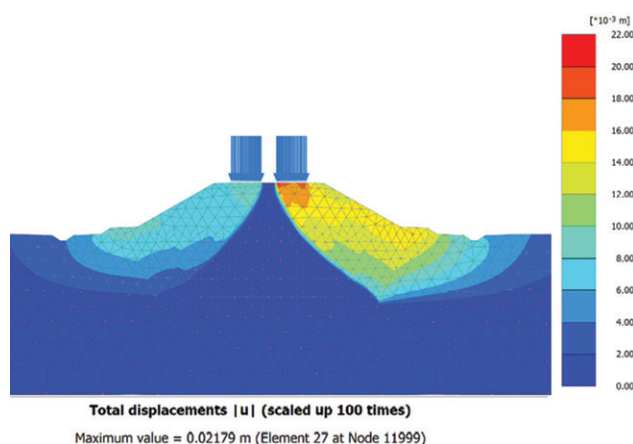


Рис. 11. Изолиния общих деформаций модели по варианту 1 с мощностью слабого грунта 4 м (модель составлена авторами в Plaxis 2D)
Fig. 11. Contour line of total deformations in the model for variant 1 with a weak soil thickness of 4 m (model created by the authors in Plaxis 2D)

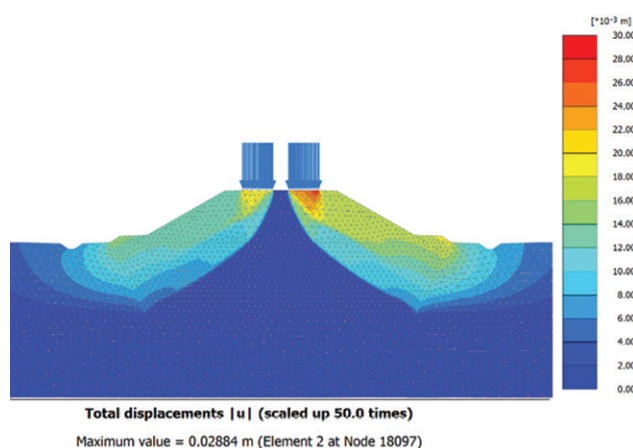


Рис. 12. Изолиния общих деформаций модели по варианту 2 с мощностью слабого грунта 4 м (модель составлена авторами в Plaxis 2D)
Fig. 12. Contour line of total deformations in the model for variant 1 with a weak soil thickness of 4 m (model created by the authors in Plaxis 2D)

Таблица 3 / Table 3

Результаты расчета деформативности земляного полотна
Results of earth embankment deformability calculation

Случай расчета		Значение деформации на этапе строительства U_y , мм	Значение деформации на этапе эксплуатационного периода U_y^* , мм	Общее значение деформаций на этапе оценки устойчивости откосов U , мм	Расчетный коэффициент устойчивости откосов $\sum K_s$
Мощность слоя слабого грунта H , м	Вариант				
3	1	27.64	9.014	10.7	1.053
	2	4.5	34.24	41.58	1.515
4	1	11.82	21.76	21.79	1.120
	2	5.072	25.51	28.84	1.408

Таким образом, по результатам численного моделирования и анализа данных, представленных в таблице 3, можно сделать следующие выводы:

1. Полученные результаты отражают зависимость расчетного коэффициента устойчивости откоса от мощности и ширины замены слабого грунта.
2. Анализ результатов расчетов показал существенное влияние ширины области замены слабого грунта основания насыпи на ее устойчивость. При недостаточной ширине области замены слабого грунта основания насыпи нарушаются заданные геометрические параметры насыпи и устойчивость в нижней части откосов насыпи.

3. Конструкция замены слабого грунта в основании земляного полотна по варианту 1 не обеспечивает необходимый запас устойчивости.
4. Значение расчетного коэффициента устойчивости при замене слабого грунта по варианту 2 находится в пределах 1.3–1.5, что соответствует нормам⁸.

4. Заключение

На территории Российской Федерации широко распространены слабые грунты (они занимают более 60 % территории). С учетом принятой Стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 года неизбежно встанет вопрос проектирования и строительства железных дорог на участках со слабыми грунтами.

Авторами статьи проведен качественный анализ проблематики рассматриваемого вопроса, выявлен недостаток в теоретических основах расчета, обусловленный невозможностью учитывать изменяемые физико-механические характеристики грунтов в процессе эксплуатации сооружения.

Проведенное исследование показало, что метод замены слабого грунта при строительстве на слабых основаниях является эффективным. Повышение устойчивости откосов происходит за счет увеличения радиуса кривой поверхности смещения с минимальным коэффициентом устойчивости, так как в данном случае увеличено основание насыпи, и кривая поверхности скольжения пересекает в основном прочные насыпные грунты.

Применение современных программных продуктов для адаптации базовых методов оценки устойчивости земляного полотна, расположенного на слабых грунтах, способствует улучшению качества проектирования, повышению долговечности конструкций и, главное, безопасности на объектах железнодорожного транспорта.

В перспективе планируется рассмотреть влияние на коэффициент устойчивости высоты насыпи и уклона откоса насыпи, которые следует учитывать при разработке и расчете конструкции.

Вклад авторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Conflict of interest. The authors declare no relevant conflict of interest. The study had no sponsorship.

Список литературы

1. Карасева А. А., Васильева М. А. Анализ мирового опыта развития высокоскоростного железнодорожного транспорта. *Молодой ученый*. 2016;6:114–117. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/110/26636/>.
2. Федоров В. П., Комаров Т. А. Анализ целесообразности строительства и эксплуатации высокоскоростных магистралей в России. В сб.: *Актуальные вопросы экономики транспорта высоких скоростей: сборник научных статей национальной научно-практической конференции. Т. 2*. Санкт-Петербург: Институт независимых социально-экономических исследований – оценка; 2020. С. 274–280. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44513403>.
3. Колос А. Ф., Петряев А. В., Колос И. В., Говоров В. В., Шехтман Е. И. Основопологающие требования к конструкции земляного полотна высокоскоростных железнодорожных линий. *Бюллетень результатов научных исследований*. 2018;1:36–48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/ywedxq>.

⁸ ВСН04-71 Указания по расчету устойчивости земляных откосов. Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/885/4293829820.pdf> (дата обращения: 12.02.2024).

4. Горлов А. В. Инновационный подход к реконструкции земляного полотна. *Мир транспорта*. 2016;14(3):106–122. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2016-14-3-10>
5. Цытович Н. А., Тер-Мартirosян З. Г. *Основы прикладной геомеханики в строительстве*. Москва: Высшая школа; 1981. 320 с.
6. Desai C. S., Lightner J. G. Mixed finite element procedure for soil-structure interaction and construction sequences. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 1985;21(5):801–824. <https://doi.org/10.1002/nme.1620210504>
7. Shahraki M., Sadaghiani M. R. S., Witt K. J., Meier T. 3D Modelling of Train Induced Moving Loads on an Embankment. *Plaxis Bulletin*. 2014:Autumn issue. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/279484965_3D_Modelling_of_Train_Induced_Moving_Loads_on_an_Embankment.
8. Колос А. Ф., Крюковский Д. В. Особенности колебательного процесса грунтов насыпей, опирающихся на торфяное основание, при движении поездов. *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2013;2:120–126. Режим доступа: <http://izvestiapgups.org/assets/files/10.20295-1815-588X-2013-2/10.20295-1815-588X-2013-2-120-126.pdf>.
9. Бондаренко И. А. Предложения по оценке деформативности железнодорожного пути. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. 2008;23:117–122. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_23497715_60994088.pdf.
10. Лебедев А. В. Анализ состояния земляного полотна. *Путь и путевое хозяйство*. 2017;8:8–10.
11. Шапетько К. В. Влияние неровностей продольного профиля на деформативность пути, безопасность движения и расход энергии на тягу поездов: дисс. канд. техн. наук. Москва: Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта; 2020. 185 с. Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/vliyanie-nerovnostei-prodolnogo-profilya-na-deformativnost-puti-bezopasnost-dvizheniya-i-ras>.
12. Коссов В. С., Краснов О. Г., Никонова Н. М. О деформативности деятельной зоны земляного полотна при воздействии состава с повышенными осевыми нагрузками. *Мир транспорта*. 2018;16(4):32–50. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2018-16-4-3>
13. Уланов И. С., Горлов А. В. Оценка деформаций конструкции участка переходной жесткости земляного полотна и ИССО высокоскоростной магистрали. *Евразийский Союз Ученых*. 2019;3(60):46–55. Режим доступа: <https://euroasia-science.ru/wp-content/uploads/2019/04/46-55-Teplukhin-V.G.-Shabalin-D.N.pdf>.
14. Уланов И. С. Отечественные и зарубежные подходы при постановке задачи обеспечения стабильности земляного полотна на слабом основании. В сб.: *Транспортное строительство*. Москва: Перо; 2022. С. 328–340. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_54473708_15685098.pdf.
15. Ухов С. Б., Семенов В. В., Знаменский В. В., Тер-Мартirosян З. Г., Чернышев С. Н. *Механика грунтов, основания и фундаменты*. Москва: АСВ; 1994. 566 с. Режим доступа: https://vk.com/doc284718893_560626623?hash=zAreSXjsf15pZhX4hHiGv6szPx8ELyXzg9mXS3u9wec.
16. Шапиро Д. М., Ким М. С., Ким В. Х., Агарков А. В. *Решение задач механики грунтов аналитическими и численными методами*. Воронеж: Воронежский государственный технический университет; 2019. 85 с. Режим доступа: <https://www.iprbookshop.ru/epd-reader?publicationId=93288>.

References

1. Karaseva, A. A., Vasil'eva, M. A. (2016). Analysis of global experience in the development of high-speed railway transport. *Molodoy uchenyy*. 2016;6:114–117. (In Russ.) Available at: <https://moluch.ru/archive/110/26636/>.
2. Fedorov V. P., Komarov T. A. Analysis of the feasibility of construction and operation of high-speed highways in Russia. In: *Actual questions of economy of high-speed transport: collection of scientific articles of the national scientific-practical conference. Vol. 2*. St. Petersburg: Institut nezavisimyykh sotsial'no-ekonomicheskikh issledovaniy – otsenka; 2020. P. 274–280. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44513403>.
3. Kolos A. F., Petryayev A. V., Kolos I. V., Govorov V. V., Shekhtman E. I. Essential requirements for roadbed design of highspeed rail lines. *Bulletin of Scientific Research Result*. 2018;1:36–48. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/ywedxq>.
4. Gorlov A. V. An innovative approach to the reconstruction of the subgrade. *World of Transport*. 2016;14(3):106–122. (In Russ.) <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2016-14-3-10>
5. Tsytovich N. A., Ter-Martirosyan Z. G. *Fundamentals of applied geomechanics in construction*. Moscow: Vysshaya shkola; 1981. (In Russ.)

6. Desai C. S., Lightner J. G. Mixed finite element procedure for soil-structure interaction and construction sequences. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 1985;21(5):801–824. <https://doi.org/10.1002/nme.1620210504>
7. Shahraki M., Sadaghiani M. R. S., Witt K. J., Meier T. 3D Modelling of Train Induced Moving Loads on an Embankment. *Plaxis Bulletin*. 2014:Autumn issue. Available at: https://www.researchgate.net/publication/279484965_3D_Modelling_of_Train_Induced_Moving_Loads_on_an_Embankment.
8. Kolos A. F., Kryukovskiy D. V. Specific features of oscillating process of subgrade soils based on the peat foundation under train traffic. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2013;2:120–126. (In Russ.) Available at: <http://izvestiapgups.org/assets/files/10.20295-1815-588X-2013-2/10.20295-1815-588X-2013-2-120-126.pdf>.
9. Bondarenko I. O. Suggestions for the evaluating of railway deformation. *Science and Transport Progress*. 2008;23:117–122. (In Russ.) Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_23497715_60994088.pdf.
10. Lebedev A. V. Analysis of the earth bed condition. *Put and track facilities*. 2017;8:8–10. (In Russ.)
11. Shapetko K. V. *Influence of longitudinal profile irregularities on track deformability, traffic safety and energy consumption for traction of trains*. Moscow: Research Institute of Railway Transport; 2020. (In Russ.) Available at: <https://www.dissercat.com/content/vliyanie-nerovnostei-prodolnogo-profilya-na-deformativnost-puti-bezopasnost-dvizheniya-i-ras>.
12. Kossov V. S., Krasnov O. G., Nikonova N. M. On deformability of a roadbed active zone under the influence of a train with increased axial loads. *World of Transport and Transportation*. 2018;16(4):32–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2018-16-4-3>
13. Ulanov I. S., Gorlov A. V. Evaluation deformations of the transitional zone between embankment and bridge for highspeed railway. *Eurasian Union of Scientists*. 2019;3(60):46–55. (In Russ.) Available at: <https://euroasia-science.ru/wp-content/uploads/2019/04/46-55-Teplukhin-V.G.-Shabalin-D.N.pdf>.
14. Ulanov I. Domestic and foreign approaches in setting the task of ensuring the stability of the roadbed on a weak foundation. In: *Transportnoe stroitel'stvo*. 2022. P. 328–340. (In Russ.) Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_54473708_15685098.pdf.
15. Ukhov S. B., Semenov V. V., Znamenskiy V. V., Ter-Martirosyan Z. G., Chernyshev S. N. *Mechanics of soils, bases and foundations*. Moscow: ASV; 1994. (In Russ.) Available at: https://vk.com/doc284718893_560626623?hash=zAreSXjsf15pZhX4hHiGv6szPx8ELyXzg9mXS3u9wec.
16. Shapiro D. M., Kim M. S., Kim V. Kh., Agarkov A. V. *Solving problems of soil mechanics by analytical and numerical methods*. Voronezh: Voronezh State Technical University; 2019. (In Russ.) Available at: <https://www.iprbookshop.ru/epd-reader?publicationId=93288>.



Информация об авторах

Чунг Хиеу Ле, аспирант кафедры автомобильных дорог, аэродромов, оснований и фундаментов, Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Российская Федерация, letrunghieu531996@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6346-8829>

Суан Хунг Нго, канд. техн. наук, преподаватель факультета гражданского строительства, Ханойский горно-геологический университет, Ханой, Вьетнам, ngoquanhung@humg.edu.vn, <https://orcid.org/0000-0003-2868-6342>

Information about the authors

Trung Hieu Le, Postgraduate in the Department of Automobile Roads, Airfields, Bases and Foundations, Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russian Federation, letrunghieu531996@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6346-8829>

Xuan Hung Ngo, Cand. Sci. (Engineering), Lecturer in the Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam, ngoquanhung@humg.edu.vn, <https://orcid.org/0000-0003-2868-6342>

Получена 27 апреля 2024 г., одобрена 26 июля 2024 г., принята к публикации 20 августа 2024 г.

Received 27 April 2024, Approved 26 July 2024, Accepted for publication 20 August 2024



Кратковременная топливная коррекция бензинового двигателя по напряжению датчика кислорода в процессе эксплуатации автомобиля

Б. У. Акунов✉, К. А. Имаров

Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова, пр. Чынгыза Айтматова, 66, Бишкек, 720044, Кыргызская Республика

✉ akunov1@yandex.ru



Аннотация. Объектом исследования являлась топливная коррекция топливно-воздушной смеси, в частности, кратковременная топливная коррекция по изменению напряжения датчика кислорода, установленного перед каталитическим нейтрализатором, в процессе эксплуатации автомобиля. Экспериментальные исследования проводились на автомобильной дороге Бишкек – Ош (Кыргызская Республика), которая проходит на высоте 750–3200 м над уровнем моря. Для нее характерны равнинные, горные и высокогорные условия эксплуатации автомобилей. На основании результатов экспериментальных исследований построены графики зависимости кратковременной топливной коррекции от изменения напряжения датчика кислорода при эксплуатации автомобиля. Отмечено, что по значениям параметров топливной коррекции можно оценить состояние топливно-воздушной смеси, а также сделать заключение о техническом состоянии датчиков, систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля. Выявлено, что при работе двигателя в штатном режиме, когда колебание показателей топливной коррекции составляет $\pm 10\%$, топливно-экономические и экологические показатели будут находиться в требуемой норме. Также следует признать, что современные автомобильные двигатели оснащены системой различных датчиков и электронным блоком управления двигателем, но имеют свои определенные недостатки в обеспечении стехиометрического состава топливно-воздушной смеси ($\lambda = 1$).

Ключевые слова: электронный блок управления двигателем, стехиометрический состав топливно-воздушной смеси, коэффициент избытка воздуха, оптимальный состав топливно-воздушной смеси, длительность импульса открытия форсунки, топливная коррекция, кратковременная топливная коррекция, напряжение датчика кислорода

Благодарности. Авторы выражают признательность Мамадиевой Г. С. за помощь в оформлении рукописи перед отправкой в редакцию.

Для цитирования: Акунов Б. У., Имаров К. А. Кратковременная топливная коррекция бензинового двигателя по напряжению датчика кислорода в процессе эксплуатации автомобиля. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(3):86–98. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-86-98>

Short-term fuel trim of petrol engine by oxygen sensor voltage during vehicle operation

Bakytbek U. Akunov✉, Kubatbek A. Imarov

Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, 66 Ch. Aitmatov avenue, Bishkek, 720044, Kyrgyz Republic

✉ akunov1@yandex.ru



Abstract. The object of the study was fuel trim of the air-fuel mixture, in particular, short-term fuel trim by voltage change of the oxygen sensor installed before the catalytic converter during vehicle operation. Experimental studies were on the Bishkek – Osh (Kyrgyz Republic) highway at an altitude of 750–3200 m above sea level. It is characterized by flat, mountainous and high mountainous vehicle operating conditions. The experimental studies results were used to graph the dependence of short-term fuel trim on the change of oxygen sensor voltage during vehicle operation. The values of fuel trim parameters can be used to assess the state of the air-fuel mixture, as well as to make a conclusion about the technical condition of sensors, systems and mechanisms of the engine and elements of the car exhaust system. In addition, in normal operation of the engine, when the fluctuation of fuel correction indicators is $\pm 10\%$, fuel-economic and environmental indicators will be in fit. It should also be recognized that the modern automobile engines have a system of various sensors and electronic engine control unit, but they have their certain disadvantages in ensuring the stoichiometric composition of the air-fuel mixture ($\lambda = 1$).

Keywords: electronic engine control unit, stoichiometric fuel-air mixture composition, air-fuel ratio, optimum fuel-air mixture composition, pulse duration of injector opening, fuel trim, short-term fuel trim, oxygen sensor voltage

Acknowledgements. The authors would like to thank G. S. Mamadieva for her assistance in the preparation of the manuscript before sending it to the editorial office.

