

DOI 10.31660/2782-232X-2025-2

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

АСТ

АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

ARCHITECTURE • CONSTRUCTION • TRANSPORT



Том 5, № 2
2025

16+

АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

Научно-информационный журнал
открытого доступа

Издается с 2021 года

ARCHITECTURE CONSTRUCTION TRANSPORT

Open access scientific and information
journal

The journal has been published since 2021

**Том 5, № 2
2025**

Цели и задачи

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

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



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

- | | |
|--|--|
| 2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки) | 2.1.8 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки) |
| 2.1.2 Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки) | 2.1.9 Строительная механика (технические науки) |
| 2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки) | 2.1.11 Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура, технические науки) |
| 2.1.4 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки) | 2.1.12 Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура, технические науки) |
| 2.1.5 Строительные материалы и изделия (технические науки) | 2.9.5 Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки) |

Также редакция принимает к публикации материалы по следующим специальностям:

- | | |
|---|---|
| 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки) | 2.5.6 Технология машиностроения (технические науки) |
|---|---|



Журнал издается с 2021 г.

Периодичность: 4 раза в год

Тираж: 400 экз.

Префикс DOI: 10.31660

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

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

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

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

© Архитектура, строительство, транспорт, оформление макета, 2025

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

Индексирование: журнал входит в перечень изданий, рекомендованных ВАК, индексируется в РИНЦ, 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 «Издательско-полиграфический центр "Экспресс"», 625048, Тюмень, ул. Минская, 3г, к. 3, +7 (3452) 55-58-47

Дата выхода: 03.07.2025

Aims and Scope

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

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



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

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

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

The editorial board also considers manuscripts in the following specialties:

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

2.5.6 Mechanical engineering technology (engineering sciences)



The journal has been published since 2021

Frequency: 4 times a year

Print run: 400 copies

DOI Prefix: 10.31660

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

Distribution: content is distributed under Creative Commons Attribution 4.0 License

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

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

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

© Architecture, Construction, Transport, design, 2025

Indexation: the journal is included in the index of periodical publications recommended by the State Commission for Academic Degrees and Titles, and in the RISC database, in 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 "Express", 625048, Tyumen, 3g Minskaya St., +7 (3452) 55-58-47

Published: 03.07.2025

Главный редактор

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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, Уттаракхандский 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 университет им. Мирзо Улугбека, Самарканд (Республика Узбекистан)

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

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

Федюк Р. С., д. т. н., доцент, 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 University named Mirzo Ulugbek, Samarkand (Republic of Uzbekistan)

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

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

Roman S. Fediuk, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, 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

Е. Ю. Стрельникова, О. Н. Чеберева

Эффективность архитектурно-планировочных решений
инклюзивной образовательной среды для детей
с расстройствами аутистического спектра 8

В. М. Стерликова

Световые проекции как инструмент формирования
комфортной городской среды 26

Л. В. Глебушкина, Н. В. Устюгова, П. В. Аргимбаева

Система нормативных показателей как инструмент
обоснования решений по планировке жилых
территорий на уровне земельного участка 35

СТРОИТЕЛЬСТВО

Т. В. Крижановская, В. В. Воронцов, Б. А. Тайех

Расчет вязкоупругого водонасыщенного глинистого
основания при действии полосовой нагрузки 50

И. А. Журмилова, Е. В. Тарасова, Е. А. Зырянов

Оценка внедрения энергосберегающих мероприятий
для системы горячего водоснабжения аэропорта
г. Владивостока 64

Ю. Е. Якубовский, К. В. Кусков, А. А. Хызов

Влияние формы и размеров частиц пластификатора
на уменьшение жесткости термопластичных полимеров 77

С. В. Пиняжин

Механические характеристики композиционного
материала, изготовленного методом намотки 87

ТРАНСПОРТ

А. В. Сарбей

Моделирование вероятности отказов автомобилей
по наработке в цикле технического обслуживания 99

Н. С. Захаров, Н. О. Сапоженков, В. П. Назаров

Влияние периодичности технического обслуживания
на ресурс двигателей внутреннего сгорания 109

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Правила подготовки рукописи (на русском языке) 118

Правила подготовки рукописи (на английском языке) 120

Contents

Elena Yu. Strelnikova, Olga N. Chebereva

Effectiveness of architectural and planning solutions
in inclusive educational environment for children
with autism spectrum disorders 8

Viktoriya M. Sterlikova

Light projections as a tool for creating a comfortable
urban environment 26

**Lyudmila V. Glebushkina, Natalia V. Ustyugova,
Polina V. Argimbayeva**

A system of normative indicators as a tool for justifying
planning decisions for residential areas at the land plot level 35

**Tatiana V. Krizhanivskaya, Viacheslav V. Vorontsov,
Bassam A. Tayeh**

Analysis of a viscoelastic water-saturated clay foundation
subjected to a strip load 50

Irina A. Zhurmilova, Elena V. Tarasova, Evgeny A. Zyryanov

Evaluation of energy saving measures implementation
for the hot water supply system in Vladivostok airport 64

Yurij E. Yakubovsky, Konstantin V. Kuskov, Anton A. Khyzov

Influence of the shape and size of plasticizer particles
on the reduction of stiffness in thermoplastic polymers 77

Sergey V. Pinyazhin

Mechanical characteristics of composite material
manufactured by winding process 87

Alexander V. Sarbey

Modeling the probability of vehicle failures by operating time
within a maintenance cycle 99

**Nickolay S. Zakharov, Nikolay O. Sapozhenkov,
Vladimir P. Nazarov**

The impact of maintenance frequency on the service
life of internal combustion engine 109

Manuscript preparation guidelines (In Russian) 118

Manuscript preparation guidelines (In English) 120

ARCHITECTURE

CONSTRUCTION

TRANSPORT

INFORMATION
FOR AUTHORS

Научная статья / Original research article

УДК 727

DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-8-25>EDN: <https://elibrary.ru/isehei>

2.1.12 Архитектура зданий и сооружений.