For citation: Akunov B. U., Imarov K. A. Short-term fuel trim of petrol engine by oxygen sensor voltage during vehicle operation. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(3):86–98. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-86-98>



1. Введение

Как известно, основная задача производителей автомобилей в мире заключается в минимизации расхода топлива и выбросов вредных веществ в отработавших газах автомобиля. Теоретически снизить расход топлива и минимизировать ($\min \rightarrow 0$) выбросы вредных веществ в отработавших газах возможно при образовании стехиометрического состава топливно-воздушной смеси (на одну часть бензина – 14.7 частей воздуха, т. е. коэффициент избытка воздуха $\lambda = 1$)¹ [1, 2]. Но на практике, в реальных условиях эксплуатации автомобиля, не всегда удается создать такое соотношение состава топливно-воздушной смеси. В связи с этим часто используется термин *образование оптимального состава топливно-воздушной смеси* перед поступлением в цилиндры двигателя.

Вопросам образования оптимального состава топливно-воздушной смеси при эксплуатации автомобилей в различных условиях посвящено много научных исследований [3–8]. Но ни в одном из них не идет речь о роли топливной коррекции при образовании оптимального состава топливно-воздушной смеси.

Важно подчеркнуть, что эти работы, опубликованные в научных журналах с 2011 по 2017 год [3–8], посвящены двигателям автомобилей, где смесеобразование воздуха с топливом происходит в карбюраторе, и проблемам автомобилей с дизельными двигателями, которые были актуальны 40–45 лет назад при эксплуатации автомобилей в горных, высокогорных и высокотемпературных условиях. Авторы рассматривают и приводят результаты исследований работы двигателей старых автомобилей, не оснащенных электронными системами управления силовыми агрегатами.

¹ Toalston D. What are fuel trims? Available at: <https://www.obd-codes.com/faq/fuel-trims.php> (accessed: 23.03.2024).

Современные автомобили оснащены различными датчиками, которые связаны с работой электронного блока управления (ЭБУ) двигателем, а также другими агрегатами и узлами автомобиля² [9]. В этом плане для образования оптимального состава топливно-воздушной смеси особую значимость имеет топливная коррекция (Fuel Trim). Топливная коррекция производится ЭБУ двигателем на основании информации, полученной от датчиков систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля. Поэтому объектом исследования в данной работе являлась топливная коррекция топливно-воздушной смеси, в частности, кратковременная топливная коррекция по изменению напряжения датчика кислорода, установленного перед каталитическим нейтрализатором, т. е. первого датчика кислорода (Lambda Probe Bank 1 Sensor 1), где учитывается изменение напряжения датчика кислорода в процессе эксплуатации автомобиля.

Общеизвестно, что ЭБУ двигателем для образования оптимального состава топливно-воздушной смеси сначала рассчитывает необходимое количество топлива, которое происходит по следующей схеме³:

- формирование базовой длительности импульса открытия форсунки (базового времени впрыска топлива), мс;
- коррекция длительности импульса впрыска топлива по условиям эксплуатации;
- коррекция длительности импульса впрыска топлива по напряжению бортовой сети автомобиля.

В реальном режиме работы двигателя вначале ЭБУ двигателем определяет параметры базовой длительности импульса открытия форсунки, т. е. параметры базового количества необходимого топлива и значение угла опережения зажигания на основании данных показателей оборотов коленчатого вала и нагрузки на двигатель. Эти значения считываются из соответствующих таблиц в виде матрицы, запрограммированных заводом-изготовителем автомобиля, и корректируются с использованием поправочного коэффициента, называемого топливной коррекцией (Fuel Trim)⁴ [12]. После этого производится коррекция состава смеси, которая учитывает текущие параметры системы, то есть состояние двигателя и его систем в настоящее время. В данном случае к текущим состояниям двигателя и его систем в процессе эксплуатации автомобиля относятся следующие параметры выходных рабочих процессов и параметры окружающей среды⁵:

- температура жидкости в системе охлаждения двигателя;
- температура воздуха во впускном коллекторе перед поступлением в цилиндры двигателя;
- положение дроссельной заслонки в открытом, приоткрытом или закрытом состоянии в процентах (или градусах угла поворота заслонки);
- выделяемый состав отработавших газов в выхлопной системе автомобиля;
- давление подачи топлива к форсункам, создаваемое топливным насосом и в топливной рампе системы питания автомобиля;
- изменение давления и плотности воздуха окружающей среды с повышением высоты над уровнем моря;
- изменение в зависимости от погодных условий и времени года параметров окружающего воздуха – давления, плотности, температуры и влажности воздуха.

² Khayal O. Sensors in automobiles, internal combustion engines sensors. Available at: https://www.academia.edu/43693138/SENSORS_IN_AUTOMOBILES_INTERNAL_COMBUSTION_ENGINES_SENSORS (accessed: 04.03.2023).

³ Leshchenko V. P. Параметры коррекции состава воздушно-топливной смеси. Расчет базовой длительности количества топлива. Режим доступа: <https://studylib.ru/doc/2020093/parametry-korrekcii-sostava-vozdushno> (дата обращения: 16.03.2024).

⁴ Там же.

⁵ Там же.

Как известно, многие сканеры и программные обеспечения при диагностировании механизмов и узлов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля в основном показывают числовые значения параметров топливной коррекции в процентах (некоторые – в коэффициентах). Исходя из этого, можно утверждать, что топливная коррекция (Fuel Trim) – это параметр, который показывает в процентах, насколько необходимо изменить длительность импульса открытия форсунок, т. е. длительность подачи топлива форсунками для поддержания оптимального состава топливно-воздушной смеси $\lambda \approx 1$.

Необходимо подчеркнуть, что при диагностировании узлов и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля используют два взаимосвязанных между собой вида топливной коррекции топливно-воздушной смеси: долговременную (Long Term Fuel Trim – LTFT) и кратковременную (Short Term Fuel Trim – STFT) [2, 13].

Исходя из этого, в данной работе авторами была поставлена задача провести анализ изменения показателей топливной коррекции в процессе эксплуатации автомобиля и его влияния на сеобразование воздуха и топлива в двигателе.

2. Материалы и методы

Целью данной работы являлся экспериментальный анализ изменения показания кратковременной топливной коррекции в зависимости от изменения значения напряжения первого датчика кислорода при образовании топливно-воздушной смеси в процессе эксплуатации автомобиля.

Необходимо отметить, что в процессе диагностирования систем, узлов и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля используют еще один вид коррекции (кроме коррекции по напряжению первого датчика кислорода) – так называемую общую кратковременную топливную коррекцию (экран сканера показывает просто кратковременную топливную коррекцию). В данном случае учитываются изменения всех показателей параметров других датчиков, узлов и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы, в том числе изменение напряжения первого датчика кислорода.

Кратковременная топливная коррекция по изменению напряжения датчика кислорода, которая рассматривается в данной работе, – это непрерывная топливная коррекция длительности импульса открытия форсунки, т. е. времени подачи топлива форсункой, где учитывается только изменение напряжения первого датчика кислорода – Bank 1 Sensor 1. Следует отметить, что изменение напряжения первого датчика происходит в зависимости от количества остаточного кислорода в составе отработавших газов в процессе эксплуатации автомобиля, и это изменение напряжения датчика кислорода передается ЭБУ двигателем для корректировки длительности импульса открытия форсунки, т. е. времени подачи топлива форсункой. Отмечается, что колебание напряжения исправного датчика кислорода должно происходить в пределах от $0.04 \div 0.1$ до $0.80 \div 0.85$ В⁶. Среднее значение напряжения датчика кислорода – 0.45 В – считается стехиометрическим, при котором $\lambda = 1$. Это говорит о том, что ЭБУ двигателем контролирует образование стехиометрического состава топливно-воздушной смеси, т. е. $\lambda = 1$, перед поступлением ее в камеру сгорания двигателя.

Но на практике вышеуказанное оптимальное значение напряжения датчика кислорода не всегда соответствует 0.45 В. Это объясняется влиянием внешних условий эксплуатации автомобиля, а также износом – техническим состоянием систем, узлов и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы. Например, бывают случаи, когда оптимальное значение напряжения датчика кислорода составляет $0.5 \div 0.6$ В. Таким образом, оптимальное значение напряжения датчика кислорода, которое часто

⁶ Пахомов А. Как проверить лямбда зонд на работоспособность. Режим доступа: <https://pakhomov-school.ru/articles/diagnostika/proveryaem-lyambda-zond/> (дата обращения: 16.03.2024).

упоминается в данной работе, подразумевает под собой окно оптимальности или зону образования оптимального состава топливно-воздушной среды.

Для анализа показателей кратковременной топливной коррекции с учетом изменения значения напряжения первого датчика кислорода при образовании топливно-воздушной смеси в реальных условиях эксплуатации автомобиля проведен ряд экспериментальных исследований на автомобилях Toyota Corolla Verso с двигателем 3ZZ-FE, Toyota Avensis с двигателем 4A-FE, Mitsubishi Space Star с двигателем 4G18. Исследование осуществлялось при различных погодных условиях. Двигатели автомобилей были оснащены системой распределенного впрыска топлива (MPI), способ подачи топлива – фазированный (синхронный). В данной работе представлены только данные исследований автомобиля Toyota Corolla Verso, поскольку результаты экспериментальных исследований по указанным автомобилям объемны и аналогичны.

Как известно, на современных автомобилях устанавливают датчики кислорода на основе диоксида циркония (циркониевые) или оксида титана (титановые). На исследуемых автомобилях установлены датчики кислорода на основе диоксида циркония [11]. Экспериментальные исследования проводились на автомобильной дороге Бишкек – Ош, которая соединяет северные регионы Кыргызской Республики с южными регионами. Дорога проходит на высоте 750–3200 м над уровнем моря, для нее характерны равнинные, горные и высокогорные условия эксплуатации автомобилей. Из-за ограничения объема статьи в данной работе рассмотрен равнинный участок автомобильной дороги Бишкек – Ош от города Кара-Балта до поста «Сосновка» (61–71.3 км). Высота местности составляет 770–969 м над уровнем моря.

При проведении экспериментальных исследований использовались программное обеспечение MotorData, которое установлено на компьютер, и адаптер Openport 2.0 с кабелем USB для подключения компьютера к DLC (Data Link Connector) разъему автомобиля, т. е. к системе бортовой самодиагностики EOBD (European on Board Diagnostic – Европейская бортовая диагностическая система, основанная на спецификации OBD-II) автомобиля. При этом при работе двигателя на холостом ходу и при движении автомобиля на различных участках автомобильной дороги Бишкек – Ош фиксировались показатели следующих параметров: скорости движения автомобиля; обороты коленчатого вала двигателя; температура охлаждающей жидкости двигателя и поступающего воздуха во впускном коллекторе; массовый расход воздуха; длительность импульса открытия форсунки; угол опережения зажигания; абсолютное положение дроссельной заслонки (в процентах); напряжения, вырабатываемые датчиками кислорода до и после каталитического нейтрализатора; долговременная и кратковременная топливные коррекции, а также кратковременная топливная коррекция по первому датчику кислорода.

3. Результаты и обсуждение

На основании статистической обработки результатов исследований движения автомобиля на различных скоростных режимах были построены графики зависимости показателей кратковременной топливной коррекции (STFT) от изменения напряжения первого датчика кислорода (Bank 1 Sensor 1 – B1S1) в процентах (рис. 1 и 2).

Суть полученных графиков заключается в том, что значения показателей топливной коррекции являются параметрами, которые показывают изменения коэффициента избытка воздуха от стехиометрического состава топливно-воздушной смеси, т. е. $\lambda = 1$.

Таким образом, зная показатели топливной коррекции, можно определить коэффициент избытка воздуха топливно-воздушной смеси по выражению [10]:

$$\lambda = 1 + \left(\frac{K_{STFT B1S1}}{100} \right),$$

где $K_{STFT\ B1S1}$ – кратковременная топливная коррекция (STFT) по напряжению датчика кислорода топливно-воздушной смеси в процентах.

Следует подчеркнуть, что кратковременная топливная коррекция – это непрерывная коррекция, которая происходит 2-3 раза в секунду между небольшими положительными и отрицательными значениями в зависимости от условий эксплуатации автомобиля. Поэтому вид графика изменения напряжения (вольт) датчика кислорода и, соответственно, графика изменения показателя кратковременной топливной коррекции в процентах выглядит на экране компьютера (сканера, осциллографа) как синусоидальный, т. е. непрерывно скачет вверх, в сторону обогащения, и вниз, в сторону обеднения топливно-воздушной смеси.

Необходимо отметить, что графики на рис. 1 и 2 и таблицы 1–4 составлены для расстояния 10.3 км участка автомобильной дороги Бишкек – Ош (от города Кара-Балта до поста «Сосновка»). Из-за визуальной насыщенности и накладки показателей авторами было принято решение разделить это расстояние на два отрезка и отразить результаты исследования на четырех графиках и, соответственно, в четырех таблицах, чтобы показать наглядность изменения этих параметров.

На рис. 1 показаны графики зависимости кратковременной топливной коррекции (STFT) от изменения напряжения датчика кислорода при движении автомобиля Toyota Corolla Verso на различных скоростных режимах на участке 61–65 км.

Представим в табличном виде графики зависимости STFT от изменения напряжения датчика кислорода B1S1 (рис. 1) в процентах, принимая во внимание значения абсолютного положения дроссельной заслонки (таблицы 1 и 2).

Как было сказано выше, основным показателем работы датчика кислорода является напряжение выходного сигнала, которое колеблется в пределах от 0.04–0.1 до 0.80–0.85 В несколько раз в секунду. При пониженном содержании остаточного кислорода в отработавших газах, вызванном работой двигателя на обогащенной топливно-воздушной смеси, датчик кислорода выдает сигнал высокого уровня напряжения 0.65–0.85 В. В данном случае кратковременная топливная коррекция по первому датчику кислорода выдает отрицательное значение в процентах об обогащении топливно-воздушной смеси. Например, на рис. 1а при $B1S1 = 0.74$ В STFT B1S1 показывает значение минус 5.47 %. В это время ЭБУ двигателем уменьшает длительность импульса открытия форсунок и снижает подачу топлива, чтобы довести значение STFT B1S1 до 0 %.

При повышенном содержании остаточного кислорода в отработавших газах, вызванной работой двигателя на обедненной топливно-воздушной смеси, датчик кислорода вырабатывает сигнал низкого уровня напряжения 0.04–0.35 В [11]. В этом случае кратковременная топливная коррекция по первому датчику кислорода выдает положительное значение в процентах об обеднении топливно-воздушной смеси. Например, на рис. 1а при $B1S1 = 0.07$ В STFT B1S1 показывает положительное значение 2.34 %. В данном случае ЭБУ двигателем увеличивает длительность импульса открытия форсунок, а также подачу топлива, чтобы довести значение STFT B1S1 до 0 %.

Колебание коэффициента избытка воздуха λ (таблицы 1 и 2) происходит в пределах от 0.94 до 1.05, в процентном отношении отклонение от стехиометрического состава топливно-воздушной смеси находится в пределах до 6 %, т. е. двигатель работает в штатном режиме (рис. 1). Это говорит об оптимальном составе топливно-воздушной смеси, т. е. $\lambda \approx 1$ (соотношение примерно 14.7:1).

При отклонении состава смеси от оптимального, например, до 20 %, происходит ухудшение топливной экономичности и изменение состава отработавших газов автомобиля. В данном случае ЭБУ двигателем определяет состав топливно-воздушной смеси, т. е. производит так называемое лямбда регулирование количества топлива, впрыскиваемого через форсунки во впускной коллектор двигателя по значению напряжения датчика кислорода (лямбда зонда), которое, в свою очередь, зависит от содержания остаточного кислорода в отработавших газах автомобиля [10].

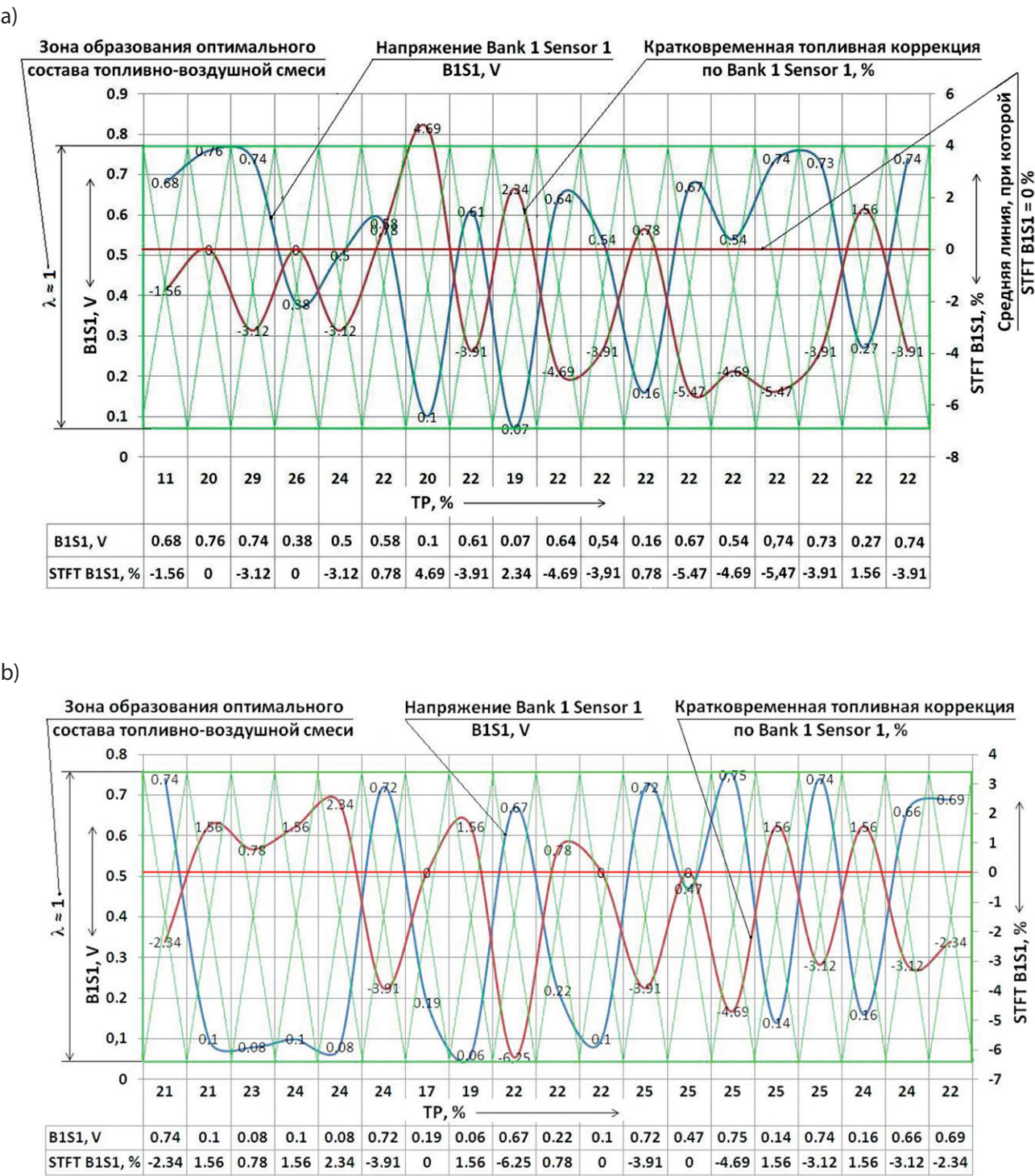


Рис. 1. Графики зависимости кратковременной топливной коррекции (STFT) от изменения напряжения датчика кислорода: а) данные, полученные при движении автомобиля на 61–63 км участка дороги; б) данные, полученные при движении автомобиля на 63–65 км участка дороги (составлены авторами)
Fig. 1. Graphs of short-term fuel transform (STFT) dependence on oxygen sensor voltage variation: а) data obtained when the vehicle was driven at 61–63 km of the road section; б) data obtained when the vehicle was driven at 63–65 km of the road section (graphs obtained by the authors)

Таблица 1 / Table 1

Значения параметров для оценки состояния топливно-воздушной смеси
(данные, полученные на 61–63 км участка дороги)
Parameter values for air-fuel mixture condition assessment
(data obtained at 61–63 km of the road section)

Значение TP, %	11	20	29	26	24	22	20	22	19	22	22	22	22	22	22	22	22	22
Значение B1S1, V	0.68	0.76	0.74	0.38	0.5	0.58	0.1	0.61	0.07	0.64	0.54	0.16	0.67	0.54	0.74	0.73	0.27	0.74
Значение STFT, %	-1.56	0	-3.12	0	-3.12	0.78	4.69	-3.91	2.34	-4.69	-3.91	0.78	-5.47	-4.69	-5.47	-3.91	1.56	-3.91
Значение λ	0.98	1.0	0.97	1.0	0.97	1.01	1.05	0.96	1.02	0.95	0.96	1.01	0.945	0.95	0.945	0.96	0.98	0.96

Таблица 2 / Table 2

Значения параметров для оценки состояния топливно-воздушной смеси
(данные, полученные на 63–65 км участка дороги)
Parameter values for air-fuel mixture condition assessment
(data obtained at 63–65 km of the road section)

Значение TP, %	21	21	23	24	24	24	17	19	22	22	22	25	25	25	25	25	24	24	22
Значение B1S1, V	0.74	0.1	0.08	0.1	0.08	0.72	0.19	0.06	0.67	0.22	0.1	0.72	0.47	0.75	0.14	0.74	0.16	0.66	0.69
Значение STFT, %	-2.34	1.56	0.78	1.56	2.34	-3.91	0	1.56	-6.25	0.78	0	-3.91	0	-4.69	1.56	-3.12	1.56	-3.12	-2.34
Значение λ	0.98	1.02	1.01	1.02	1.02	0.96	1.0	1.02	0.94	1.01	1.0	0.96	1.0	0.95	1.02	0.97	1.02	0.97	0.98

Следует отметить, что среднее значение напряжения датчика кислорода – 0.45 В – считается стехиометрическим, при котором $\lambda = 1$, но при движении автомобиля в реальных условиях оно не всегда соответствует этому значению. Это зависит от количества остаточного кислорода в составе отработавших газов.

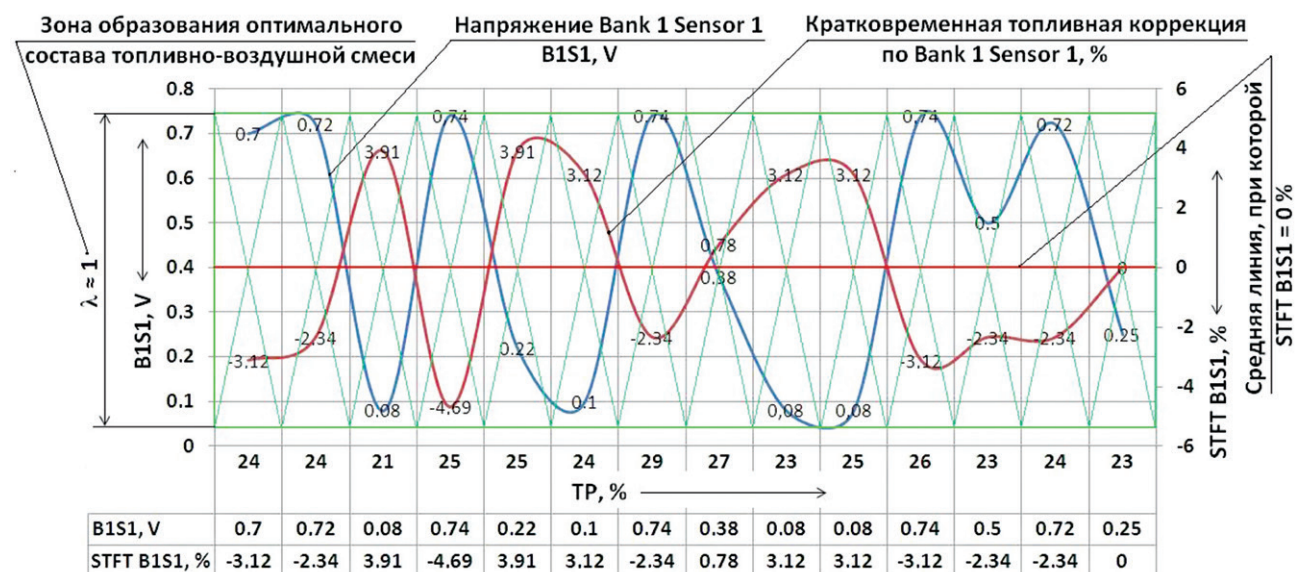
Согласно рис. 1, $\lambda = 1$ при значениях напряжения 0.76 и 0.38 В, так как при этих значениях кратковременная топливная коррекция составляет 0 % (таблица 1) и при значениях напряжения 0.19 и 0.47 В кратковременная топливная коррекция также составляет 0 % (таблица 2).

В соответствии с данными, представленными на рис. 1, кратковременная топливная коррекция равна 0 % при напряжении датчика кислорода 0.52 В (отмечено красной линией).

На рис. 2 показаны графики зависимости кратковременной топливной коррекции от изменения напряжения датчика кислорода при движении автомобиля на различных скоростных режимах на участке 65–71.3 км.

Представим в табличном виде графиков зависимости STFT от изменения напряжения датчика кислорода B1S1 в процентах (рис. 2), принимая во внимание значения абсолютного положения дроссельной заслонки (таблицы 3 и 4).

a)



b)

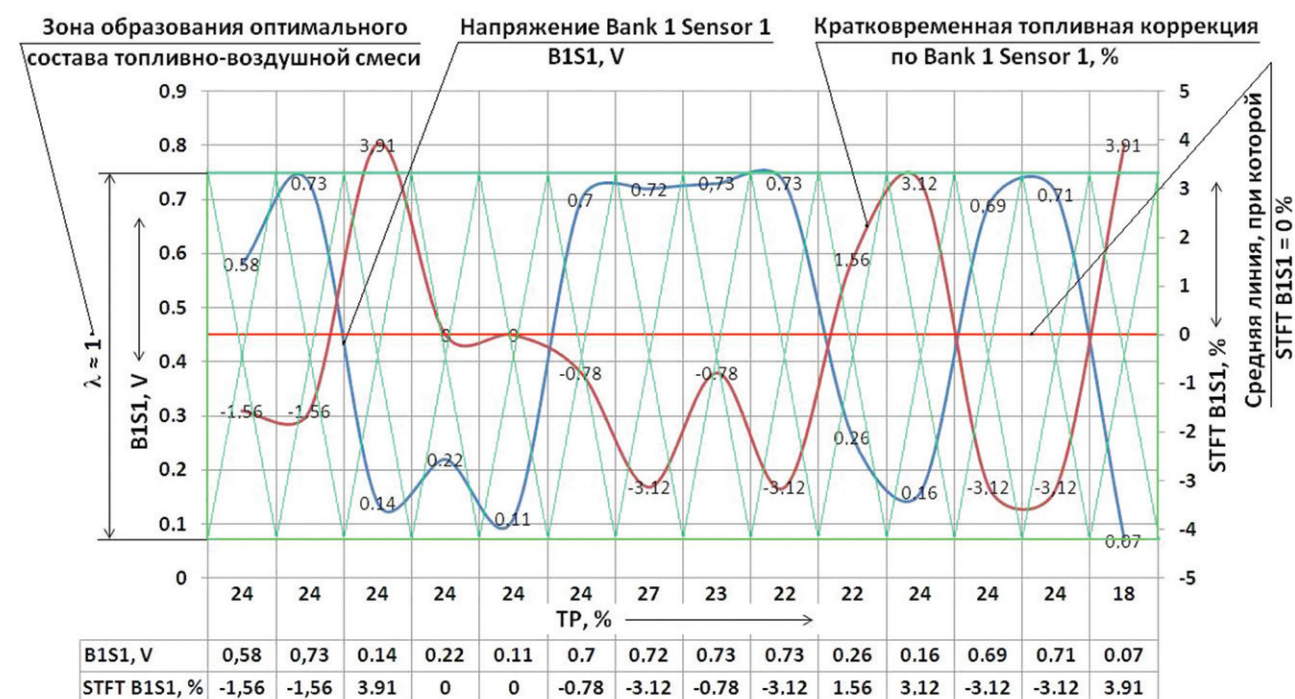


Рис. 2. Графики зависимости кратковременной топливной коррекции (STFT) от изменения напряжения датчика кислорода: а) данные, полученные при движении автомобиля на 65–68 км участка дороги; б) данные, полученные при движении автомобиля на 68–71.3 км участка дороги (составлены авторами)

Fig. 2. Graphs of short-term fuel transform (STFT) dependence on oxygen sensor voltage variation: а) data obtained when the vehicle was driven at 65–68 km of the road section; б) data obtained when the vehicle was driven at 68–71.3 km of the road section (graphs obtained by the authors)

Таблица 3 / Table 3

Значения параметров для оценки состояния топливно-воздушной смеси
(данные, полученные на 65–68 км участка дороги)
Parameter values for air-fuel mixture condition assessment
(data obtained at 65–68 km of the road section)

Значение TP, %	24	24	21	25	25	24	29	27	23	25	26	23	24	23
Значение B1S1, V	0.7	0.72	0.08	0.74	0.22	0.1	0.74	0.38	0.08	0.08	0.74	0.5	0.72	0.25
Значение STFT, %	-3.12	-2.34	3.91	-4.69	3.91	3.12	-2.34	0.78	3.12	3.12	-3.12	-2.34	-2.34	0
Значение λ	0.97	0.98	1.04	0.95	1.04	1.03	0.98	0.01	1.03	1.03	0.97	0.98	0.98	1.0

Таблица 4 / Table 4

Значения параметров для оценки состояния топливно-воздушной смеси
(данные, полученные на 68–71.3 км участка дороги)
Parameter values for air-fuel mixture condition assessment
(data obtained at 68–71.3 km of the road section)

Значение TP, %	24	24	24	24	24	24	27	23	22	22	24	24	24	18
Значение B1S1, V	0.58	0.73	0.14	0.22	0.11	0.7	0.72	0.73	0.73	0.26	0.16	0.69	0.71	0.07
Значение STFT, %	-1.56	-1.56	3.91	0	0	-0.78	-3.12	-0.78	-3.12	1.56	3.12	-3.12	-3.12	3.91
Значение λ	0.98	0.98	1.04	1.0	1.0	0.99	0.97	0.99	0.97	1.02	1.03	0.97	0.97	1.04

Значение коэффициента избытка воздуха λ колеблется в пределах от 0.95 до 1.05, в процентном отношении отклонение от стехиометрического состава топливно-воздушной смеси составляет до 5 %. Это означает, что двигатель работает в штатном режиме.

При значении напряжения B1S1 = 0.25 В кратковременная топливная коррекция составляет 0 % (таблица 3), при значениях напряжения B1S1 = 0.11–0.22 В также равна 0 % (таблица 4). В соответствии с рис. 2, это же значение кратковременная топливная коррекция имеет при напряжении датчика кислорода 0.4 В (рис. 2a) и 0.45 В (рис. 2b) (отмечено красной линией). Следует отметить, что на рис. 2 и в таблицах 3 и 4 отражены процессы, происходящие при движении автомобиля на автомобильной дороге в реальных условиях.

Необходимо подчеркнуть, что на графиках рис. 1 значения STFT B1S1 = 0 % (средние линии, отмеченные красным цветом) соответствуют значениям напряжения датчика кислорода B1S1 = 0.52 В, а на графиках рис. 2 средние линии, при которых значения STFT B1S1 = 0 %, соответствуют значениям напряжения датчика кислорода B1S1 = 0.4 В (рис. 2a) и B1S1 = 0.45 В (рис. 2b). Полученные в реальных условиях значения могут не совпадать с теоретическим значением 0.45 В, которое, как было отмечено выше, считается стехиометрическим.

Это можно объяснить тем, что в процессе эксплуатации автомобиля на изменение технически исправного состояния влияют:

- внутренние факторы – нагрев из-за температурной нагрузки, загруженность деталей, механизмов и агрегатов при работе автомобиля, износ деталей кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, износ деталей цилиндропоршневой группы узлов и механизмов двигателя и форсунок впрыска топлива, допусков на качество топлива и др.;
- внешние факторы условий эксплуатации автомобиля – изменение высоты рельефа местности над уровнем моря, состояние дорожного покрытия автомобильной дороги, изменение параметров окружающего воздуха – давления, плотности, температуры и влажности воздуха в зависимости от погодных условий и времени года.

4. Заключение

Показатели топливной коррекции являются параметрами, которые непосредственно отражают изменения коэффициента избытка воздуха $\lambda < 1 < \lambda$ в процессе эксплуатации автомобиля. Поэтому, зная показатели топливной коррекции, можно дать оценку коэффициенту избытка воздуха – топливно-воздушная смесь обогащена или обеднена.

Сущность графиков (рис. 1 и 2) и таблиц 1–4 заключается в том, чтобы показать зону образования оптимального состава топливно-воздушной смеси при эксплуатации автомобиля в различных условиях, а также среднюю линию, при которой STFT B1S1 стремится к 0 %.

Топливные коррекции (долговременная и кратковременная) являются основными параметрами при диагностировании систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля.

В автосервисных предприятиях диагностирование работы датчиков, систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля по параметрам топливных коррекций проводят обычно при работе двигателя автомобиля на холостом ходу, что приводит к неточностям при поиске неисправностей и отказов. Исключением могут быть автосервисные предприятия, где имеется необходимое технологическое оборудование для имитации движения автомобиля в различных условиях эксплуатации: городских, внегородских, равнинных, горных, высокогорных и т. д.

Поэтому диагностирование элементов систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля по параметрам топливных коррекций рекомендуется проводить для эффективного поиска неисправностей и отказов при движении автомобиля, когда двигатель работает на различных нагрузочных и температурных режимах.

Как сказано выше, если колебание показателя топливной коррекции составляет минус 10 % < 0 % < плюс 10 %, то двигатель работает в обычном штатном режиме. Отклонение показателя от этого значения свидетельствует об ухудшении топливно-экономических и экологических показателей автомобиля из-за появления возможных неисправностей датчиков, систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы автомобиля в процессе эксплуатации.

Современные автомобильные двигатели, оснащенные ЭБУ, в состоянии быстро адаптироваться к изменяющимся условиям – внутренним факторам, возникающим при работе автомобиля, и внешним факторам условий эксплуатации автомобиля, благодаря системе датчиков, контролирующей состав топливно-воздушной смеси. Однако и она имеет определенные ограничения. Поэтому ЭБУ двигателем не в состоянии обеспечить стехиометрический состав топливно-воздушной смеси ($\lambda = 1$).

Исходя из этого, можно заключить, что в настоящее время решение вышеуказанной проблемы является приоритетной задачей при усовершенствовании работы и конструкции систем и механизмов двигателя и элементов выхлопной системы современных автомобилей в плане экономии топлива и минимизации ($\min \rightarrow 0$) выбросов вредных веществ отработавших газов на окружающую среду.



Вклад авторов. Акунов Б. У. – планирование, организация и проведение экспериментальных исследований. Имаров К. А. – проведение экспериментальных исследований совместно с научным руководителем Акуновым Б. У.

Author contributions. Bakytbek U. Akunov, planning, organisation and carrying out of experimental research; Kubatbek A. Imarov, carrying out experimental research together with the scientific supervisor Bakytbek U. Akunov

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Рокош У. *Бортовая диагностика*. Москва: За рулем; 2013. 224 с.
2. Kuranc A. Exhaust emission test performance with the use of the signal from air flow meter. *Eksplatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. 2015;17(1):129–134. [https://doi.org/ 10.17531/ein.2015.1.17](https://doi.org/10.17531/ein.2015.1.17)
3. Глазунов Д. В., Глазунов В. И. Анализ необходимости улучшения эксплуатационных показателей автомобиля в условиях Кыргызской Республики. *Вестник КРСУ*. 2014; 14(12):149–152. Режим доступа: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/78/3323>.
4. Салова Т. Ю., Турсунов А. А., Мажитов Б. Ж. Оценка экологических показателей дизелей при горных условиях эксплуатации. *Вестник Таджикского технического университета*. 2011;1:91–98. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16546182>.
5. Глазунов Д. В. Расчет рабочего процесса автомобильного двигателя, работающего в условиях Кыргызской Республики. *Наука и новые технологии*. 2011;9:29–32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=vjwjnp>.
6. Глазунов Д. В., Глазунов В. И. Влияние высокогорных и высокотемпературных условий на процесс образования горючей смеси автомобильного бензинового двигателя и особенности ее горения. *Вестник КРСУ*. 2017;17(12):55–58. Режим доступа: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/34?heading=4181>.
7. Глазунов Д. В. Влияние высокотемпературных условий Кыргызской Республики на работу автомобильного карбюраторного двигателя. *Вестник КРСУ*. 2013;13(7):136–138. Режим доступа: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/86/3704..>
8. Глазунов Д. В. Влияние высокогорных условий Кыргызской Республики на рабочий цикл автомобильного карбюраторного двигателя. *Вестник КРСУ*. 2014;14(2):114–118. Режим доступа: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/66/2701>.
9. Ashok B., Ashok D., Ramesh Kumar C. A review on control system architecture of a SI engine management System. *Annual Reviews in Control*. 2016;(41):94–118. Режим доступа: https://www.academia.edu/31325688/A_review_on_control_system_architecture_of_a_SI_engine_management_system.
10. Акунов Б. У. Коррекция топливно-воздушной смеси при эксплуатации автомобиля в различных условиях. *Транспорт: наука, техника, управление*. 2019;(4):21–24. Режим доступа: <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J1763779920>.
11. Акунов Б. У. Анализ концентрации остаточного кислорода в отработавших газах автомобиля в зависимости от рельефа местности. *Автомобильная промышленность*. 2016;(5):28–30. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tvjuhu>.