Творческие концепции архитектурной деятельности
(архитектура)

Эффективность архитектурно-планировочных решений инклюзивной образовательной среды для детей с расстройствами аутистического спектра

Е. Ю. Стрельникова ✉, О. Н. Чеберева

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ул. Ильинская, 65, Нижний Новгород, 603000, Российская Федерация

✉ lena.str.2011@yandex.ru

Аннотация. Формирование в школах инклюзивной образовательной среды в наше время актуально, но на практике реализуется лишь в отдельных учреждениях. В основе работы лежит изучение российских и зарубежных теоретических источников, в которых описываются требования и рекомендации, касающиеся архитектурного пространства, дизайна, функциональных связей, типологии специализированных кабинетов для обучения детей с РАС. С учетом этих требований был проведен анализ архитектурно-средовых, объемно-планировочных и функционально-технологических решений реализации инклюзивной образовательной среды, апробированных в МАОУ «Школа № 96 Эврика-Развитие им. Нагибина М. В.» (Ростов-на-Дону). Выявлены достоинства: наличие нескольких классов, в которых могут обучаться более 40 детей; многоцелевое использование пространств; применение специализированной и типовой мебели и оборудования; использование средовых элементов для дефектологической работы в структуре кабинетов; возможность проведения инклюзивных мероприятий в общешкольных помещениях. Определены недостатки: отсутствие ряда необходимых помещений; разделение инклюзивного блока на два этажа; технологическая дисфункция классных помещений за счет снижения удельной площади; нечеткое функциональное зонирование классов. На основе изученных источников предложены более благоприятные объемно-планировочные решения: создание блока специализированных ресурсных помещений с расширенным перечнем кабинетов и помещений; расположение инклюзивного блока полностью на первом этаже; реорганизация входной группы в здание школы; установка лифта для легкого перемещения маломобильных групп населения; предложен вариант создания встроенно-пристроенного блока.

Ключевые слова: блок специализированных ресурсных помещений, архитектура инклюзивных школ, аутизм, адаптация детей с РАС

Благодарности. Авторы исследования благодарны за помощь Винева Анне Вячеславовне, канд. пед. наук, доценту, доценту кафедры инклюзивного образования и социально-педагогической реабилитации Академии психологии и педагогики Южного федерального университета, доценту кафедры общей педагогики Таганрогского института им. А. П. Чехова, заместителю директора по УВР МАОУ «Школа № 96 Эврика-Развитие им. Нагибина М. В.» (Ростов-на-Дону).

Для цитирования: Стрельникова Е. Ю., Чеберева О. Н. Эффективность архитектурно-планировочных решений инклюзивной образовательной среды для детей с расстройствами аутистического спектра. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(2):8–25. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-8-25> EDN: ISEHEI

Effectiveness of architectural and planning solutions in inclusive educational environment for children with autism spectrum disorders

Elena Yu. Strelnikova ✉, Olga N. Chebereva

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 65 Ilyinskaya St., Nizhny Novgorod, 603000, Russian Federation

✉ lena.str.2011@yandex.ru

Abstract. Creating inclusive educational environments in schools is a pressing issue today, yet its practical implementation remains limited to a few schools. This work draws upon a review of Russian and international theoretical literature outlining the requirements and recommendations regarding architectural space, design, functional relationships, and the typology of specialized classrooms for educating children with ASD. Considering these requirements, the authors analyzed the architectural-environmental, spatial-planning, and functional-technological solutions for implementing an inclusive educational environment, as piloted at School No. 96 "Eureka-Development named after Nagibin M. V." (Rostov-on-Don). The advantages identified include: the availability of multiple classrooms capable of accommodating over 40 children; the multipurpose use of spaces; the use of both specialized and standard furniture and equipment; the integration of environmental elements to support special education needs (therapeutic pedagogy) within the classroom structure; and the possibility of holding inclusive events in school-wide facilities. Disadvantages identified include the lack of several essential rooms; the division of the inclusive unit across two floors; compromised classroom functionality due to reduced floor space per student; and unclear functional zoning within classrooms. Based on the literature reviewed, the following improved spatial planning solutions were proposed: creating a dedicated resource area featuring a broader range of specialized classrooms and support spaces; locating the entire inclusive unit on the ground floor; reorganizing the school's entrance area; installing an elevator to facilitate access for individuals with limited mobility; and considering the addition of an integrated, attached building unit.

Keywords: specialized resource room area, architecture of inclusive schools, autism, adaptation of children with ASD

Acknowledgements. The authors of this study are grateful to Anna V. Vinevskaya, Cand. Sci. (Pedagogical Sciences), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Inclusive Education and Socio-Pedagogical Rehabilitation at the Academy of Psychology and Pedagogy, Southern Federal University; Associate Professor in the Department of General Pedagogy at Anton Chekhov Taganrog State Institute; Deputy Director for Internal Affairs of the School No. 96 "Eureka-Development named after Nagibin M. V." (Rostov-on-Don).

For citation: Strelnikova E. Yu., Chebereva O. N. Effectiveness of architectural and planning solutions in inclusive educational environment for children with autism spectrum disorders. *Architecture, Construction, Transport*. (In Russ.) 2025;5(2):8–25. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-8-25>

1. Введение / Introduction

Расстройство аутистического спектра (РАС)¹ – сложно диагностируемое заболевание, характеризующееся спектром проявлений и симптомов. Люди с данной патологией развития имеют особую

¹ Расстройство аутистического спектра (РАС) – это клинически разнородная группа расстройств психологического развития, характеризующаяся качественными отклонениями в социальном взаимодействии и способах общения, а также ограниченным, стереотипным, повторяющимся набором интересов и занятий.

чувствительность к сенсорным раздражителям: слуховым, тактильным, визуальным, обонятельным. Людям с РАС достаточно сложно ориентироваться в новом пространстве, общаться с другими людьми вне зависимости от пола, возраста, прогнозировать даже простые для нормотипичного человека события, находиться в социуме с разнообразными сенсорными стимулами и т. д. Все эти особенности требуют не только толерантного общения, корректного отношения, терпимости со стороны общества, но и грамотного, специфического подхода с точки зрения формирования пространства [1], архитектурно-планировочных элементов [2–5], дизайна [6–7], функциональных связей помещений [8–9], акустических решений [3, 4, 8]. Вопросы организации инклюзивного образовательного пространства в зарубежных странах сегодня изучены достаточно полно, так как инклюзивное образование осуществляется там на практике с 70-х гг. XX в. В Англии, Ирландии и других странах существуют нормы, рекомендации, касающиеся создания эффективных планировочных решений, типологии кабинетов, помещений, оснащения специализированным оборудованием^{2,3}. В нашей стране длительное время детей с разного рода патологиями в ментальном здоровье либо считали необучаемыми, либо давали знания в изолированных коррекционных образовательных учреждениях, в последние годы практиковали надомное образование. Это и является основополагающей причиной достаточно поверхностного развития нормативной и рекомендательной литературы в нашей стране по организации архитектурно-планировочной среды для реализации инклюзивного образования в общеобразовательных школах.