References

1. Rokosch, U. *Onboard Diagnostics = On-Board-Diagnose*. Würzburg: Vogel Industrie Medien GmbH & Co. KG; 297. (In Germ.)
2. Kuranc A. Exhaust emission test performance with the use of the signal from air flow meter. *Eksplatacja i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability*. 2015;17(1):129–134. [https://doi.org/ 10.17531/ein.2015.1.17](https://doi.org/10.17531/ein.2015.1.17)
3. Glazunov D. V., Glazunov V. I. Analysis for necessary improvement of car operating characteristics in the Kyrgyz Republic. *Vestnik KRSU*, 2014;14(12):149–152. (In Russ). Available at: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/78/3323>.
4. Salova T. Yu., Tursunov A. A., Mazhitov B. Zh. Assessment of environmental performance of diesel engines under mountain operating conditions. *Vestnik Tadzhikskogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011;1:91–98. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16546182>

5. Glazunov D. V. Calculation of a car engine, working in the Kyrgyz Republic. *Nauka i novye tekhnologii*. 2011;9:29–32. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?edn=vjwjnp>.
6. Glazunov D. V., Glazunov V. I. Influence of high-heavy and high-temperature conditions for the process of mixture formation automobile petrol engine and the peculiarities of its combustion. *Vestnik KRSU*. 2017;17(12):55–58. (In Russ.) Available at: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/34?heading=4181>.
7. Glazunov D. V. Influence of high-temperature conditions of the Kyrgyz Republic on the performance of a car carburettor engine. *Vestnik KRSU*. 2013;13(7):136–138. (In Russ.) Available at: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/86/3704>.
8. Glazunov D. V. The influence of high-mountainous conditions of the Kyrgyz Republic on running cycle of a car carburetted engine. *Vestnik KRSU*. 2014;14(2):114–118. (In Russ.) Available at: <http://vestnik.krsu.edu.kg/archive/66/2701>.
9. Ashok B., Ashok D., Ramesh Kumar C. A review on control system architecture of a SI engine management System. *Annual Reviews in Control*. 2016;(41):94–118. Available at: https://www.academia.edu/31325688/A_review_on_control_system_architecture_of_a_SI_engine_management_system.
10. Akunov B. U. Correction of the air-fuel mixture during vehicle operation under various conditions. *Transport: science, equipment, management*. 2019;(4):21–24. (In Russ.) Available at: <http://lamb.viniti.ru/sid2/sid2free?sid2=J1763779920>.
11. Akunov B. U. Analysis of the concentration of residual oxygen in the exhaust gases of the vehicle depending on the terrain. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2016;(5):28–30. (In Russ.). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tvjuhu>.



Информация об авторах

Акунов Бакытбек Убайдиллаевич, канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика, akunov1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6439-9223>

Имаров Кубатбек Абдыкаарович, магистрант кафедры автомобильного транспорта, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, Бишкек, Кыргызская Республика, <https://orcid.org/0009-0008-3929-5623>

Information about the authors

Bakytbek U. Akunov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Automobile Transport Department, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic, akunov1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6439-9223>

Kubatbek A. Imarov, Graduate Student in the Automobile Transport Department, Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov, Bishkek, Kyrgyz Republic, akunov1@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-3929-5623>

Получена 06 апреля 2024 г., одобрена 25 апреля 2024 г., принята к публикации 20 августа 2024 г.

Received 06 April 2024, Approved 25 April 2024, Accepted for publication 20 August 2024



Анализ причин изменения пространственной структуры рисков дорожно-транспортной аварийности в Тюмени

Е. В. Лихайрова ✉, А. И. Петров

Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000,
Российская Федерация

✉ lihajrovaev@tyuiu.ru

Аннотация. В данной статье анализируются факт и причины изменений структурных особенностей риска дорожно-транспортной аварийности на отдельных магистральных улицах г. Тюмени с 2015 по 2022 гг. Проведено сравнение данных дорожно-транспортной аварийности на трех важнейших транспортных артериях города (участках ул. Республики, ул. 50 лет ВЛКСМ – Запольной – Чернышевского – Полевой, ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужской) за 2015 и 2022 гг. Выявлены структурные особенности рисков аварийности. Установлено, что для улиц, локализованных в центре города, срединной и периферийной частях, структура рисков аварийности в течение 8 лет кардинально изменилась: 1) на центральной магистральной ул. Республики отмечено снижение годового числа ДТП на 19.1 %, снижение годового числа пострадавших в ДТП – на 20.0 %; 2) на участке ул. 50 лет ВЛКСМ – Запольной – Чернышевского – Полевой наблюдается увеличение годового числа ДТП на 34.5 % и увеличение годового числа пострадавших в ДТП на 23.4 %; 3) на участке ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужской зафиксирован 2-3-кратный рост показателей дорожной аварийности: годовое число ДТП увеличилось на 217.6 %, годовое число пострадавших в ДТП – на 136.7 %. В центре города при общем снижении рисков аварийности изменились количественные и качественные соотношения между аварийностью на перекрестках и перегонах. Результаты данного исследования могут служить основой для выработки практических решений по повышению безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения (БДД), дорожно-транспортная аварийность, риск аварийности, структура риска

Для цитирования: Лихайрова Е. В., Петров А. И. Анализ причин изменения пространственной структуры рисков дорожно-транспортной аварийности в Тюмени. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(3):99–110. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-99-110>

Analysis of the causes of changes in the spatial structure of traffic accident risk in Tyumen

Evgeniia V. Likhajrova ✉, Artur I. Petrov

Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation

✉ lihajrovaev@tyuiu.ru

Abstract. The study examines the factors and causes of changes in the structural characteristics of road accidents on selected major streets of Tyumen from 2015 to 2022. The authors compared road accident data collected in 2015 and in 2022 for three main thoroughfare of the city: Respubliki street, 50 Let VLKSM – Zapolnaya – Chernyshevskogo street, Fedyuninskogo – Bypass Tyumen road – Zakaluzhskaya street. Structural

characteristics of accident risks have been identified. The study found that the structure of accident risks for streets located in the city center, middle, and peripheral areas has undergone a significant change over the past 8 years. 1. On the central arterial Respubliki street, a decrease in the annual number of accidents by 19.1 % and a decrease in the annual number of injured in accidents by 20.0 % was observed. 2. On the section of 50 Let VLKSM – Zapolnaya – Chernyshevskogo – Polevaya street, there was an increase in the annual number of accidents by 34.5 % and an increase in the annual number of injured in accidents by 23.4 %. 3. On the section of Fedyuninskogo – Bypass Tyumen Road – Zakaluzhskaya Street, a 2-3-fold increase in road accident indicators was recorded: the annual number of accidents increased by 217.6 %, the annual number of injured in accidents by 136.7 %. In the city center, with an overall reduction in accident risks, the quantitative and qualitative ratios between accidents at intersections and on road segments have changed. The results of this study can serve as a basis for developing practical solutions to improve road safety.

Keywords: road safety, road accidents, accident risk, risk structure

For citation: Likhajrova E. V., Petrov A. I. Analysis of the causes of changes in the spatial structure of traffic accident risk in Tyumen. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(3):99–110. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-99-110>



1. Введение

Проблема оценки технологических рисков дорожно-транспортной аварийности и поиск путей их снижения являются достаточно актуальными для мировой науки и практики [1, 2], однако в нашей стране данной тематике уделяют сравнительно небольшое внимание [3]. В российской науко-сфере, связанной с вопросами оптимизации функционирования дорожно-транспортного комплекса, основное внимание уделяется оценке абсолютных показателей безопасности дорожного движения (БДД) [3], установлению общих трендов, выявлению причин формирования тенденций. С позиции рисков дорожно-транспортную аварийность рассматривают редко, и это открывает достаточно широкое поле для исследовательских изысканий. В этой связи необходимо констатировать, что задача общей оценки рисков дорожно-транспортной аварийности, структурной дифференциации рисков получения травм, ранения, гибели в ДТП, сравнения их в динамике и попытка анализа причин изменения структуры рисков являются для нашей страны актуальными [4].

По имеющейся информации, за последние 9 лет (2015–2023 гг.) в Российской Федерации зафиксировано 1 397 158 ДТП, в которых погибло 157 407 человек и получили ранения 1 770 472 человек¹ [3]. Доля этой трагической статистики, приходящаяся на г. Тюмень, составляет соответственно 0.23/1.06 %. С учетом того, что в общей численности населения РФ доля Тюмени составляет 0.59 %², можно констатировать, что общая ситуация в сфере БДД в нашем городе может быть охарактеризована как весьма проблемная.

Этот вывод можно сделать прежде всего в отношении вероятности участия в ДТП (высокой), но не тяжести последствий (относительно низкой). Уже этот начальный тезис вызывает вопросы относительно причин такой специфики, ответы на них может дать сравнительный анализ оценки рисков на различных элементах улично-дорожной сети (УДС) города. И такая аналитическая работа вполне возможна благодаря результатам профессиональной деятельности сотрудников Научного Центра ГИБДД МВД РФ [3]. Начиная с 2015 г. НЦ ГИБДД МВД РФ ведет работу по пространственной

¹ Данные взяты с официального сайта ГИБДД МВД РФ. Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 15.05.2024).

² Данные взяты с официального сайта РОССТАТ. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/12781> (дата обращения: 15.05.2024).

оцифровке мест локализации ДТП. Анализ этой информации позволяет выявить тенденции изменения общей структуры рисков дорожно-транспортной аварийности и понять причины ее динамики.

В рамках данной статьи представлены результаты сравнительного исследования структуры рисков дорожно-транспортной аварийности в г. Тюмени в 2015 и 2022 гг. и выявлена ее пространственная специфика.

Город Тюмень является одним из федеральных лидеров по динамике численности населения и объемам ввода в эксплуатацию жилого фонда. Следствием этого являются постоянный рост автопарка региона и высокие требования к дорожно-транспортной инфраструктуре города.

Как отмечено в Программе комплексного развития транспортной инфраструктуры г. Тюмени на период 2018–2040 гг.³, протяженность дорог в границах города Тюмени составляет 1326.8 км (федерального значения – 3.7 км, регионального и межмуниципального значения – 117.7 км, местного значения – 1205.4 км). Пространственная загрузка элементов УДС города весьма неоднородна. Согласно исследованиям специалистов Тюменского индустриального университета, лишь около 15 % сети УДС города обеспечивает движение до 85 % городского транспортного потока. И даже среди этих участков с наиболее интенсивным движением есть свои лидеры – магистральные улицы и дороги 1, 2, 3 классов (согласно классификации СП 42.13330.2016⁴).

Целью данного исследования являлось выявление изменений структурных особенностей риска дорожно-транспортной аварийности на отдельных тюменских магистральных улицах и дорогах 2 класса в течение 2015...2022 гг. и попытка объяснения причин этих изменений.

Необходимо указать и мотивацию проведения такого исследования. Осенью 2016 г. в Тюмени была проведена так называемая светофорная реформа, главной целью которой было повышение БДД⁵. Однако, несмотря на тотальное разделение во времени движения транспортных потоков и пешеходов, которое теоретически должно было благотворно повлиять на безопасность тюменцев, практика показала, что этого не случилось [5].

2. Материалы и методы

Теоретический обзор

Риск дорожно-транспортной аварийности – достаточно абстрактное понятие. Конкретизируем его. Необходимо различать риск участия в ДТП, совокупность последствий ДТП и риск гибели в ДТП как комплексную (составную) характеристику [6].

Риск (или вероятность) участия в абстрактном ДТП в течение года $P_{ДТП\ год}$ для отдельного жителя города определяется как (1):

$$P_{ДТП\ год} = N_{ДТП\ год} / H_{гор.} \quad (1)$$

где $N_{ДТП\ год}$ – годовое число ДТП в городе, ед.;

$H_{гор.}$ – население города, чел.

³ Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры г. Тюмени на период 2018–2040 гг. Режим доступа: https://tyumendoc.ru/files/informer/file/2018/04/943_4.pdf (дата обращения: 18.05.2024).

⁴ СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений = Urban development. Urban and rural planning and development. Дата введения: 01.07.2017. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054209?ysclid=m1rn8bmh84735480251> (дата обращения: 18.05.2024).

⁵ Стратегия безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 гг. Распоряжение Правительства РФ от 8.01.2018 г. № 1-р. Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/g6BXGgDI4fCEiD4xDdJUwIxdPATBC12.pdf> (дата обращения: 19.05.2024).

Совокупность последствий ДТП $Cons_{ДТП\ год}$ рассчитывается как (2):

$$Cons_{ДТП\ год} = Sc_{ДТП} \cdot Sv_{ДТП} \quad (2)$$

где $Sc_{ДТП}$ – масштабность ДТП, число пострадавших / 1 ДТП, чел./ДТП;

$Sv_{ДТП}$ – тяжесть ДТП, доля погибших среди пострадавших в ДТП.

Масштабность ДТП $Sc_{ДТП}$ и тяжесть ДТП $Sv_{ДТП}$ определяются по (3) и (4):

$$Sc_{ДТП} = N_{жертв} / N_{ДТП} \quad (3)$$

где $N_{жертв}$ – число пострадавших в ДТП (сумма погибших и травмированных), чел.;

$N_{ДТП}$ – число ДТП;

$$Sv_{ДТП} = N_{погибших} / N_{жертв} \quad (4)$$

где $N_{погибших}$ – число погибших в ДТП, чел.

Риск гибели в ДТП в течение конкретного года $Risk_{гибели\ в\ ДТП\ год}$ как комплексная (составная) характеристика определяется по формуле (5):

$$Risk_{гибели\ в\ ДТП\ год} = P_{ДТП\ год} \cdot Cons_{ДТП\ год}$$

Однако этот подход в оценке рисков дорожно-транспортной аварийности хорошо работает в случае аналитики больших данных, характерных для крупных по размеру систем (регион, город) за относительно продолжительный период времени (год) [7]. В нашем же случае, когда ставится сравнительная задача оценки динамики во времени структуры рисков дорожно-транспортной аварийности на отдельных участках УДС (например, конкретных улицах или автодорогах), подходы, определяемые формулами (1)–(5), не являются работоспособными.

В этом случае приходится проводить аналитическую работу по анализу каждого ДТП, произошедшего на конкретном участке УДС за определенный период времени. В частности, такая аналитическая работа проводилась в течение годовых отрезков времени (сравнение данных по 2015 и 2022 гг.) для трех конкретных магистральных улиц 2 класса, локально расположенных в различных районах города и имеющих несколько разные функциональные назначения.

Итак, для выявления изменений структурных особенностей риска дорожно-транспортной аварийности на отдельных магистральных улицах г. Тюмени 2 класса был выбран и использован метод ручного сбора данных из общедоступных информационных баз ГИБДД и последующей их детальной обработки [8, 9].

Методика сравнительного исследования изменения пространственной структуры рисков дорожно-транспортной аварийности

Для изучения изменений во времени структуры дорожно-транспортной аварийности в Тюмени были выбраны следующие магистральные улицы:

- улица Республики (по всей протяженности от моста Влюбленных (Республики, 1) до «Автограда» (ул. Республики, 264));
- составная улица, включающая участки ул. 50 лет ВЛКСМ – Запольной – Чернышевского – Полевой (от ул. Монтажников до ул. Бабарынка);
- часть кольцевой автодороги, включающая участок ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужской (от ТЭЦ-2 до пересечения с Московским трактом).

Данный выбор обосновывался тем, что это параллельные улицы (автодороги), расположенные локально в различных частях (зонах) города (центральной, срединной и периферийной), однако выполняющие большой объем транспортной работы и единодушно признаваемые тюменцами в качестве важнейших транспортных артерий.

Локализация в различных зонах городской территории предположительно может влиять на формирование широкого диапазона режимов их функционирования (по составу и скорости потока, по интенсивности движения) и вероятность приоритетного использования их для движения разными категориями пользователей [10]. Следствием этого может быть различная структура рисков дорожно-транспортной аварийности.

3. Результаты и обсуждение

Оценка динамики общих рисков дорожно-транспортной аварийности в 2015 и 2022 гг.

В таблице 1 представлены результаты общего сравнительного анализа изменения величины рисков дорожно-транспортной аварийности в Тюмени в 2015 и 2022 гг.

Таблица 1 / Table 1

Общий сравнительный анализ изменения рисков дорожно-транспортной аварийности в Тюмени в 2015 и 2022 гг.

Comparative analysis of traffic accident risk trends in Tyumen between 2015 and 2022

Год	Население города, тыс. чел.	Число ДТП, ед.	Количество пострадавших в ДТП, чел.	Количество погибших, чел.	Социальный риск НР, погибших в ДТП / 100 тыс. чел.	Масштабность ДТП, пострадавших / ДТП	Тяжесть ДТП, % числа погибших от числа пострадавших	Риск участия (вероятность) ДТП	Совокупность последствий ДТП, погибших / ДТП
2015	697.0	1483	2014	41	5.88	1.358	2.03	0.0021	0.0276
2022	850.0	1532	2055	41	4.82	1.341	2.00	0.0018	0.0268
Риск гибели в ДТП в 2015 г. = $0.000058 = 5.8 \cdot 10^{-5}$									
Риск гибели в ДТП в 2022 г. = $0.000048 = 4.8 \cdot 10^{-5}$									

Отметим, что в течение 2015...2022 гг. риск гибели в ДТП в Тюмени снизился на 17.3 %. Этот положительный результат достигнут за счет одновременного снижения величин риска ДТП $P_{\text{ДТП год}}$ (т. е. вероятности участия в ДТП для отдельного жителя города) и совокупности последствий ДТП $Cons_{\text{ДТП год}}$.

Оценка количественного и качественного изменения рисков аварийности на ул. Республики в 2015 и 2022 гг.

В таблице 2 представлены структурные особенности риска дорожно-транспортной аварийности на ул. Республики – высокостатусной магистральной улице регулируемого движения, одной из центральных улиц города, где отмечается высокая плотность светофорных объектов, что обеспечивает частые остановки и среднюю по величине скорость сообщения транспортного потока, также затрудняет движение выделенная полоса для общественного транспорта.

Сравнение данных таблицы 2 показывает снижение годового числа ДТП на 19.1 % и снижение годового числа пострадавших в ДТП на 20.0 %. Фактов гибели людей в ДТП на ул. Республики не зафиксировано ни в 2015 г., ни в 2022 г.

Доля пострадавших в ДТП, локализованных на ул. Республики, в 2015 г. составила 5.5 % от общегородского уровня, при том что соответствующая доля ДТП составила 4.6 %. Аналогичные показатели в 2022 г. составили 4.3 и 3.6 % соответственно. Это свидетельствует о том, что локально в центре города БДД со временем повышается; одновременно фиксируется перенос аварийности из центра города на периферию. Масштабность ДТП при этом практически не изменилась (–1 %).

Анализ по гендерному признаку показал, что если в 2015 г. распределение пострадавших в ДТП было в соотношении 57/43 % в отношении мужчин/женщин, то в 2022 г. это соотношение значительно изменилось не в пользу женщин – 49/51 %. Вывод: по факту проведения светофорной рефор-

Таблица 2 / Table 2
Структурные особенности риска дорожно-транспортной аварийности на ул. Республики
Structural features of traffic accident risk on Respubliki street

Год	Численные значения показателей							
	Число ДТП, ед.	Количество пострадавших в ДТП, чел.	Количество погибших в ДТП, чел.	Масштабность ДТП, пострадавших ДТП	Пострадавшие в ДТП на перегоне УДС, чел.		Пострадавшие в ДТП на перекрестке УДС, чел.	
					мужчины		женщины	
2015	68 (4.6 %*)	110 (5.5 %)	0	1.618	63 (57 %)		47 (43 %)	
					32 (51 %)	31 (49 %)	27 (57 %)	20 (43 %)
2022	55 (3.6 %)	88 (4.3 %)	0	1.600	43 (49 %)		45 (51 %)	
					14 (33 %)	29 (67 %)	12 (27 %)	33 (73 %)

*Примечание: в процентах указана доля от общего числа по г. Тюмени

мы и установления «нового гомеостаза риска» снизилась доля пострадавших мужчин и увеличилась доля пострадавших женщин.

Анализ специфики элементов УДС [11] показал, что если в 2015 г. доли пострадавших (без учета пола пострадавших) на локациях «перегон», «перекресток» распределялись в отношении 59/51 чел. (53/47 %) соответственно, то в 2022 г. это соотношение составило 26/62 чел. (30/70 %). Вывод: по факту проведения светофорной реформы и установления нового гомеостаза риска увеличилась доля пострадавших в ДТП, приходящихся на локацию «перекресток». В 2022 г. по сравнению с 2015 г. доля пострадавших в ДТП на перекрестках выросла на 22 %. Скорее всего, это является следствием попыток проезда перекрестков на предупреждающий и запрещающий сигналы светофора по причине нежелания тратить значительное время в ожидании начала движения [12].

Диаграмма (рис. 1.) наглядно представляет результаты сравнения численных значений показателей рисков дорожно-транспортной аварийности, локализуемой на ул. Республики, в 2015 и 2022 гг.

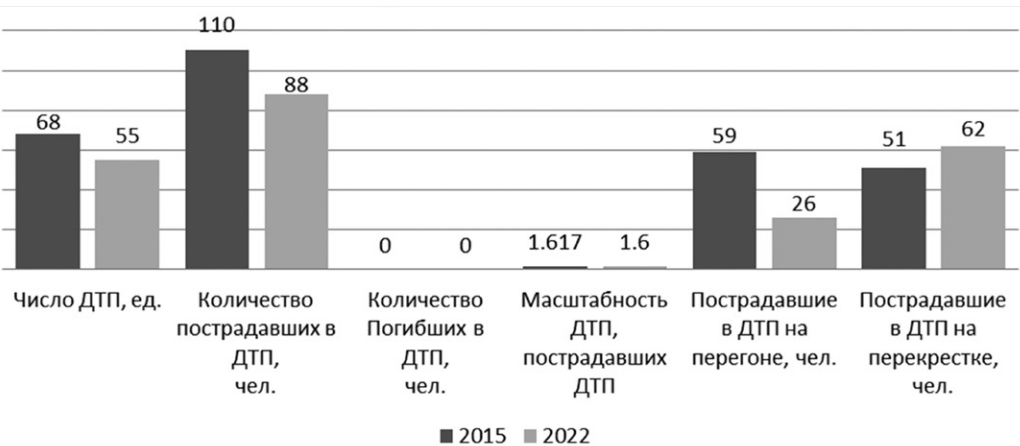


Рис. 1. Сравнение показателей дорожно-транспортной аварийности на ул. Республики
Fig. 1. Comparison of traffic accident rates on Respubliki street

Оценка количественного и качественного изменения рисков аварийности на составной ул. 50 лет ВЛКСМ – Запольной – Чернышевского – Полевой в 2015 и 2022 гг.

В таблице 3 представлены структурные особенности риска дорожно-транспортной аварийности на составной ул. 50 лет ВЛКСМ – Запольной – Чернышевского – Полевой (от ул. Монтажных до ул. Бабарынка) – магистральной транзитной улице регулируемого движения. Этот участок автодороги является параллельным улице Республики и расположен в срединной части города с относительно низкой плотностью светофорных объектов, редкими остановками движения и высокой скоростью сообщения транспортного потока.

Таблица 3 / Table 3

Структурные особенности риска дорожно-транспортной аварийности на составной ул. 50 лет ВЛКСМ – Запольной – Чернышевского – Полевой
Structural features of traffic accident risks on the composite street of 50 let VLKSM – Zapolnaya – Chernyshevskogo – Polevaya

Год	Численные значения показателей							
	Число ДТП, ед.	Количество пострадавших в ДТП, чел.	Количество погибших в ДТП, чел.	Масштабность ДТП, пострадавших в ДТП	Пострадавшие в ДТП на перегоне УДС, чел.	Пострадавшие в ДТП на перекрестке УДС, чел.	Пострадавшие в ДТП на перегоне, чел.	Пострадавшие в ДТП на перекрестке, чел.
					мужчины		женщины	
2015	29 (2.0 %*)	47 (2.3 %)	0	1.621	27 (57 %)		20 (43 %)	
					10 (37 %)	17 (63 %)	3 (15 %)	17 (85 %)
2022	39 (2.6 %)	58 (2.8 %)	2	1.487	35 (60 %)		23 (40 %)	
					16 (46 %)	19 (54 %)	15 (65 %)	8 (35 %)

* Примечание: в процентах указана доля от общего числа по г. Тюмени

Сравнение данных таблицы 3 показывает увеличение годового числа ДТП на 34.5 % и увеличение годового числа пострадавших в ДТП на 23.4 %. В 2022 г. в ДТП на составной ул. 50 лет ВЛКСМ – Запольной – Чернышевского – Полевой зафиксирована гибель 2 чел., в 2015 г. фактов гибели людей не зафиксировано.

Доля пострадавших в ДТП, локализованных на составной ул. 50 лет ВЛКСМ – Запольной – Чернышевского – Полевой, составила в 2015 г. 2.3 % от общегородского уровня, при том что соответствующая доля ДТП составила 2.0 %. Аналогичные пропорции по данным 2022 г. составили 2.8 и 2.6 % соответственно. Это свидетельствует о том, что на магистральной транзитной улице уровень БДД со временем снижается; именно на подобные транзитные улицы в срединных и периферийных районах Тюмени фиксируется перенос аварийности. Масштабность ДТП в 2022 г. по сравнению с 2015 г. несколько снизилась (–8.2 %).

Результаты анализа по гендерному признаку: в 2015 г. распределение пострадавших в ДТП было в соотношении 57/43 % в отношении мужчин/женщин, в 2022 г. соотношение изменилось незначительно – 60/40 %. Вывод: светофорная реформа 2016 г. практически не сказалась на изменении структуры пострадавших в ДТП на составной ул. 50 лет ВЛКСМ – Запольной – Чернышевского – Полевой.

Анализ специфики элементов УДС показал, что если в 2015 г. доли пострадавших (без учета пола пострадавших) распределялись в отношении 13/34 чел. (28/72 %) на локациях «перегон», «перекресток», то в 2022 г. это соотношение составило 31/27 чел. (53/47 %). Вывод: светофорная реформа оказала значительное влияние на изменение перераспределения пострадавших относительно раз-

личных элементов УДС. В 2022 г. более чем в 2 раза выросла доля пострадавших в ДТП на перегонах. Скорее всего, это является следствием фактического повышения скорости движения транспортных средств на значительных по длине перегонах между светофорными объектами.

Диаграмма (рис. 2) наглядно представляет результаты сравнения численных значений показателей рисков дорожно-транспортной аварийности, локализуемой на составной ул. 50 лет ВЛКСМ – Запольной – Чернышевского – Полевой.

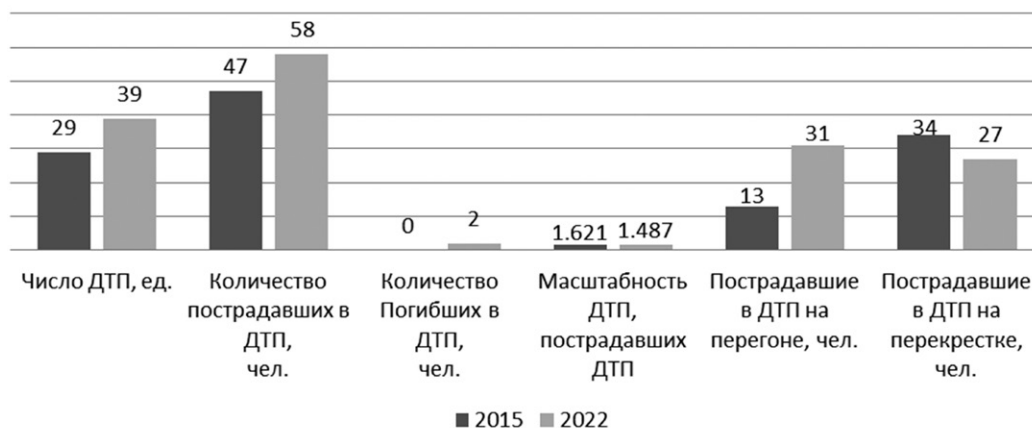


Рис. 2. Сравнение показателей дорожно-транспортной аварийности на составной магистральной ул. 50 лет ВЛКСМ – Запольной – Чернышевского – Полевой

Fig. 2. Comparison of traffic accident rates on the composite street of 50 let VLKSM – Zapolnaya – Chernyshevskogo – Polevaya

Оценка количественного и качественного изменения рисков аварийности на составной ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужской в 2015 и 2022 гг.

В таблице 4 представлены структурные особенности риска дорожно-транспортной аварийности на составной ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужской (от ТЭЦ-2 до пересечения с Московским трактом) – магистральной транзитной улице скоростного движения. Этот участок автодороги является параллельным ул. Республики и расположен в периферийной части города с отсутствием светофорных объектов и очень высокой скоростью сообщения транспортного потока.

Таблица 4 / Table 4

Структурные особенности риска дорожно-транспортной аварийности на составной ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужской

Structural features of traffic accident risks on the composite Fedyuninskogo – Bypass road – Zakaluzhskaya street

Год	Численные значения показателей							
	Число ДТП, ед.	Количество пострадавших в ДТП, чел.	Количество погибших в ДТП, чел.	Масштабность ДТП, пострадавших ДТП	Пострадавшие в ДТП на перегоне УДС, чел.		Пострадавшие в ДТП на перекрестке УДС, чел.	
					мужчины		женщины	
2015	17 (1.1 %*)	30 (1.5 %)	0	1.756	15 (50 %)		15 (50 %)	
					10 (66 %)	5 (34 %)	10 (66 %)	5 (34 %)
2022	54 (3.5 %)	71 (3.5 %)	2	1.333	37 (52 %)		34 (48 %)	
					24 (65 %)	13 (35 %)	24 (65 %)	13 (35 %)

* Примечание: в процентах указана доля от общего числа по г. Тюмени

Сравнение данных таблицы 4 показывает увеличение годового числа ДТП на 217.6 % (т. е. более чем в 3 раза) и увеличение годового числа пострадавших в ДТП на 136.7 % (т. е. более чем в 2 раза). В 2022 г. в ДТП на данном участке зафиксирована гибель 2 чел., в 2015 г. фактов гибели людей не зафиксировано.

Доля пострадавших в ДТП, локализованных на составной ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужской, составила в 2015 г. 1.5 % от общегородского уровня, соответствующая доля ДТП составила 1.1 %. Пропорции по данным 2022 г. составили 3.5 и 3.5 % соответственно. Это свидетельствует о том, что на магистральной транзитной улице с высокоскоростным сообщением уровень БДД со временем снижается; именно разрешенная высокая скорость до 90 км/ч (а по факту многочисленные нарушения требований к скоростному режиму) вероятнее всего являются причиной увеличения числа ДТП и количества пострадавших в ДТП с тяжелыми последствиями для здоровья. Масштабность ДТП в 2022 г. по сравнению с 2015 г. снизилась (–31.73 %).

Гендерный анализ показал, что в 2015 г. распределение пострадавших в ДТП было в соотношении 50/50 % в отношении мужчин/женщин, в 2022 г. это соотношение изменилось незначительно – 52/48 %. Вывод: светофорная реформа практически не сказалась на изменении структуры пострадавших в ДТП. Предопределено это тем, что составная ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужская является частью Окружной дороги и не предполагает наличия светофорных объектов и пешеходных переходов.

Анализ специфики элементов УДС показал, что если в 2015 г. доли пострадавших (без учета пола пострадавших) распределялись в отношении 20/10 чел. (67/33 %) на локациях «перегон» и «перекресток» соответственно, то в 2022 г. это соотношение составило 46/25 чел. (65/35 %). Структурные соотношения практически не изменились, однако общий рост аварийности – катастрофический.

Итак, главная проблема организации дорожного движения на составной ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужской – резкое снижение уровня БДД, связанное с повышением скорости движения потока относительно сравнительно безопасного режима. Построенные и введенные в эксплуатацию в 2015...2020 гг. двухуровневые транспортные развязки ул. Федюнинского с ул. Монтажных, ул. Пермькова, ул. Червишевский тракт не только создают возможности для повышения скорости потока, но и становятся причиной нарушения установленного скоростного режима.

Диаграмма (рис. 3) наглядно представляет результаты сравнения численных значений показателей рисков дорожно-транспортной аварийности, локализуемой на составной ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужской.

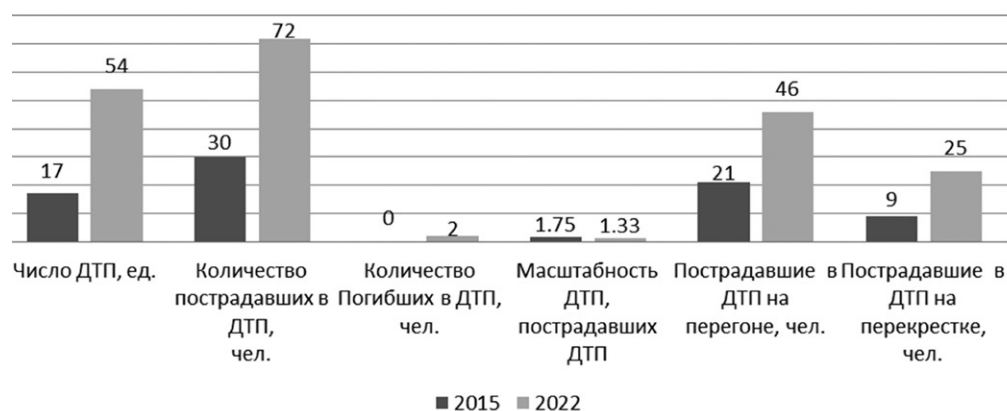


Рис. 3. Сравнение показателей дорожно-транспортной аварийности на составной магистральной ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужской
 Fig. 3. Comparison of traffic accident rates on the composite on the composite Fedyuninskogo – Bypass road – Zakaluzhskaya street

4. Заключение

Подводя итоги исследования, хочется отметить, что в целом дорожно-транспортная аварийность в Тюмени весьма специфична и находится на достаточно высоком, в сравнении с другими российскими городами, уровне. Для транспортной системы г. Тюмени характерны относительно высокие риски участия в ДТП, при том что риски гибели в ДТП находятся на низком уровне. Объяснение этой специфичности, на наш взгляд, следует искать в анализе качества парка транспортных средств горожан и специфике организации системы регулирования движения транспортных потоков.

Сравнительный анализ статистики дорожной аварийности в 2015 и 2022 гг. позволяет констатировать следующее:

- риск гибели в ДТП в Тюмени в течение 2015...2022 гг. снизился на 17 %;
- этот положительный результат достигнут за счет одновременного снижения величин риска $P_{\text{ДТП год}}$ (т. е. вероятности участия в ДТП для отдельного жителя города) и совокупности последствий ДТП $Cons_{\text{ДТП год}}$.

Важнейшим результатом исследования стали выводы об изменении пространственной структуры аварийности. Для центральной магистральной улицы города – ул. Республики – можно констатировать достижение относительных успехов в сфере повышения БДД (снижение общей аварийности на 20 %). Для магистральных улиц в срединной и периферийной частях города, к сожалению, ситуация в сфере аварийности серьезно ухудшилась. Для ул. Федюнинского – Обход города Тюмени – Закалужской – магистральной транзитной улицы скоростного движения с отсутствием светофорных объектов и очень высокой скоростью сообщения транспортного потока – динамика аварийности за последние 8 лет просто катастрофична. Здесь зафиксирован 2-3-кратный рост различных показателей дорожной аварийности в течение 2015...2022 гг.