В последнее десятилетие благодаря активности некоммерческих организаций, родителей детей с аутизмом, лично заинтересованных лиц в отдельных школах реализуется инклюзивное образование [10, 11]. Практически оно организуется посредством смены функции кабинетов и свободных или частично свободных школьных пространств. При этом основной задачей является освободить 1–2 кабинета (чаще всего начальной школы), не обращая внимание на их расположение, близость к входной группе, помещениям с активной акустической составляющей (спортзалу, актовому залу), удаленности от транзитных общешкольных путей, столовой или мастерских с резкими запахами и звуками. В результате обучение детей с РАС реализовано, но не отвечает требованиям к качеству и эффективности как для самих учащихся с аутизмом, так и для нормотипичных школьников, учителей, родителей и т. д. [10, 11]. Изучив зарубежные рекомендации по данному вопросу, мы провели исследование объемно-пространственных решений блока инклюзивного образования в МАОУ «Школе № 96 Эврика-Развитие им. Нагибина М. В.», по результатам которого предложили варианты по оптимизации и качественному улучшению объемно-планировочной инклюзивной образовательной среды.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Объектом исследования определена МАОУ «Школа № 96 Эврика-Развитие им. Нагибина М. В.» (Ростов-на-Дону), построенная по типовому проекту 2С-02-10 архитекторами В. С. Масловым, Б. М. Левиным, Т. Г. Финогеновой (ЛенЗНИИЭП) в 1973 г.

Предметом исследования выступает объемно-планировочная структура, функциональные связи, интеграция в общую схему работы образовательной организации блока кабинетов и помещений инклюзивного обучения детей с РАС и ментальными нарушениями (МН).

² Building Bulletin 102: Designing for disabled children and children with special educational needs: Guidance for Mainstream and Special Schools. Great Britain, Department for children, Schools and Families, 2008. 199 p. URL: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/276698/Building_Bulletin_102_designing_for_disabled_children_and_children_with_SEN.pdf (дата обращения: 07.02.2025)..

³ School design standards. APS Facilities. Design + Construction. 2023. 197 p. URL: https://www.aps.edu/facilities-design-and-construction/documents/design-standards-and-guidelines/HS_Standards.pdf (дата обращения: 03.02.2025).

Целью исследования является поиск баланса эргономико-технологических, функционально-технологических, средовых и объемно-планировочных аспектов архитектурного проектирования для инклюзии детей с РАС в средней общеобразовательной школе и представление объемно-планировочной модели блока специализированных ресурсных помещений.

Для достижения поставленной цели требовалось выполнить следующие задачи:

- изучить принципы организации инклюзивного пространства в школах, предлагаемые зарубежными авторами;
- выявить действующую в нашей стране законодательную и рекомендательную базу архитектурно-технологического и гуманитарного направлений;
- провести анализ существующих объемно-планировочных и технологических решений, функциональных связей, используемых в МАОУ «Школа № 96 Эврика-Развитие им. Нагибина М. В.», определить достоинства и недостатки решений;
- на основе полученной информации предложить более рациональное решение организации, расположения, связей помещений и классов для всех групп пользователей школой;
- создать модель блока специализированных ресурсных помещений для зданий школ, построенных по типовому проекту 2С-02-10 или сходных с ним.

Актуальность исследования. Для педагогической и пространственной организации успешного процесса инклюзивного образования требуется формирование функциональной программы инклюзивного блока с учетом его технологической роли в структуре всего учреждения. Основа программы – медико-демографический анализ и коррекционно-адаптационные методики. Функциональная программа объективизирует процессы и зоны, их вместимость, номенклатуру помещений и детали их эргономико-технологической организации^{4, 5, 6, 7}. Наиболее системно среди школ ЮФО РФ данный подход реализован в МАОУ «Школа № 96 Эврика-Развитие им. Нагибина М. В.» (Ростов-на-Дону), построенная по типовому проекту 2С-02-10, что делает объект ценным для изучения отечественного опыта апробации архитектурно-средовых решений инклюзии⁸ и использования предлагаемых решений в зданиях школ, возведенных по аналогичному типовому проекту.

⁴ Рекомендации по проектированию образовательных учреждений для детей, нуждающихся в психолого-педагогической и медико-социальной помощи: утверждены и введены в действие указанием Москомархитектуры от 20.06.2000 г. № 23. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200006824?ysclid=mc4etdh7d7632765346> (дата обращения: 05.02.2025).

⁵ Руководство по проектированию специальных (коррекционных) образовательных учреждений для обучающихся, воспитанников с ограниченными возможностями здоровья: РМД 31-15-2012: одобрено и рекомендовано к применению в строительстве на территории Санкт-Петербурга распоряжением Комитета по строительству от 14.05.2012 г. № 49. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200094064?ysclid=mc4f4zt885675890543> (дата обращения: 07.02.2025).

⁶ Методические рекомендации по организации инклюзивного образования в соответствии с требованиями законодательства об образовании в период введения ФГОС обучающихся с ограниченными возможностями здоровья в общеобразовательных организациях, расположенных на территории Ленинградской области. URL: https://mousoch9.gosuslugi.ru/netcat_files/110/5473/metodicheskie_rekomendacii_ovz.pdf (дата обращения: 10.02.2025).

⁷ Руководство по дизайну образовательных пространств: разработано для общеобразовательных организаций, реализующих адаптированные основные общеобразовательные программы: версия 1.2023. URL: <https://ikp-rao.ru/files/rukovodstvo-ikp.pdf> (дата обращения: 05.02.2025).

⁸ Создание современного инклюзивного образовательного пространства для детей с ограниченными возможностями здоровья и детей-инвалидов на базе образовательных организаций, реализующих дополнительные общеобразовательные программы в субъектах Российской Федерации: методические рекомендации. URL: <https://docs.edu.gov.ru/document/a25d20322f2891abf3ed59497632d302/download/5486/> (дата обращения: 07.02.2025).

Исследование превалентности РАС в мире началось в 1966 г. и определилось на тот момент как 4.1 к 10 000 детей. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) аутизм встречается у одного ребенка из ста [12, 13]. Отметим также, что по полу РАС соотносится у мальчиков и девочек в пределах от 2.6:1 до 4:1⁹. Рост распространенности аутизма в последние годы объясняется главным образом расширением диагностических критериев расстройства и принятием концепции аутизма как спектра определенных нарушений различной степени выраженности. Статистические данные по России весьма неоднородны и зачастую противоречивы [12, 13]:

1. В Письме Министерства здравоохранения РФ № 15-3/10/1-2140 от 08.05.2013 г.¹⁰ обозначена высокая распространенность данного заболевания (1 % в детской популяции). Указывается, что лишь в 20 % случаев имеется неблагоприятный прогноз развития, а 80 % детей являются обучаемыми по общеобразовательной и коррекционным программам.
2. По данным Росстата, в отчетных формах приводятся следующие показатели заболеваемости аутизмом в РФ на 2018 г.: дети до 14 лет – 11 к 10 000, подростки 15–16 лет – 5.78 к 10 000¹¹.
3. По данным официальной статистики, в 2021 г. в России количество детей с диагнозом аутизм в возрастной категории до 18 лет составляло 36 041 человек (121.31 на 100 000 детского населения)¹².
4. В 2022 г. был проведен мониторинг состояния образования учащихся с РАС, по данным которого количество обучающихся составляло 45 888 чел. и характеризовалось стабильным ростом начиная с 2017 г., относительно 2021 г. рост составил 17 %¹³.

Как видно из приведенных данных официальных источников, количество детей школьного возраста с РАС достаточно велико, что обуславливает актуальность данного исследования.

В исследовании использовалась совокупность различных теоретических методик: изучение научной литературы, нормативных и рекомендательных источников по архитектурному и средовому проектированию, педагогике, психологии, медицине. Обобщение педагогического опыта, полученного в результате опроса учителей «Школы № 96 Эврика-Развитие им. Нагибина М. В.», позволило получить эмпирические данные. Чертежи планов помещений выполнены на основе фотофиксации и обмеров при натурном обследовании объекта и на основании паспорта БТИ.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Вопрос совместного (инклюзивного) обучения детей с РАС в общеобразовательной школе сегодня вызывает много противоречий в разных странах [11, 14–17]. В РФ основополагающим документом в области обучения лиц с РАС является Приказ Минобрнауки России от 19.12.2014 г.

⁹ Расстройства аутистического спектра в детском возрасте: диагностика, терапия, профилактика, реабилитация: клинические рекомендации. URL: https://psychiatr.ru/download/4501?view=1&name=30_03_2020+%D0%9A%D0%A0_%D0%A0%D0%90%D0%A1.pdf&ysclid=mc4g2f7kw4411277631 (дата обращения: 10.02.2025).

¹⁰ Письмо Министерства здравоохранения РФ № 15-3/10/1-2140 от 08.05.2013 г. URL: <https://drive.google.com/file/d/11zVSvQP84-aVUn62iSrx4sggAza7UPwl/view> (дата обращения: 05.02.2025).

¹¹ См. сноску 9.

¹² Письмо Минздрава РФ № 15-3/407 от 15.03.2021 г. URL: https://drive.google.com/file/d/1c8LB_bJQDxj-yWRfIAb_Isdqng9a002o/view (дата обращения: 07.02.2025).

¹³ Аналитическая справка о состоянии образования обучающихся с расстройствами аутистического спектра в субъектах Российской Федерации в 2022 г. URL: <https://autism-frc.ru/education/monitoring/1509?ysclid=mc4e83qize12079199> (дата обращения: 10.02.2025).

№ 1599 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта образования обучающихся с умственной отсталостью (интеллектуальными нарушениями)» (с изменениями от 08.11.2022 г.)¹⁴, являющий собой совокупность обязательных требований реализации адаптированных основных общеобразовательных программ (далее – АООП¹⁵) в организациях, осуществляющих соответствующую деятельность. В положениях стандарта закреплены в том числе потребности в:

- обеспечении особой пространственной и временной организации общеобразовательной среды;
- постепенном расширении образовательного пространства, выходящего за пределы организации;
- организации обучения в разновозрастных классах (группах);
- обучении детей с РАС элементарным социально-бытовым навыкам и навыкам самообслуживания.

Перечисленные составляющие успешного образовательного процесса лиц с умственной отсталостью (УО) определяют необходимость модернизации объемно-планировочной организации зданий школ в России. Следует отметить, что во многих документах в нашей стране, носящих законодательный или рекомендательный характер, а также в литературе по данной тематике говорится о необходимости создания образовательной среды, обеспечивающей доступность качественного образования для всех лиц с ОВЗ и инвалидов с учетом особенностей их психофизического развития и состояния здоровья^{16, 17} [10]. Немаловажно организовать пространство, удобное для разных групп пользователей зданием [1]. Архитекторы, исследующие данное направление, разрабатывают архитектурно-пространственные принципы формирования среды, направленной на потребности лиц с РАС [2–4]. Отметим, что в области проектирования и строительства в РФ действует лишь небольшое количество документов, регламентирующих исследуемую область¹⁸, большинство из них относится к типологии зданий коррекционно-изоляционного или лечебно-медицинского, т. е. неинклюзивного формата.

Количество учащихся в МАОУ «Школа № 96 Эврика-Развитие им. Нагибина М.В.» на начало 2024/25 уч. г. – 1 301 чел., из них с ОВЗ – 94 чел., из которых учащихся с РАС – более 40 чел. Функционально-технологическая программа архитектурно-планировочной организации инклюзивного

¹⁴ Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта образования обучающихся с умственной отсталостью (интеллектуальными нарушениями): Приказ Министерства образования и науки РФ № 1599 от 19.12.2014 г.; «О внесении изменений в некоторые приказы Министерства образования и науки Российской Федерации и Министерства просвещения Российской Федерации, касающиеся федеральных государственных образовательных стандартов общего образования и образования обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и умственной отсталостью (интеллектуальными нарушениями)»: Приказ Минпросвещения России от 08.11.2022 г. № 955. URL: <https://docs.edu.gov.ru/document/2173be39620e82f3ffdc35693b932846/?ysclid=mc4m1kj2y0730756288> (дата обращения: 07.02.2025).

¹⁵ Адаптированная основная образовательная программа (АООП) – образовательная программа, адаптированная для обучения лиц с ОВЗ с учетом особенностей их психофизического развития, индивидуальных возможностей и при необходимости обеспечивающая коррекцию нарушений развития и социальную адаптацию указанных лиц.

¹⁶ О создании условий для получения образования детьми с ограниченными возможностями здоровья и детьми-инвалидами: Письмо Министерства образования и науки РФ от 18.04.2008 № АФ-150/06. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902122269> (дата обращения: 10.02.2025).

¹⁷ О коррекционном и инклюзивном образовании детей: Письмо Министерства образования и науки РФ от 07.06.2013 г. № ИР-535/07. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499050217?ysclid=mc4eo3fqdg200378504> (дата обращения: 10.02.2025).

¹⁸ См. сноски 4–7.

обучения, предусматривающая дифференцированное изучение сложных предметов в отдельных кабинетах малыми группами, собранными по критерию нейрональной атипичности, реализована на практике под руководством А. В. Винева, кандидата педагогических наук, доцента кафедры инклюзивного образования и социально-педагогической реабилитации Академии психологии и педагогики Южного федерального университета [18]. Организационно-педагогическая основа – ресурсный класс для детей с РАС и четыре коррекционных класса для детей с нарушениями развития ментальной сферы^{19, 20} [10, 19]. Учащиеся зачисляются по заявлению родителей, на основе психолого-медико-педагогической комиссии (ПМПК)²¹ определяется индивидуальный образовательный маршрут, разрабатываются АООП для каждого ребенка. Часть классов формируют по критерию возраста с разным уровнем знаний и потребностей, другие классы – по критерию идентичных образовательных возможностей²² [10].

На схеме генерального плана (рис. 1) показаны школы № 65 и № 96, расположенные на смежных участках площадью 1.27 и 1.73 га соответственно, с единым спортивным ядром на участке школы № 96.