Очевидно, что светофорная реформа 2016 г. и трансформация дорожно-транспортной инфраструктуры коснулись транспортной системы города целиком, но результаты ее на разных участках городской УДС очень разные.

В центре города (ул. Республики) аварийность в целом снизилась, но изменились количественные и качественные соотношения между аварийностью на перекрестках и перегонах. Попытка разведения потоков во времени и, как следствие, увеличение числа светофорных фаз в цикле способствовало увеличению продолжительности цикла (порой до 180–240 сек.). Очевидно, что длительная задержка начала движения серьезно сказывается в целом на поведении водителей и пешеходов. Все чаще водители превышают скорость, создавая аварийные ситуации, а пешеходы переходят дорогу на запрещающий сигнал светофора. Этот вывод можно сделать на основе данных о том, что в 2022 г. на 22 % по сравнению с 2015 г. выросла доля пострадавших в ДТП на перекрестках ул. Республики. Этот факт плохо соотносится с задумкой о пользе разделения конфликтных потоков и, очевидно, является следствием попыток проезда водителями перекрестка в светофорных режимах «мигающий предупреждающий сигнал» и «начальная фаза запрещающего сигнала».

В заключение отметим, что подобные исследования структуры рисков на различных элементах городской УДС чрезвычайно важны для понимания того, как связаны между собой конкретные управленческие решения и последствия их практической реализации. Тюменский пример является хорошей иллюстрацией этого тезиса.



Вклад авторов. Петров А. И. – постановка цели и задач исследования, обзор литературных источников, разработка методики проведения исследования, анализ и обсуждение результатов, формулировка выводов; Лихайрова Е. В. – обзор литературных источников, сбор данных, проведение вычислительных работ, анализ и обсуждение результатов, формулировка выводов.

Author contributions. Artur I. Petrov: defined the research goals and objectives, conducted a literature review, developed the research methodology, analyzed the results, and formulated the conclusions;

Evgeniia V. Likhajrova: conducted a literature review, collected data, performed computational work, analyzed the results, and formulated the conclusions.

Конфликт интересов. Авторы заявляют, что у них нет конкурирующих финансовых интересов или личных связей, которые могли бы повлиять на проведение исследований и результаты данной статьи.

Conflict of interest. The authors declare that they have no conflicts of interest, financial or personal, that could have affected the research and results presented in this article.

Список литературы

1. Aven T. The risk concept – historical and recent development trends. *Reliability Engineering & System Safety*. 2012;99(3):33–44. <https://doi.org/10.1016/j.res.2011.11.006>
2. Aven T., Renn O., Rosa E. A. The ontological status of the concept of risk. *Safety Science*. 2011;49(8):1074–1079. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.04.015>
3. Баканов К. С., Ляхов П. В., Айсанов А. С., Исаев М. М., Никулин Е. Д., Коблов П. С., Сергунова А. С., Селедников Н. В., Наумов С. Б., Князев А. С. *Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 2022 год. Информационно-аналитический обзор*. Москва: ФКУ «НЦ БДД МВД России»; 2023. 150 с. Режим доступа: <https://journal.tinkoff.ru/media/dorozhno-transportnaya-avarijnost-v-rf-2022.eo8crzl41hjn..pdf?ysclid=m1ubh3dz7z362990704>.
4. Петров А. И. Дорожно-транспортная аварийность в Тюмени: тренды XXI века. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2021;(2):64–75. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2021-2-64-75>
5. Петров А. И., Лихайрова Е. В. Специфика риска дорожно-транспортной аварийности в городах Российской Федерации (2022). *Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник*. 2024;(6):3–10. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2024-06-1>
6. Petrov A. I., Likhajrova E. V. Sustainable improvement of road safety in Russian cities: General trends and the dialectical contradictions in the structure of risks of fatalities in road traffic accidents. *Journal of Sustainability Research*. 2024;6(3):e240042. <https://doi.org/10.20900/jsr20240042>
7. Лихайрова Е. В., Петров А. И. Комплексная ранговая оценка безопасности дорожного движения в г. Тюмени в сравнении с крупнейшими городами Урало-Сибирской зоны. *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе*. 2023;1:142–146. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_60034424_29968697.pdf.
8. Петров А. И., Лихайрова Е. В. Анализ особенностей локализации и распределения во времени частоты аварийных столкновений транспортных средств в крупном российском городе. *Мир транспорта и технологических машин*. 2024;(1-1):30–38.
9. Петров А. И. К вопросу о простейшей классификации специфических особенностей дорожно-транспортной аварийности в крупнейших городах Российской Федерации (2021). *Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник*. 2022;(12):43–48. <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-12-7>
10. Новиков А. Н., Кущенко Л. Е., Кущенко С. В., Новиков И. А. Анализ существующих методов оценки вероятности возникновения ДТП на участках улично-дорожной сети города. *Вестник гражданских инженеров*. 2021;(2):222–231. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2021-18-2-222-231>
11. Новиков А. Н., Кулев М. В., Кулев А. В. Разработка мероприятий по снижению дорожно-транспортной аварийности по вине водителей в состоянии алкогольного опьянения. *Мир транспорта и технологических машин*. 2016;(4):97–104. Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_27487197_45904366.pdf.
12. Кравченко П. А. Организация и безопасность дорожного движения в больших городах. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2013;(1):1–2.

References

1. Aven, T. The risk concept – historical and recent development trends. *Reliability Engineering & System Safety*. 2012;99(3):33–44. <https://doi.org/10.1016/j.res.2011.11.006>
2. Aven T., Renn O., Rosa E. A. The ontological status of the concept of risk. *Safety Science*. 2011;49(8):1074–1079. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.04.015>
3. Bakanov K. S., Lyahov P. V., Aisanov A. S., Isaev M. M., Nikulin E. D., Koblov P. S., Sergunova A. S., Selednikov N. V., Naumov S. B., Knyazev A. S. *Road traffic accidents in the Russian Federation in 2022: An information and analytical review*. Moscow: Scientific center for road safety of the Ministry of internal affairs of Russia, 2023. (In Russ.)

- Available at: <https://journal.tinkoff.ru/media/dorozhno-transportnaya-avarijnost-v-rf-2022.eo8crzl41hjn..pdf?ysclid=m1ubh3dz7z362990704>.
4. Petrov A. I. Road traffic accidents rate in Tyumen: 21st century trends. *Architecture, construction, transport*. 2021;(2):64–75. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2021-2-64-75>
 5. Petrov A. I., Likhayrova E. V. Specific risk of road traffic accidents in the cities of the Russian Federation (2022). *Transport: Science, Equipment, Management. Scientific information collection*. 2024;(6):3–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2024-06-1>
 6. Petrov A. I., Likhajrova E. V. Sustainable improvement of road safety in Russian cities: General trends and the dialectical contradictions in the structure of risks of fatalities in road traffic accidents. *Journal of Sustainability Research*. 2024;6(3):e240042. <https://doi.org/10.20900/jsr20240042>
 7. Petrov A. I., Likhayrova, E. V. (2023). Comprehensive ranking assessment of road safety in Tyumen in comparison with the largest cities of the Ural-Siberian zone. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse*. 2023;1:142–146. (In Russ.) Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_60034424_29968697.pdf.
 8. Petrov A. I., Likhayrova E. V. Analysis of localization and distribution features in time of the frequency of emergency collisions of vehicles in a large Russian city. *World of transport and technological machines*. 2024;(1-1):30–38. (In Russ.)
 9. Petrov A. I. On the issue of the simplest classification of specific features of road traffic accident rate in the largest cities of the Russian Federation (2021). *Transport: Science, Equipment, Management. Scientific information collection*. 2022;(12):43–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.36535/0236-1914-2022-12-7>
 10. Novikov A. N., Kushchenko L. E., Kushchenko S. V., Novikov I. A. Analysis of existing methods for assessing the probability of accidents on the city's road network sections. *Bulletin of Civil Engineers*. 2021;(2):222–231. (In Russ.) <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2021-18-2-222-231>
 11. Novikov A. N., Kulev M. V., Kulev A. V. Development of measures to reduce road traffic accident caused by drivers intoxicated. *World of Transport and Technological Machines*. 2016;(4):97–104. (In Russ.) Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_27487197_45904366.pdf.
 12. Kravchenko, P.A. Organization and safety of road traffic in big cities. *Science and Engineering for Highways*. 2013;(1):1–2. (In Russ.)



Информация об авторах

Лихайрова Евгения Владимировна, аспирант кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Российская Федерация, lihajrovaev@tyuiu.ru

Петров Артур Игоревич, канд. техн. наук, доцент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Российская Федерация, ArtlgPetrov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2634-0567>

Information about the authors

Evgeniia V. Likhajrova, Postgraduate in the Department of Automotive Transport Operation, Industrial University of Tyumen, Russian Federation, lihajrovaev@tyuiu.ru

Artur I. Petrov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Automotive Transport Operation, Industrial University of Tyumen, Russian Federation, ArtlgPetrov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2634-0567>

Получена 30 июля 2024 г., одобрена 15 сентября 2024 г., принята к публикации 23 сентября 2024 г.
Received 30 July 2024, Approved 15 September 2024, Accepted for publication 23 September 2024



Некоторые аспекты повышения качества изделий, получаемых методом аддитивных технологий

А. И. Стариков, А. С. Губенко✉, М. А. Пермяков, В. М. Соловьев, А. А. Цыганова
Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000,
Российская Федерация
✉ gubenkoas@tyuiu.ru

Аннотация. Аддитивные технологии находят все более широкое применение в различных сферах повседневной жизни и отраслях экономики. Однако аспекты технологического обеспечения различных параметров точности изделий, получаемых методами трехмерной печати, на сегодняшний день изучены недостаточно. В рамках данной работы рассмотрен подход, в котором проблемы обеспечения требуемых выходных характеристик изделий исследуются комплексно: с позиций оборудования, технологических режимов и самого рабочего процесса. В качестве инструментов для исследования использовались методы управления качеством, методы математической статистики, а также частотный анализ. В ходе экспериментальных исследований были напечатаны партии деталей. В дальнейшем производилось измерение и анализ параметров их точности. Также рассматривался вопрос влияния резонансных частот колебаний элементов принтера на выходные параметры процесса печати. Было доказано, что устранение данных частот посредством настройки приводов оборудования повышает точность получаемых изделий. В дальнейшем планируется изучить влияние режимов печати на точность изделий и параметры колебательных процессов в элементах принтера. Это даст возможность более эффективно осуществлять технологическую подготовку производства изделий рассматриваемого класса.

Ключевые слова: трехмерная печать, аддитивные технологии, распечатанные изделия, режимы печати, показатели качества, поверхностный слой

Для цитирования: Стариков А. И., Губенко А. С., Пермяков М. А., Соловьев В. М., Цыганова А. А. Некоторые аспекты повышения качества изделий, получаемых методом аддитивных технологий. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(3):111–119. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-111-119>

Aspects of improving the quality of products manufactured by additive technologies

Aleksandr I. Starikov, Arseniy S. Gubenko✉, Mikhail A. Permyakov, Vasily M. Soloviev,
Alena A. Tsyganova
Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation
✉ gubenkoas@tyuiu.ru

Abstract. Today, additive technologies are common used in different areas of human life and economics. However, the aspects of technological support for various parameters of accuracy in products obtained with 3D printing are not yet fully understood. This study investigates the problems of ensuring the required output products' characteristics through a comprehensive approach, considering equipment, technological modes, and the work process itself. The study employed quality management methods, mathematical statistics,

and frequency analysis as research tools. During experimental studies, batches of parts were printed. The parameters of the part accuracy were then measured and analyzed. The authors also examined the issue of printer elements' resonant vibrations frequencies on the printing process output parameters. The study demonstrated that eliminating these frequencies by tuning equipment drives improves the accuracy of the resulting products. Further research will explore the impact of printing modes on the accuracy of products and the parameters of vibrational processes in printer elements. Obtaining this data will allow for more efficient technological preparation of the production of this class of products.

Keywords: 3D printing, additive technologies, printed products, printing modes, quality indicators, surface layer

For citation: Starikov A. I., Gubenko A. S., Permyakov M. A., Soloviev V. M., Tsyganova A. A. Aspects of improving the quality of products manufactured by additive technologies. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(3):111–119. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-3-111-119>



1. Введение

Последние годы характеризуются бурным развитием аддитивных технологий, которые широко применяются в различных сферах человеческой жизни и отраслях экономики. Тем не менее, для данной группы методов характерны некоторые недостатки [1–4]:

- высокая удельная энергоемкость (установлено, что при изготовлении одних и тех же изделий с использованием процесса трехмерной печати и литья соотношение потребляемой энергии в 50–100 раз больше);
- высокая себестоимость изготовления изделий;
- недостаточная проработка вопросов, касающихся периодичности технического обслуживания и ремонта оборудования, из-за отсутствия необходимого объема информации;
- наличие вредных выбросов при производстве изделий;
- отсутствие технологических рекомендаций по назначению режимов печати, что существенно затрудняет технологическую подготовку производства (по сути, каждое изделие изготавливается в результате пробных попыток, анализа полученных результатов и последующей подналадки оборудования).

В связи с этим аддитивные технологии сегодня используются преимущественно в единичном производстве. Одной из существенных проблем, препятствующих внедрению трехмерной печати в серийное производство, является недостаточная проработка вопросов технологической подготовки, в том числе в части обеспечения точности. Для традиционных технологий, связанных с удалением припуска, проблема анализа качества и точности деталей решается комплексно [5–7], с учетом аспектов оборудования [8–10], технологической оснастки и самого техпроцесса [11–12]. В случае с аддитивными технологиями исследования в основном носят несистемный характер и посвящены, как правило, только одному из указанных выше элементов [13, 14].

Кроме того, в отличие от аддитивных технологий, достаточно хорошо изучены вопросы диагностирования [15–17], ремонта и управления качеством [18–19] традиционных технологических процессов.

В рамках данной работы рассматривался комплексный подход к проблемам обеспечения требуемых выходных характеристик изделий, получаемых методами трехмерной печати (с позиций оборудования, технологических режимов и самого рабочего процесса).

2. Материалы и методы

С целью анализа резонансов, возникающих в конструкции 3D-принтера, был подготовлен экспериментальный стенд, который включал:

- персональный компьютер для обработки информации по моделям и параметрам процесса печати;

- датчик-акселерометр для снятия информации о вибрационных процессах, происходящих в оборудовании;
- плату MCU, используемую для подключения всех устройств, входящих в состав экспериментального стенда;
- электрические шаговые двигатели, используемые в качестве приводов;
- драйверы для обеспечения требуемой кинематики рабочих частей стенда (управление шаговыми двигателями происходит за счет передачи управляющего ШИМ-сигнала от драйвера к обмоткам шагового двигателя).

Структурная схема стенда приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема экспериментального стенда (составлена авторами)

Fig. 1. Structural scheme of the experimental bench (created by the authors)

	A	B	C	D	E
1	freq,psd_x,psd_y,psd_z,psd_xyz				
2	0.0,5.102e+00,7.400e+01,6.141e+00,8.524e+01				
3	1.5,1.281e+01,5.156e+01,3.066e+01,9.502e+01				
4	3.1,1.280e+01,2.480e+01,3.585e+01,7.345e+01				
5	4.6,1.358e+01,3.266e+02,3.863e+01,3.788e+02				
6	6.2,1.495e+01,1.105e+03,3.930e+01,1.160e+03				
7	7.7,1.406e+01,1.829e+03,3.949e+01,1.882e+03				
8	9.3,1.601e+01,2.591e+03,4.250e+01,2.649e+03				
9	10.8,1.941e+01,3.457e+03,4.480e+01,3.522e+03				
10	12.3,1.853e+01,4.470e+03,4.261e+01,4.531e+03				
	resonances_x_20230408_194909				

Рис. 2. Формат данных, снимаемых с датчика (фото авторов)

Fig. 2. Format of data captured from sensor (author's photo)

В качестве тестовых образцов были использованы тонкостенные детали коробчатого сечения с толщиной стенки 1.15 мм и размерами сечения 60 × 30 мм. Для исследования использовался материал PETG (полиэтиленглюкольтерефталат) – термопластичный полимер с высокой жесткостью и твердостью. Физико-механические свойства материала приведены в таблице 1.

Линейные измерения деталей выполнялись с использованием индикатора часового типа и цифрового штангенциркуля. Оценка шероховатости осуществлялась методом визуального контроля с использованием образцов.

Исследование вибраций выполнялось посредством датчика-акселерометра и специального программного обеспечения. Данные, которые снимаются с датчика, представляют собой текст (рис. 2).

Таблица 1 / Table 1

Физико-механические свойства полимера PETG
Physical and mechanical properties of PETG polymer

Плотность, кг/м ³	Предел текучести, Па	Предел прочности при растяжении, Па	Удлинение, %	Твердость по Виккерсу, Па	Модуль Юнга, Па
12 600	4.79 × 10 ⁷	6.0 × 10 ⁷	1.02–1.18	1.48 × 10 ⁸	2.01 × 10 ⁸

В дальнейшем происходила обработка данных и построение спектров вибраций с выявлением резонансных частот. Исследования проводились на режимах с подавлением резонанса и без подавления его. Анализ вариантов проводился на основе построения древовидных диаграмм. Статистическая обработка результатов исследований выполнялась на основе проверки критериев согласия

[20, 21]. Сравнение вариантов осуществлялось на основе квалиметрической оценки дифференциальным методом с использованием следующих формул для определения коэффициентов сравнения y_i признаков базового образца (P_{i6}) и оцениваемого образца (P_{i0}):

$$y_i = \frac{P_{i0}}{P_{i6}}, \quad (1)$$

$$y_i = \frac{P_{i6}}{P_{i0}}. \quad (2)$$

Выражение (1) используется в случае позитивных показателей, формула (2) – для сравнения негативных.

3. Результаты и обсуждение

На рис. 3 приведен график резонансных частот: ось абсцисс отражает частоту колебаний во время тестирования, ось ординат представляет спектральную плотность мощности, которая отражает информацию об амплитудах спектральных составляющих колебаний.