В реализованной схеме архитектурно-планировочной организации школы (рис. 2) кабинеты, вспомогательные помещения, рекреационные, специализированные пространства для детей с РАС, задержками психологического развития сблокированы на первом (рис. 2; рис. 3, помещения № 1–5, 7) и втором (рис. 2; рис. 3, помещения № 9, 10) этажах. Далее будем использовать для всей группы инклюзивного образования термин «блок специализированных ресурсных помещений» (БСРП). Понятие введе-



- 1 – здание школы № 96;
- 2 – площадка общешкольных мероприятий;
- 3 – общий спортивный блок для двух школ;
- 4 – входы/выходы на территорию;
- 5 – школа № 65;
- 6 – пристроенный БСРП (вариантное предложение);
- А – существующий главный вход в здание;
- Б – предлагаемый вход в здание для инклюзивного блока

Рис. 1. План-схема генерального плана школ № 96 и № 65, Ростов-на-Дону (схема составлена авторами)

Fig. 1. Site plan for schools No. 96 and No. 65, Rostov-on-Don (authors' compilation)

¹⁹ Степаненко А. Д. Проектирование предметно-пространственной среды для обучающихся с РАС в образовательной организации: выпускная квалификационная работа. Москва, 2022. 63 с.

²⁰ См. сноску 6.

²¹ Психолого-медико-педагогическая комиссия (ПМПК) – комиссия, где в ходе комплексной диагностики ребенка разными специалистами (психиатр, педагог, психолог, логопед, дефектолог) своевременно выявляют психологические и физические проблемы и определяют стратегию, которая поможет минимизировать задержки (при их наличии) и организовать учебный процесс с учетом индивидуальных возможностей.

²² См. сноски 8, 19.

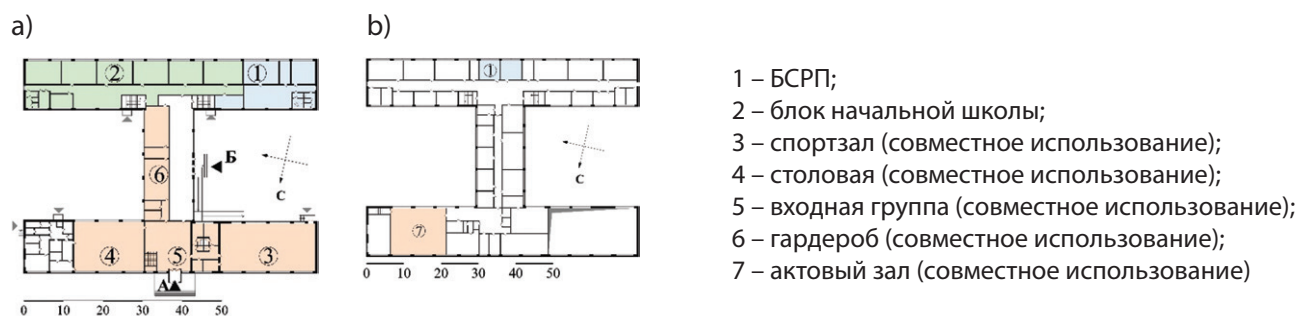


Рис. 2. Существующая план-схема функциональных блоков здания школы:

а) первый этаж; б) второй этаж (выполнена авторами)

Fig. 2. Existing layout of functional blocks in the school building: a) first floor; b) second floor (prepared by the authors)

но на основании п. 3.1.28 СП 251.1325800.2016²³: «специализированный кабинет – учебное помещение, предназначенное для проведения занятий с учетом особенностей отдельных предметов и дисциплин».

Используемая архитектурно-планировочная модернизация проведена путем смены функции трех классов начальной школы и двух специализированных классов средней школы, путем технологического переоборудования под образовательный процесс детей с ОВЗ, РАС²⁴ [10]. Ресурсный класс площадью $S = 54.1 \text{ м}^2$ (рис. 3, помещение № 1; рис. 4) на 8 учащихся на первом этаже функционально разделен на зоны: индивидуальной работы (зона а), групповой работы (зона б), рабочего места учителя (зона в), отдыха (зона г). Помещение, смежное с классом, – учительская педагогов коррекционного обучения (рис. 3, помещение № 4). Автономный класс²⁵ площадью $S = 37.3 \text{ м}^2$ на 10 учащихся (рис. 3, помещение № 2; рис. 4) функционально разделен на зоны самостоятельной работы / работы с тьютором²⁶, рабочее место учителя, зону хранения вещей учеников.

Часть рекреации первого этажа отделена перегородкой под кабинет на 8 индивидуальных рабочих мест учеников с зоной хранения вещей и учительским столом (рис. 3, помещение № 3; рис. 4). Оставшаяся часть рекреации разделена на четыре зоны со специализированным отделочно-средовым наполнением: транзитную; сенсорной разгрузки (рис. 3, помещение № 5б; рис. 4); групповых активных занятий с целью социализации; отдыха учащихся во время перемены или по необходимости в связи с состоянием здоровья (рис. 3, помещение № 5а; рис. 4). Вблизи обустроен санузел для инвалидов (рис. 3, помещение № 7) с учетом возможного сопровождения тьютором: размеры зоны мытья рук в плане – $1.86 \times 2.85 \text{ м}$, кабинки с унитазом – $2.54 \times 2.85 \text{ м}$.

На втором этаже смежно расположены два коррекционных класса площадью $S = 36.0 \text{ м}^2$ для 8–10 учащихся (рис. 3, помещения № 9, 10; рис. 4), функционально разделенные на зоны рабочих мест учителя и учащихся, зону хранения личных вещей учеников, зону отдыха.

²³ СП 251.1325800.2016. Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования = Educational institution buildings. Design rules: введен 18.02.2017 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139445?ysclid=mc4p8fn5js712130910> (дата обращения: 30.01.2025).

²⁴ См. сноску 19.

²⁵ Автономный класс объединяет детей одного года обучения со сходными образовательными потребностями и предусматривает образовательную и социальную инклюзию в условиях урочной и внеурочной деятельности.

²⁶ Тьютор – это специалист, сопровождающий образовательную деятельность учащегося. Задачей тьютора является создание необходимых условий для удовлетворения особых образовательных потребностей, что способствует успешному включению ребенка с расстройством аутистического спектра в образовательный процесс.

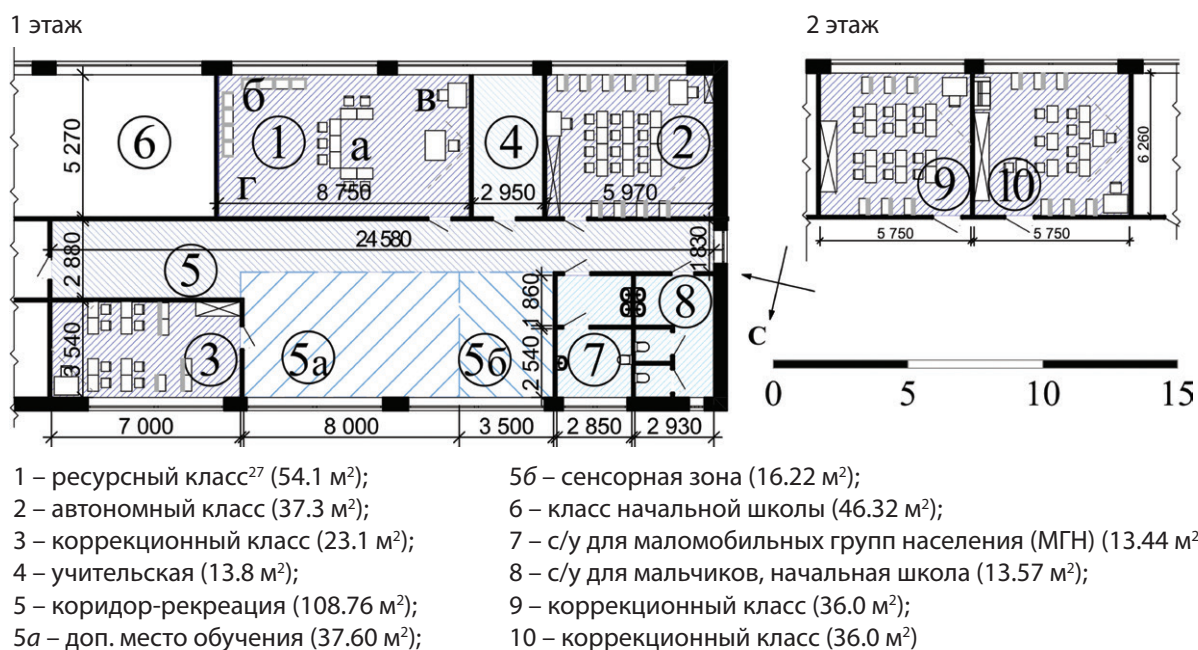


Рис. 3. План-схема существующего БСРП (выполнена автором)
Fig. 3. Layout of existing specialized resource room area (prepared by the authors)



Ресурсный класс
(помещение № 1, рис. 3)



Автономный класс
(помещение № 2, рис. 3)



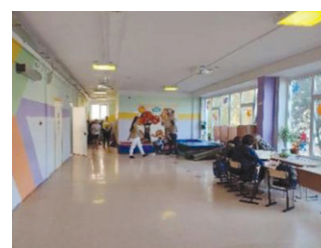
Коррекционный класс
(помещение № 3, рис. 3)



Коррекционный класс
(помещение № 10, рис. 3)



Сенсорная зона
(помещение № 5б, рис. 3)



Коридор-рекреация
(помещение № 5а, рис. 3)

Рис. 4. Фотофиксация кабинетов и пространств БСРП (фото авторов)
Fig. 4. Photo documentation of the rooms and spaces within the specialized resource room area (authors' photos)

²⁷ Ресурсный класс – это помещение в общеобразовательной школе, где ученики, имеющие трудности в обучении, могут получать дополнительную помощь в соответствии со своими потребностями.

Входная группа, физкультурный и актовый зал, столовая, рекреации используются совместно всеми категориями учащихся (рис. 2).

Присутствие на общих уроках в закрепленных за классами кабинетах и общешкольных помещениях (актовом зале на третьем этаже, спортзале, столовой, гардеробе с входной группой и т. д. на первом этаже (рис. 2)) способствует взаимодействию и общению всех категорий учащихся в ходе целенаправленной деятельности, содействует адаптации и социализации детей с РАС, а равно и компактности объемно-планировочных решений [2]. Основная информация о существующих помещениях БСРП сведена в таблице 1.

Таблица 1. Удельные планировочные показатели БСРП, существующего в школе
№ 96 «Эврика-развитие им. Нагибина М. В.»
Table 1. Specific space planning indicators for the specialized resource room area in school
No. 96 "Eureka-Development named after Nagibin M. V."

Наименование класса	Площадь, м ²	Этаж	Количество учащихся, чел.	Удельная площадь на ученика, м ²	Исходная функция модернизированного помещения	Функционально-планировочные связи
Ресурсный класс (рис. 3, помещение № 1)	54.1	1	8	6.76	класс начальной школы	рекреация
Автономный класс (рис. 3, помещение № 2)	37.3	1	10	3.73	класс начальной школы	
Коррекционный класс (рис. 3, помещение № 3)	23.1	1	8	2.9	часть рекреации	
Коррекционный класс (рис. 3, помещение № 9)	36.0	2	8–10	4	класс средней школы	коридор
Коррекционный класс (рис. 3, помещение № 10)	36.0	2	8–10	4	класс средней школы	
Всего классов специализированного обучения						5

Понятие «ресурсный класс» в России оговорено архитектурно-строительным документом «Руководство по дизайну образовательных пространств» рекомендательного типа и является «концепцией с идеями для реализации» без данных о необходимой площади, расчете числа и эргономике ученических мест²⁸ (таблица 2). Приводимые в зарубежных руководствах^{29, 30} параметры удельных площадей и состава помещений отвечают актуальным научным медицинским и психолого-педагогическим разработкам, имеющим доказанную эффективность, ставящим в приоритет не изоляционно-коррекционный, как многие отечественные, а адаптационный эффект (таблица 2).

²⁸ См. сноску 7.

²⁹ См. сноски 2, 3.

³⁰ Planning and design guidelines primary and post primary school special educational needs accommodation. Tullamore: Planning & Building Unit Department of Education, 2021. 64 p. URL: <https://assets.gov.ie/static/documents/sdg-02-04-primary-post-primary-school-specialist-accommodation-for-pupils-with-special.pdf> (дата обращения: 30.01.2025).