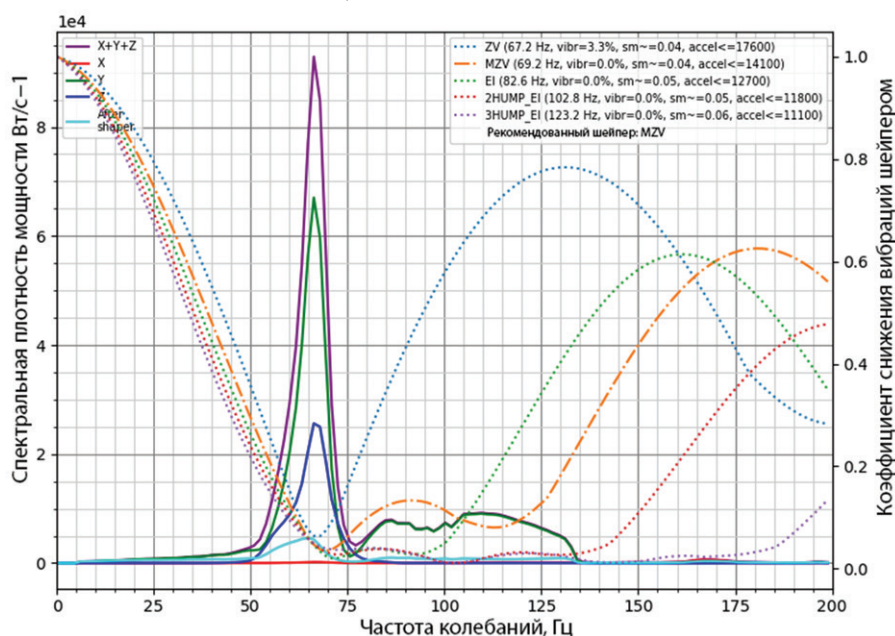


Рис. 3. График резонансных частот (составлен авторами)
Fig. 3. Resonance frequency graph (created by the authors)

В таблице 2 приведен пример выборки данных по вариантам процесса. В качестве параметров X_1 и X_2 используются отклонения размеров по ширине и длине детали. X_1 соответствует отклонениям первого образца, а X_2 второго образца, на основании которых проводились измерения. Номер варианта – это сочетания значений режимов печати, h – толщина наносимого слоя, мм, V_n – скорость подачи материала, мм/с. Интервалы варьирования: $h = 0.05 \dots 0.14$ мм; $V_n = 20 \dots 74$ мм/с. Варианты с 1 по 5 реализованы с нейтрализацией резонансных явлений, а с 6 по 10 – без таковой.

Таблица 2 / Table 2

Выборка данных
Data sampling

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h , мм	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14
V_n , мм/с	20	26	32	38	44	50	56	62	68	74
X_1 , мм	0.05	0.07	0.1	0.09	0.27	0.09	0.12	0.18	0.14	0.33
X_2 , мм	0.07	0.11	0.09	0.08	0.24	0.11	0.1	0.15	0.12	0.28

На рис. 4 приведена дендрограмма, которая показывает разделение данных на кластеры.

На рис. 5 приведены гистограммы распределения размеров деталей в случае использования нейтрализации резонансных явлений и без нее.

В таблице 3 приведены результаты расчетов коэффициентов сравнения по формуле (2). В качестве базового варианта использована печать без нейтрализации резонансных явлений.

Результаты исследования резонансных явлений показали, что критические значения вибраций соответствуют частоте в пределах 50...75 Гц (рис. 3). Таким образом, необходимо предпринять меры для их устранения. Наиболее перспективно использовать для этих целей шейперы. Анализ результатов кластерного анализа показал, что при использовании метода ближайшего соседа образовалось 3 кластера (рис. 4), которые состоят из следующих элементов:

- 1 кластер включает элементы 1, 2, 3, 4, 5, 6;
- 2 кластер включает элементы 7 и 8;
- 3 кластер состоит из 9 и 10.

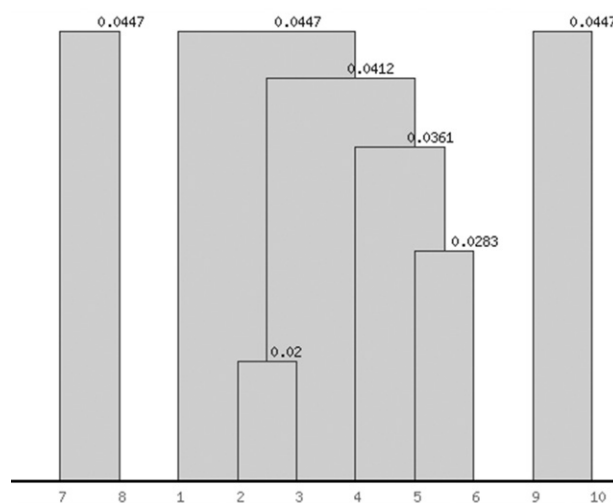
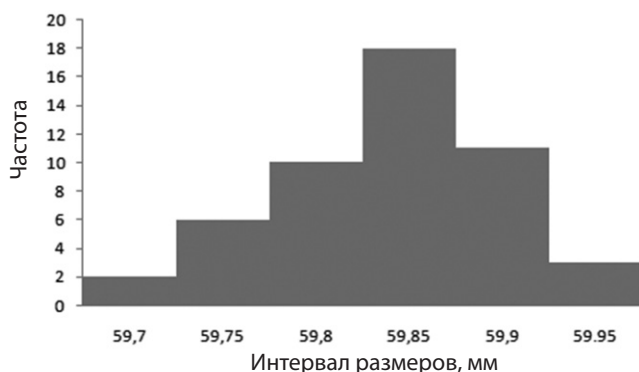


Рис. 4. Результаты кластерного анализа
(рисунок авторов)

Fig. 4. Cluster analysis results (figure by the authors)

a)



b)

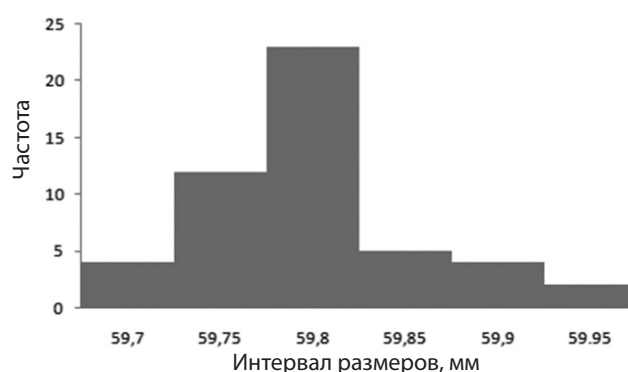


Рис. 5. Гистограммы распределения размеров деталей:

a) в случае использования нейтрализации резонансных явлений; b) без нее (составлены авторами)

Fig. 5. Histograms showing the distribution of part size: a) with resonance neutralization;

b) without resonance neutralization (created by the authors)

Таблица 3 / Table 3

Результат расчета коэффициентов сравнения
Comparison coefficient calculation results

Наименование показателей качества	Значения показателей качества:		Коэффициент сравнения γ_i
	с нейтрализацией (базовый)	без нейтрализации	
Допуск по качеству (IT) по ширине	№ 9	№ 12	1.33
Допуск по качеству (IT) по высоте	№ 7	№ 8	1.14
Допуск по качеству (IT) по длине	№ 8	№ 12	1.5
Погрешность угловая, °	0.3	0.5	1.6
Среднее арифметическое отклонение профиля Ra, мкм	3.2	6.3	1.96

Из этого следует, что первый кластер можно отнести к наилучшему качеству, второй к среднему уровню качества, а третий – к худшему уровню. Таким образом, использование нейтрализации резонансных явлений позволяет повысить уровень качества.

Проверка соответствия распределения размеров деталей, полученных при печати с нейтрализацией резонансных явлений и без нее, нормальному закону показала следующие результаты:

- Размеры деталей, полученных с нейтрализацией резонансных явлений, соответствуют нормальному закону, т. к. наблюдаемое значение критерия согласия Пирсона составляет $K_{набл} = 1.86$, а критическое $K_{кр}(0.05;3) = 7.81473$. В силу того, что выполняется неравенство $K_{набл} < K_{кр}$, гипотеза принимается.
- Размеры деталей, полученных без нейтрализации резонансных явлений, не соответствуют нормальному закону, т. к. наблюдаемое значение критерия согласия Пирсона $K_{набл} = 9.29$, а критическое $K_{кр}(0.05;3) = 7.81473$. Неравенство $K_{набл} < K_{кр}$ не выполняется, следовательно, гипотеза отвергается.

Квалиметрическая оценка вариантов реализации процесса трехмерной печати показала, что по всем рассматриваемым параметрам вариант с нейтрализацией резонансных явлений превосходит базовый. Результирующее значение коэффициента сравнения будет равно:

$$y_i = \frac{1.33+1.14+1.5+1.6+1.96}{5} = 1.5.$$

4. Заключение

Проведенные исследования позволили сделать ряд выводов:

1. Использование частотного анализа дает возможность выявить резонансные явления, которые возникают при трехмерной печати, и в дальнейшем нейтрализовать их посредством соответствующего управляющего воздействия на приводы.
2. Выходные параметры процесса трехмерной печати, реализуемого с использованием нейтрализации резонансных явлений, соответствуют нормальному закону распределения. Это позволяет обеспечить лучшую управляемость и стабильность техпроцесса.
3. По данным кластерного анализа и квалиметрической оценки можно сделать вывод, что использование нейтрализации резонансных явлений позволяет получать более высокий уровень качества.

В качестве перспектив для дальнейших исследований можно выделить следующие:

- выявление зависимости параметров резонансных явлений от условий печати;
- выявление зависимостей между выходными параметрами трехмерной печати и точностью деталей;
- разработку теоретических моделей для определения резонансных частот.



Вклад авторов. Стариков А. И. – создание и обоснование концепции исследования, планирование эксперимента, выбор данных для анализа. Губенко А. С. – разработка экспериментального стенда для 3D-печати образцов и анализа вибраций, сбор и систематизация характеристик резонансных частот с акселерометра, создание графиков, компьютерное моделирование экспериментальных образцов. Пермяков М. А. – анализ литературы, статистический анализ результатов эксперимента, формулировка выводов и интерпретация результатов эксперимента. Соловьев В. М. – критический пересмотр текста рукописи, подготовка инструментария и оборудования. Цыганова А. А. – проведение инструментальных исследований по измерению шероховатости и размерных отклонений образцов, отслеживание воспроизводимости результатов, оформление и редактирование рукописи.

Author contributions. Aleksandr I. Starikov: developed and justified the research concept, planned the experiment, and selected data for analysis. Arseniy S. Gubenko: designed the experimental setup for 3D printing samples and

vibration analysis, collected and organized accelerometer data on resonance frequencies, created graphs, and conducted computer modeling of the experimental samples. Mikhail A. Permyakov: conducted a literature review, performed statistical analysis of the experimental results, formulated conclusions, and interpreted the experimental findings. Vasily M. Soloviev: critically reviewed the manuscript, prepared instrumentation and equipment. Alena A. Tsyganova: conducted instrumental investigations to measure the roughness and dimensional deviations of the samples, monitored the reproducibility of the results, formatted, and edited the manuscript.

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

Список литературы

1. Куликов М. Ю., Ларионов М. А., Гусев Д. В., Шевчук Е. О. Улучшение шероховатости поверхностей деталей из полимерных материалов, полученных с помощью аддитивных технологий. *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2021;(7):12–18. <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2021-7-12-18>
2. Торубаров И. С., Битюшкова А. А. Кинематические системы перемещения печатающей головки 3D-принтера. *Аддитивные технологии*. 2020;(2):8–10. Режим доступа: <https://additiv-tech.ru/publications/kinematicheskie-sistemy-peremeshcheniya-pechatayushchey-golovki-3d-printera.html>.
3. Безъязычный В. Ф. *Метод подобия в технологии машиностроения*. Москва: Машиностроение; 2012. 317 с.
4. Кабалдин Ю. Г., Шатагин Д. А., Аносов М. С., Ключкова Н. С., Давыдов А. М. Повышение механических свойств материалов, полученных аддитивным электродуговым выращиванием. *Вестник машиностроения*. 2024;103(2):148–153. <https://doi.org/10.36652/0042-4633-2024-103-2-148-153>
5. Суслов А. Г. *Качество поверхностного слоя деталей машин*. Москва: Машиностроение; 2000. 320 с.
6. Симонов А. М., Остапчук А. К., Овсянников В. Е. *Основы обеспечения качества поверхности деталей машин с использованием динамического мониторинга*. Курган: Курганский государственный университет; 2010. 118 с.
7. Дунин-Барковский И. В., Карташова А. И. *Измерение и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности*. Москва: Машиностроение; 1978. 232 с.
8. Заковоротный В. Л., Лукьянов А. Д., Нгуен Донг Ань, Фам Динь Тунг. *Синергетический системный синтез управления динамикой металлорежущих станков с учетом эволюции связей*. Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет; 2008. 324 с.
9. Безъязычный В. Ф., Тимофеев М. В., Фоменко Р. Н., Киселев Э. В. Анализ используемых методик для назначения режимных условий процесса резания. *Технология металлов*. 2017;(12):2–10.
10. Овсянников В. Е., Шпитко Г. Н., Васильев В. И. *Технические и инженерно-психологические основы проектирования машин*. Курган: Курганский государственный университет; 2014. 115 с.
11. Остапчук А. К., Овсянников В. Е. Синергетический подход к определению отклика технологической системы на внешнее воздействие. *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*. 2011;(3):36–41.
12. Овсянников В. Е., Васильев В. И. Экспертная система проектирования технологического оборудования. *Инженерный вестник Дона*. 2015;(1-1):19. Режим доступа: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2765>.
13. Квитко А. В., Симонова А. С., Буза Е. Л. Особенности построения моделей 3D-печати на различном программном обеспечении. *Инновации и инвестиции*. 2024;(4):391–393. Режим доступа: <https://www.innovazia.ru/upload/iblock/134/0odigvm8037fm1avvs3jxdwdf0ar8ae7/%E2%84%964%202024%20%D0%98%D0%B8%D0%98.pdf>.
14. Чабаненко А. В. Моделирование поведения экструдера в классической трехосевой аддитивной установке. В сб.: *Математические методы и модели в высокотехнологичном производстве*. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; 2023. С. 288–290. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=66343834&pff=1>.
15. Овсянников В. Е., Шпитко Г. Н. *Основы проектирования и конструирования машин*. Курган: Курганский государственный университет; 2012. 75 с. Режим доступа: http://dspace.kgsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/3873/Овсянников-ВЕ_2012_УП.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
16. Остапчук А. К., Рогов Е. Ю., Овсянников В. Е. Метод оценки погрешности формы деталей гидравлических систем транспортных машин. *Транспорт Урала*. 2011;(2):38–40. Режим доступа: <https://elibrary.ru/nwgzdp>.

17. Овсянников В. Е., Кузнецова Е. М., Некрасов Р. Ю., Тицкая С. Ю. Разработка математической модели колебательных процессов при токарной обработке материалов с обратным распределением твердости. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;2:105–113. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-2-105-113>
18. Некрасов Р. Ю., Темпель Ю. А. Автоматизированная коррекция управляющих программ для станков с ЧПУ по трансформируемой CAD-модели маложесткой заготовки в рамках технической подготовки производства. *Вестник МГТУ «Станкин»*. 2021;1:35–40. Режим доступа: <https://elibrary.ru/miqher>.
19. Proskuryakov N. A., Nekrasov R. Yu., Starikov A. I., Solov'ev I. V., Barbyshev B. V., Tempel' Yu. A. Fuzzy Controllers in the Adaptive Control System of a CNC Lathe. *Russian Engineering Research*. 2018;38(3):220–222. <https://doi.org/10.3103/S1068798X18030188>
20. Пичурин И. И., Блинов Д. В. *Управление качеством промышленных услуг*. Екатеринбург: Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина; 2016. 106 с. Режим доступа: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/41205>.
21. Остапчук А. К., Овсянников В. Е. *Научные основы обеспечения шероховатости поверхности на базе анализа случайных процессов*. Курган: Курганский государственный университет; 2012. 196 с.

References

1. Kulikov M., Larionov M., Gusev D., Shevchuk E. Surface roughness improvement of parts made of polymeric materials obtained by means of additive technologies. *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2021;(7):12–18. (In Russ.) <https://doi.org/10.30987/1999-8775-2021-7-12-182>.
2. Torubarov I. S., Bityushkova A. A. Kinematic systems for 3D printer printhead movement. *Additivnye tekhnologii*. 2020;(2):8–10. (In Russ.) Available at: <https://additiv-tech.ru/publications/kinematicheskie-sistemy-peremeshcheniya-pechatayushchey-golovki-3d-printera.html>.
3. Bezyazychnyy V. F. *Similarity method in mechanical engineering technology*. Moscow: Mashinostroenie; 2012. (In Russ.)
4. Kabaldin Yu. G., Shatagin D. A., Anosov M. S., Klochkova N. S., Davydov A. M. Improving the mechanical properties of materials produced by wire arc additive manufacturing. *Russian Engineering Research*. (In Russ.) 2024;44:528–533. <https://doi.org/10.3103/S1068798X24700606>
5. Suslov A. G. *Surface layer quality of machine parts*. Moscow: Mashinostroenie; 2000. (In Russ.)
6. Simonov A. M., Ostapchuk A. K., Ovsyannikov V. E. *Fundamentals of surface quality assurance for machine parts using dynamic monitoring*. Kurgan: Kurgan State University; 2010. (In Russ.)
7. Dunin-Barkovsky I. V., Kartashova A. I. *Measurement and analysis of surface roughness, waviness, and out-of-roundness*. Moscow: Mashinostroenie; 1978. (In Russ.)
8. Zakovorotnyy V. L., Luk'yanov A. D., Nguen D. A., Fam D. T. *Synergetic system synthesis of metal cutting machine tool dynamics control considering the evolution of relationships*. Rostov-on-Don: Don State Technical University; 2008. (In Russ.)
9. Bezyazychnyy V. F., Timofeev M. V., Fomenko R. N., Kiselev E. V. Analysis of used procedures for purpose of regime conditions of cutting process. *Tehnologia Metallov*. 2017;(12):2–10. (In Russ.)
10. Ovsyannikov V. E., Shpitko G. N., Vasil'ev V. I. *Technical and engineering-psychological principles of machine design*. Kurgan: Kurgan State University; 2014. (In Russ.)
11. Ostapchuk A. K., Ovsyannikov V. E. Synergetic approach to the detection of technological system response on external action. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*. 2011;(3):36–41. (In Russ.)
12. Ovsyannikov V. E., Vasilyev V. I. Expert system of design of processing equipment. *Engineering Journal of Don*. 2015;(1-1):19. (In Russ.) Available at: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2765>.
13. Kvitko A. V., Simonova A. S., Buza E. L. Features of building 3D printing models using various software. *Innovatsii i investitsii*. 2024;(4):391–393. (In Russ.) Available at: <https://www.innovazia.ru/upload/iblock/134/0odigvm8037fm1avvs3jxdwdf0ar8ae7/%E2%84%964%202024%20%D0%98%D0%B8%D0%98.pdf>.
14. Chabanenko A. V. Modeling extruder behavior in a classical three-axis additive setup. In: *Matematicheskie metody i modeli v vysokotekhnologichnom proizvodstve*. Saint Petersburg: Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; 2023. P. 288–290. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=66343834&pff=1>.
15. Ovsyannikov V. E., Shpitko G. N. *Fundamentals of machine design and construction*. Kurgan: Kurgan State University; 2012. (In Russ.) Available at: http://dspace.kgsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/3873/Овсянников-BE_2012_УП.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

16. Ostapchuk A. K., Rogov E.Yu., Ovsyannikov V. E. Application of random processes' theory for modeling of surface quality parameters of cars' transmission parts. *Transport of the Urals*. (In Russ.) 2011;(2):38–40. Available at: <https://elibrary.ru/nwgzdp>.
17. Ovsyannikov V. E., Kuznetsova E. M., Nekrasov R. Y., Titskaja S. Y.. Development of mathematical model of oscillatory processes at turning of materials with reverse hardness distribution. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;2:105–113. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-2-105-113>
18. Nekrasov R. Yu., Tempel Yu. A. Automated correction of control programs for CNC machines using a transformable CAD model of a low-rigidity workpiece as part of technical preparation for production. *Vestnik MSTU «Stankin»*. 2021;1:35–40. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/miqher>.
19. Proskuryakov N. A., Nekrasov R. Yu., Starikov A. I., Solov'ev I. V., Barbyshev B. V., Tempel'Yu. A. Fuzzy Controllers in the Adaptive Control System of a CNC Lathe. *Russian Engineering Research*. 2018;38(3):220–222. <https://doi.org/10.3103/S1068798X18030188>
20. Pichurin I. I., Blinov D. V. *Quality management of industrial services*. Yekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin; 2016. (In Russ.) Available at: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/41205>.
21. Ostapchuk A. K., Ovsyannikov V. E. *Scientific bases of providing surface roughness on the basis of analysis of random processes*. Kurgan: Kurgan State University; 2012. (In Russ.)