Таблица 2. Нормативные параметры архитектурно-планировочных компонент, необходимых для реализации инклюзивного обучения
Table 2. Normative parameters for architectural and planning components essential for the implementation of inclusive education

Источник Параметр	Зарубежные документы			Российские документы		
	Guidance for mainstream and special schools ³¹	Planning and design ³²	School design standards ³³	Рекомендации по проектированию образовательных учреждений ³⁴	Руководство по проектированию специальных (коррекционных) образовательных учреждений ³⁵	Руководство по дизайну ³⁶
Количество учеников в классе	6–12	6	–	8–9	10	–
Наличие ресурсного класса / площадь, м ²	+ / 50–65	+ / 70–80	+ / 46–78	– / 50 + 14 (лаборант-ская)	– / 4.2 на уч.*	+
Удельная площадь, м ²	5.41–8.3	11.7–13.3	–	–	–	–
Зонирование ресурсного класса	+	+	+	–	–	+
Наличие кладовых	+ / 4–6	+ / 8	+ / 8	+	–	–
Наличие сенсорной комнаты / площадь, м ²	+ / 12–24	+	–	+ / 12	18	+ / –
Кабинет индивидуальной работы / площадь, м ²	+ / 12–20	+	–	– / 26 + 10 (лаборант-ская)	+ / 12	–
Наличие тихой комнаты / площадь, м ²	–	+ / 10–12	+ / 12	–	–	–
Наличие мягкой игровой комнаты / площадь, м ²	+ / 24–30	–	–	–	–	–
Наличие комнаты СБО ³⁷ / площадь, м ²	+ / 20–60	+	–	–	+ / 50–70	+ / –

* Не является ресурсным, так как руководство разработано для специализированных, коррекционных центров. Кроме того, в описываемом классе отсутствует функциональное зонирование, которое требуется в модели ресурсного класса³⁸.

³¹ См. сноску 2.

³² См. сноску 30.

³³ См. сноску 3.

³⁴ См. сноску 4.

³⁵ См. сноску 5.

³⁶ См. сноску 7.

³⁷ Комната СБО – кабинет социально-бытовой ориентации.

³⁸ См. сноску 19.

Сравнивая руководства по проектированию для инклюзивных образовательных учреждений США, Англии, Ирландии³⁹ и разработанные на основе отечественных норм и педагогических разработок архитектурно-средовые решения, следует сделать ряд выводов о проектных решениях в «Школе № 96 Эврика-Развитие им. Нагибина М. В.»:

1. Количество учащихся в ресурсном, автономном классах, одновременно пребывающих в школе, не превышает 10 человек, отвечая диапазону 6–12 человек, апробированному за рубежом (таблица 2).
2. Площадь кабинетов недостаточна: варьируясь в границах 23.1–54.1 м², ее значения почти на 50–70 % меньше рекомендованных за рубежом 46–80 м². Удельная площадь 2.9–6.7 м²/чел. также мала по сравнению с 5.41–13.3 м²/чел.
3. Размещение инклюзивного блока на разных этажах нерационально, так как затрудняет педагогический процесс, увеличивает нагрузку на учителей и учеников в силу необходимости частого вертикального перемещения.
4. Отсутствуют: помещения сенсорной разгрузки, тихая комната, дополнительные кладовые, кабинет СБО, кабинеты индивидуальной работы.

Организация вышеперечисленных помещений, рекомендованных к реализации иностранными источниками (таблица 2), могла бы существенно повысить эффективность педагогического процесса. Проанализировав объемно-планировочные решения кабинетов, помещений специализированного обучения, функциональные связи между ними и блоками общешкольных помещений, приведенные в зарубежной нормативной литературе, и сравнив их с решениями, реализуемыми в школе № 96, авторы разработали функционально-планировочную схему предлагаемого БСРП (рис. 5). В ней отражены основные связи: главный вход – общешкольный коридор – коридор-рекреация БСРП, который соединяет учебные помещения специализированного образования, кабинеты педагогов, санузел. Обратим внимание, что для организации инклюзивного образования необходимо предусматривать простые и логичные связи между БСРП и общешкольными помещениями, что позволит ребенку с МН перемещаться по школе легко и с минимальной поддержкой тьютора. Также в данной схеме присутствует возможность «обратной» инклюзии, когда для нормотипичных учащихся закладывается возможность нахождения в рекреационных зонах БСРП, классах, сенсорной комнате. Для некоторых категорий учащихся с МН требуется избегать сенсорно нагруженной главной входной группы в здание школы. Расположение в непосредственной близости к БСРП отдельного входа позволит таким учащимся попадать в здание без эмоционально-психологической перегрузки (организация входа должна реализовываться с учетом действующих норм для МГН).

На основании разработанной функционально-планировочной схемы авторы выполнили архитектурную модернизацию рассматриваемого БСРП (проведена в соответствии с отечественными стандартами и рекомендациями^{40, 41} [1, 6, 9, 12]), которая в дальнейшем может быть усовершенствована и унифицирована до проектной модели, используемой для зданий школ типового проекта 2С-02-10 или аналогичных – 2С-02-9, 65-426/1 (рис. 6, 7).

³⁹ См. сноски 2, 3, 30.

⁴⁰ См. сноски 4–8, 19.

⁴¹ Об утверждении санитарных правил СП 2.4.3648-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организациям воспитания и обучения, отдыха и оздоровления детей и молодежи»: Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28 сентября 2020 г. № 28. URL: <https://base.garant.ru/75093644/?ysclid=mc8qc3kkts407283672> (дата обращения: 05.02.2025).

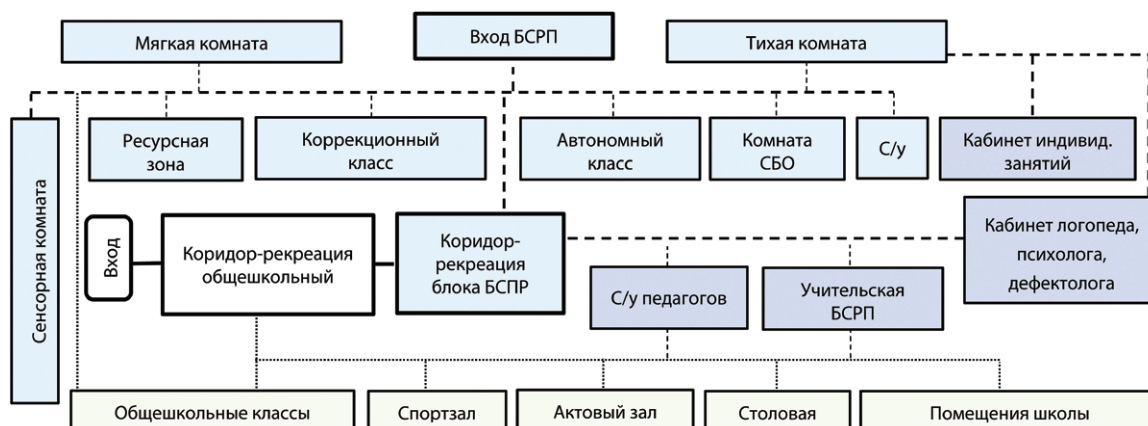


Рис. 5. Схема функциональных связей БСРП и общешкольных пространств (составлена авторами)

Fig. 5. Functional relationship scheme of the specialized resource room area and general school spaces (compiled by the authors)



Рис. 6. Предлагаемые объемно-планировочные решения по модернизации БСРП (схема составлена авторами)

Fig. 6. Proposed architectural and planning solutions for modernizing the specialized resource room area (compiled by the authors)