Информация об авторах

Стариков Александр Иванович, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, starikovaav@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2988-5765>

Губенко Арсений Сергеевич, заведующий лабораторией кафедры технологии машиностроения, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, gubenkoas@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3108-3127>

Пермяков Михаил Александрович, доцент кафедры технологии машиностроения, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, permjakovma@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0002-4658-4921>

Соловьев Василий Михайлович, доцент кафедры технологии машиностроения, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, solovjovvm@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1184-281X>

Цыганова Алена Александровна, магистр кафедры технологии машиностроения, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, tsyganovaaaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6927-7491>

Information about the authors

Aleksandr I. Starikov, Senior Lecturer in the Department of Mechanical Engineering Technology, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, starikovaav@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2988-5765>

Arseniy S. Gubenko, Head of the Laboratory in the Department of Mechanical Engineering Technology, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, gubenkoas@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3108-3127>

Mikhail A. Permyakov, Associate Professor in the Department of Mechanical Engineering Technology, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, permjakovma@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0002-4658-4921>

Vasily M. Soloviev, Associate Professor in the Department of Mechanical Engineering Technology, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, solovjovvm@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0003-1184-281X>

Alena A. Tsyganova, Master, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, tsyganovaaaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6927-7491>

Получена 20 июля 2024 г., одобрена 09 сентября 2024 г., принята к публикации 20 сентября 2024 г.

Received 20 July 2024, Approved 09 September 2024, Accepted for publication 20 September 2024

Итоги XXIII конкурса «На лучшее достижение в строительной отрасли Тюменской области за 2023 год»

Results of the 23rd competition "For the best achievement in the construction industry of the Tyumen region"

Торжественная церемония награждения призеров XXIII конкурса «На лучшее достижение в строительной отрасли Тюменской области за 2023 год» состоялась 7 августа в ДК «Нефтяник» (г. Тюмень). В этом году в конкурсе участвовало 39 организаций Тюменской области. В оргкомитет поступило 63 заявки. Поздравляем победителей и делимся результатами регионального конкурса.

В номинации «ОРГАНИЗАЦИЯ ГОДА»:

Диплом победителя конкурса присужден:

Среди генподрядных организаций численностью свыше 300 человек:

АО «ТДСК»;

АО «Мостострой-11»;

ООО СЗ «Завод ЖБИ-3».

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

ООО «Брусника. Организатор строительства»;

АО «Тюменьтел».

Среди специализированных электромонтажных организаций до 300 человек:

ООО «ДСК-Энерго».

Среди организаций, осуществляющих поставку строительных материалов и оказывающих услуги:

ООО «Оконные системы ТДС» (AG group).

Среди организаций промышленности стройматериалов численностью свыше 300 человек:

ООО «ВЗКГ».

Среди субподрядных организаций численностью до 300 человек:

ООО «Промсвязьмонтаж».

Среди учреждений образования, готовящих специалистов для строительной отрасли:

Институту архитектуры и дизайна ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»;

Строительному институту ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»;

ГАПОУ Тюменской области «Тюменский техникум строительной индустрии и городского хозяйства».

Диплом лауреата конкурса присужден:

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

ООО «ЭНКО ГРУПП»;

ООО «Строительная компания «Жилье».

Среди организаций, осуществляющих поставку стройматериалов и оказывающих услуги:

ООО «Центр потолков».

Среди учреждений образования, готовящих специалистов для строительной отрасли:

ГАПОУ Тюменской области «Агротехнологический колледж», г. Ялуторовск;

Многопрофильному колледжу ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».

В номинации «РУКОВОДИТЕЛЬ ГОДА»:

Диплом победителя конкурса присужден:

Среди организаций-заказчиков:

Гайдукову А. О. – президенту ГК «Страна Девелопмент».

Среди генподрядных организаций численностью свыше 300 человек:

Щепелину Н. И. – генеральному директору АО «ТДСК»;

Руссу Н. А. – генеральному директору АО «Мостострой-11».

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

Низамовой Е. В. – генеральному директору ООО «ЭНКО ГРУПП».

Среди организаций, осуществляющих поставку строительных материалов и оказывающих услуги:

Захарову А. Г. – директору ООО «Оконные системы ТДС» (AG group).

Среди организаций промышленности строительных материалов численностью свыше 300 человек:

Саммасову Р. Ф. – генеральному директору ООО «ВЗКГ».

Диплом лауреата конкурса присужден:

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

Скоморохову П. С. – директору ООО «Строительная компания «Жилье»;

Суетину А. В. – директору ООО «Центр потолков».

В номинации «ОБЪЕКТ ГОДА»:

А. НОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Диплом победителя конкурса присужден:

Среди организаций-заказчиков:

ГКУ Тюменской области «Управление капитального строительства» – строительство спортивного комплекса «Центр гимнастики», г. Тобольск;

ООО СЗ «ЭКО-город» – ЖК «Ритмы» (ГП-6), с. Ембаево Тюменского района Тюменской области;

ООО СЗ «Сатурн» – ЖК «Новый» (ГП-1, ГП-2), д. Патрушева Тюменского района Тюменской области.

Среди генподрядных организаций численностью свыше 300 человек:

ООО СЗ «Завод ЖБИ-3» – Строительство школы в жилом районе «Тура», г. Тюмень, ул. Западносибирская, 24.

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

ОАО «Запсибгазпром» – новый зимовочный комплекс антарктической станции Восток, расположенный в Антарктиде;

АО «Тюменьтел» – культурно-оздоровительный центр в микрорайоне № 8, г. Муравленко.

Среди организаций промышленности строительных материалов численностью свыше 300 человек:

ООО «Регион Девелопмент» – научно-технический центр ООО «НОВАТЭК НТЦ», г. Тюмень (изготовление и монтаж витражных конструкций).

Среди субподрядных организаций численностью свыше 300 человек:

ООО «Запсибгазпром-Газификация» – Тульский областной онкологический центр, г. Тула, Калужское шоссе, 60.

А. НОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Диплом лауреата конкурса присужден:

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

АО «Тюменьтел» – детский сад в мкр. «Березняковский», г. Тюмень;

АО «Тюменьтел» – средняя образовательная школа на 500 учащихся в мкр. Молодежном, г. Муравленко.

Б. БЛАГОУСТРОЙСТВО

Диплом победителя конкурса присужден:

Среди организаций-заказчиков:

МКУ «Служба заказчика по благоустройству ЛАО г. Тюмени» – сквер Школьный, г. Тюмень, ул. Парфенова, ул. Рижская;

ООО «Брусника» – оз. Цыганское в районе ул. Муравленко – Газовиков – Урайская в г. Тюмени (ревитализация).

Диплом лауреата конкурса присужден:

Среди организаций-заказчиков:

Управе КАО Администрации г. Тюмени – сквер Болгаро-Советской дружбы, г. Тюмень, ул. Ямская;

ООО СЗ «СТРАНА ЗАПАД» – многоэтажная автомобильная стоянка ГП-7 с теплым переходом по ул. Тимофея Чаркова, район пос. Матмасы, г. Тюмень.

В номинации «ПРОЕКТ ГОДА»:

А. ЛУЧШИЙ АРХИТЕКТУРНЫЙ ПРОЕКТ ЖИЛИЩНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Диплом победителя конкурса присужден:

Среди организаций-заказчиков:

ООО «Брусника» – комплекс многоэтажных жилых домов с нежилыми помещениями, г. Тюмень, ул. Минская.

Среди генподрядных организаций численностью свыше 300 человек:

АО «ТДСК» – ЖК «Ново Комарово». Многоэтажный жилой дом ГП-7.15 (второй этап), Московское МО Тюменского района.

Диплом лауреата конкурса присужден:

Среди организаций-заказчиков:

ООО СЗ «ЭКО-город» – ЖК «Ритмы». Многоквартирный жилой дом ГП-1, с. Ембаево Тюменского района Тюменской области;

ООО СЗ «Меридиан Восток» – ЖК «Меридиан Слобода», г. Тюмень, планировочный район № 11 «Комаровский»;

ООО «ИНКО и К» – авторский проект «Опера», г. Тюмень, район оз. Алебашево.

Б. ЛУЧШИЙ АРХИТЕКТУРНЫЙ ПРОЕКТ ОБЩЕСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Диплом победителя конкурса присужден:

Среди проектных организаций:

АО «Институт Тюменьгражданпроект» – строительство транспортной развязки в разных уровнях на пересечении ул. Мельникайте – ул. Дружбы в г. Тюмени. Корректировка.

В номинации «ПРОДУКТ ГОДА»:

Диплом победителя конкурса присужден:

Среди организаций промышленности стройматериалов численностью свыше 300 человек:

ООО «ВЗКГ» – кирпич силикатный утолщенный пустотелый лицевой темно-серый.

Среди организаций промышленности строительных материалов численностью до 300 человек:

ООО «Акрилика» – сверхтонкая жидкая теплоизоляция TiumTerm «Стандарттм»;

ООО «АргоПласт» – контейнер заглубленного типа «Арго-GREEN» объемом 5 м³, 3,5 м³ и 2 м³.

Диплом лауреата конкурса присужден:

Среди организаций промышленности строительных материалов численностью свыше 300 человек:

ООО «ВЗКГ» – блок керамзитобетонный марки по плотности D700 (ТЕРМОБЛОК);

ООО «ВЗКГ» – керамзитобетонный перегородочный блок полнотелый (КБПР-39-М35-D1200).

В номинации «ТЕХНОЛОГИЯ ГОДА»:

Диплом лауреата конкурса присужден:

Среди субподрядных организаций численностью до 300 человек:

Филиалу ООО «Брусника. Мобильная индустриализация» в Тюмени – крестообразное сварное соединение арматурных стержней, тип КЗ-Мп.

В номинации «РАЗВИТИЕ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ»:

А. НОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Диплом победителя конкурса присужден:

Среди специализированных электромонтажных организаций до 300 человек:

ООО «ДСК-Энерго» – строительство сетей электроснабжения в жилых районах «Ново Комарово» и «Ново-Патрушево», Тюменский район Тюменской области.

Среди организаций-заказчиков:

ООО «Брусника» – микрорайон Видный, ГП-22, г. Тюмень, ул. Мельникайте – ул. Широтная.

Диплом лауреата конкурса присужден:

Среди организаций-заказчиков:

ООО СЗ «ЭКО-город» – ЖК «Ритмы», с. Ембаево Тюменского района Тюменской области.

Б. БЛАГОУСТРОЙСТВО

Диплом победителя конкурса присужден:

Среди организаций-заказчиков:

МКУ «Служба заказчика по благоустройству ЦАО г. Тюмени» – благоустройство озелененной зоны общественного пространства, г. Тюмень, ул. Республики, 21.

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

ООО СЗ «Самолет-Чаркова» – «Улетный каток» на Цветном бульваре, г. Тюмень, ул. Герцена.

В номинации «ЛУЧШИЙ ЗАСТРОЕННЫЙ МИКРОРАЙОН»:

А. МНОГОЭТАЖНАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ЗАСТРОЙКА

Диплом победителя конкурса присужден:

Среди организаций-заказчиков:

ООО СЗ «Звезда» – жилой район «Краснолесье» (ГП-11, ГП-14, ГП-15), г. Тюмень, створ улиц Ямской и Медовой;

ООО СЗ «СТРАНА ЗАПАД» – ЖК «Домашний» (многоэтажные жилые дома с объектами инфраструктуры в квартале улиц Кремлевской, А. Кореневского и Восстания), г. Тюмень (ГП-2, ГП-3п, ГП-4, ГП-6, ГП-7);

ООО СЗ «Меридиан Строй» – ЖК «Меридиан Юг» (ГП-1, ГП-2), Московское МО, д. Патрушева, ул. А. Пушкина, 14.

Среди генподрядных организаций численностью до 300 человек:

ООО «ЭНКО ГРУПП» – жилой район Айвазовский City (ГП-4, ГП-5), г. Тюмень, ул. Т. Кармацкого – ул. Мельникайте.

Диплом лауреата конкурса присужден:

Среди организаций-заказчиков:

ООО СЗ «ПИК-Тура» – ЖК «Озерный парк» (ГП 5.1), г. Тюмень, ул. Комбинатская, 60;

ООО «Брусника» – Европейский квартал (урбан-виллы 5, 6, 7, 8), г. Тюмень, 5-й Заречный мкр.

Б. МАЛОЭТАЖНАЯ ЗАСТРОЙКА

Диплом победителя конкурса присужден:

Среди организаций-заказчиков:

ООО СЗ «Навигатор. Строительство» – ЖК «Зеленые аллеи» по ул. Владимира Полякова, г. Тюмень, планировочный район Новорошинский 15. Восточная часть.

Звание «ЭЛИТА СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ» присуждено:

АО «ТДСК»;

АО «Мостострой-11»;

ООО СЗ «Завод ЖБИ-3»;

ООО «ВЗКГ»;

ООО «ЭНКО ГРУПП»;

Строительному институту ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»;

ГАПОУ Тюменской области «Тюменский техникум строительной индустрии и городского хозяйства»;

Группе компаний архитектора Табанакова А. В. (ООО «Регион Девелопмент»).

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. Статьи, содержащие менее 75 % оригинального текста, в журнале не публикуются.

3. Рукописи, соответствующие тематике журнала, 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. Технические требования к тексту.

Формат файлов для текста – Microsoft Word (*.docx) в формате: 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.

Все графические объекты должны быть предоставлены отдельными файлами. Фото предоставляются в формате JPG с разрешением не менее 300 dpi. 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 не должен превышать 1/3 общего объема рукописи.

Список литературы (не менее 15 источников) должен содержать ссылки на актуальные научные работы отечественных и зарубежных специалистов. Объем самоцитирования – не более 30 % от общего числа ссылок.

5. Рукопись статьи должна включать:

- индекс УДК;
 - название статьи на русском языке;
 - инициалы и фамилию автора на русском языке (если авторов несколько, они работают в разных организациях, то после фамилии ставится верхний индекс (¹, ² и т. д.), соответствующий организации, откуда исходит рукопись, указанной ниже под тем же номером, следом необходимо указать город и страну. Если автор один или все авторы работают в одной организации, то индексы не ставятся);
 - аннотация на русском языке (общий объем аннотации – не более 500 знаков);
 - ключевые слова на русском языке (до 10 слов и (или) словосочетаний);
- Пункты 2–5 необходимо продублировать ниже на английском языке*
- основной текст статьи на языке оригинала;
 - вклад авторов;
 - сведения о наличии либо отсутствии конфликта интересов авторов статьи;
 - список литературы на русском языке;
 - сведения об авторах (Information about the authors): полные Ф.И.О., должность, ученая степень, звание, место работы, телефон, e-mail, ORCID – на русском и английском языках.

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.** 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.** 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. Исправленные статьи авторам не предоставляются. Рукописи, не удовлетворяющие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются и авторам не возвращаются.

9. Плата за опубликование рукописей **не взимается**.

Перепечатка материалов или их фрагментов возможна только с письменного разрешения редакции.

Ссылка на научно-информационный журнал «Архитектура, строительство, транспорт» **обязательна!**

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. 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 corresponding to the subject matter of the journal undergo a double-blind peer review procedure for the purpose of their 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. Article format requirements

The file format for the text is Microsoft Word (*.docx), 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 article should be no less than 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.

All graphic objects must be submitted in separate files. Raster images (photos) are submitted in JPG format with a resolution of at least 300 dpi. 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 should not exceed 1/3 of the total volume of the manuscript.

The list of references (at least 15 sources) must contain links to current scientific works of national and foreign specialists. Self-citations should not exceed 30 % of the total number of links.

5. The manuscript of the article should include:

- UDC index;
- title of the article;
- initials and surname of the author (if there are several authors, and they work in different organizations, then a superscript (¹, ², etc.) is put after the surname, corresponding to the organization which the manuscript comes from, indicated below under the same number, followed by the city and country. If there is one author or all authors work in one organization, then the superscripts are not used);
- abstract (no more than 500 characters);
- key words (up to 10 words and (or) phrases);
- main text of the article in the original language;
- author contributions;
- information about conflict of interests;
- references;
- information about the authors: full name, position, academic degree, title, place of work, telephone, e-mail.

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.** 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.** 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. Corrected articles will not be provided to authors. 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.

Reprinting of materials or their fragments is possible only with the written permission of the publisher.

A link to the scientific and reference journal "Архитектура, строительство, транспорт" ["Architecture, Construction, Transport"] **is required!**

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