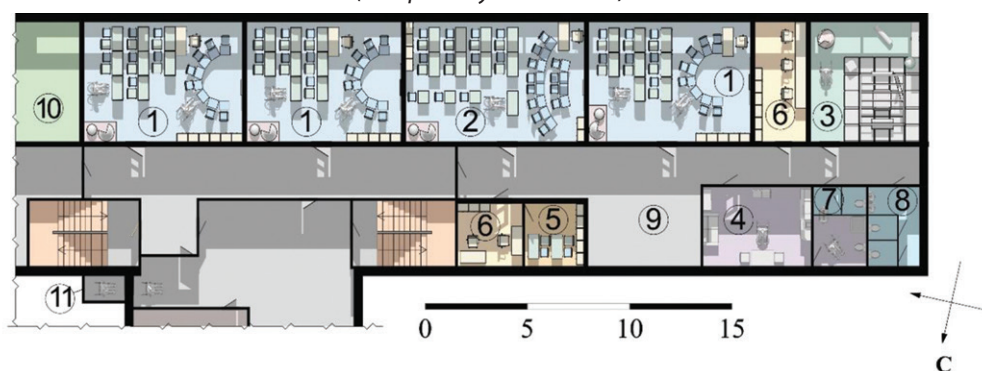


Рис. 7. Предлагаемая план-схема размещения БСРП (составлена авторами)

Fig. 7. Proposed spatial layout for the specialized resource room area (compiled by the authors)

⁴² Там же.

Опишем предлагаемую модель организации БСПР на примере школы № 96:

1. Функциональное отделение инклюзивного блока от основных школьных помещений можно считать верным, но удаленность от главной входной группы (рис. 1, 2, вход А) затрудняет ориентацию и доступность помещений. Рекомендуется организовать доступ в БСПР посредством ближайшей входной группы (рис. 1, 2, вход Б), а также организовать пандус на входе А (рис. 6).
2. Недостаток общей и удельной площадей большинства специализированных классов рационально компенсировать за счет снижения числа учащихся с 8–10 до 6–8.
3. В соответствии с запросом педагогов о необходимости вспомогательных помещений при основных классах (сенсорной комнаты, кабинетов индивидуальных занятий, СБО и др.) предлагается перепрофилирование кабинетов начальной школы первого этажа (рис. 3, помещение № 6) и возвращение прежней функции кабинетам средней и старшей школы на втором этаже.
4. Возведение отдельно стоящего или встроенно-пристроенного БСПР возможно, но не рационально в связи отсутствием резерва площади участка. Оптимальным решением станет модернизация функционирующего БСПР за счет реорганизации трех кабинетов начальной школы с наименьшими затратами: сохраняются имеющиеся перегородки, новые добавляются в минимальном количестве (рис. 6).
5. Основываясь на Постановлении Главного государственного санитарного врача РФ от 28 сентября 2020 г. № 28 и педагогических рекомендациях, образовательное пространство предлагается сформировать на первом этаже из 4 классов: трех ресурсных (с наполняемостью 8 учащихся) с зонированием и одного класса для учащихся с УО (с наполняемостью 12 человек), в котором также предусматривается зонирование, индивидуальные парты и парты для работы с тьютором.
6. В качестве вспомогательных кабинетов возможно организовать комнату сенсорной разгрузки, кабинет СБО со смежным санузлом и душевой, кабинет индивидуальных занятий, 2 кабинета учителей.

Технические показатели по существующему и предлагаемому решениям приведены в таблице 3.

Таблица 3. Сравнительный анализ данных существующего и предлагаемого варианта БСПР
Table 3. Comparative data analysis of the existing and proposed specialized resource room area

		Существующее решение	Предлагаемые решения	
			значение	разница с существующим
Занимаемые этажи		1 и 2	1	
Общая площадь БСРП, м²		328.84	455.82	больше на 126.98 м²
Из них:	площадь образовательных пространств, м²	186.5	263.81	больше на 77.31 м²
	вспомогательная площадь БСРП, м²	140.20	160.98	больше на 20.78 м²
Коэффициент отношения площади образовательных пространств к общей площади БСРП		0.57	0.58	
Наполняемость классов БСРП, уч. / Средняя удельная площадь класса на 1 уч., м²		46 / 4.28	36 / 6.12	
Доступный вход для МГН		Только вход Б	Входы А и Б	
Возможность доступа на вышележащие этажи для МГН		–	Предусмотрен лифт	
Номенклатура помещений, составляющих БСРП				
Ресурсный, автономный, коррекционный класс: количество, шт. / площадь, м²/ зонирование		5 / 186.50 / +	4 / 220.6 / +	
Кладовые		–	–	

Продолжение таблицы 3 / Continuation of table 3

	Существующее решение	Предлагаемые решения	
		значение	разница с существующим
Сенсорная комната, м ²	–		37.3
Кабинет учителя: количество, шт. / площадь, м ²	1 / 18.1		2 / 29.77
Кабинет индивидуальных занятий, м ²	–		10.57
Кабинет СБО с санузлом и душевой, м ²	–		32.64
С/у учащихся, м ²	20.9		11.65
С/у учителя, м ²	–		4.23

Из таблицы видно, что на фоне увеличения площадей БСРП коэффициент отношения площади образовательных пространств к общей площади БСРП практически не изменился. При этом удельная площадь классов немного возросла и стала приближаться к значениям, рекомендованным зарубежными источниками (таблица 2); добавлены помещения, способствующие качественному и эффективному проведению инклюзивного образовательного процесса для разных групп пользователей зданием школы; оптимизированы пути передвижения учащихся и учителей БСРП за счет его расположения в уровне одного этажа, наличия лифта и отдельной входной группы (рис. 6, 7).

4. Заключение / Conclusions

В настоящее время организация инклюзивного обучения детей с РАС в общеобразовательных школах происходит, как правило, стихийно, по инициативе заинтересованных лиц, без наличия разработанных, стандартных объемно-планировочных решений, позволяющих реализовывать инклюзивные практики качественно, не ущемляя права нормотипичных учащихся, учителей, родителей. Это связано с тем, что источники, регламентирующие и регулирующие архитектурно-планировочную модель инклюзивного образования, в нашей стране практически отсутствуют. Хотя, как показало, в частности, наше исследование, на практике реализовать такое обучение в зданиях школ, построенных по типовым проектам периода СССР, возможно.

В ходе исследования определено:

1. Организация блока специализированных ресурсных помещений может быть реализована в школах, построенных по типовому проекту 2С-02-10 (и аналогичных – 2С-02-9, 65-426/1), на первом этаже за счет уменьшения количества кабинетов начальной школы, уплотнения классов начального образования (в зависимости от условий, местоположения конкретной образовательной организации).
2. Возведение отдельно стоящего или встроенно-пристроенного БСРП позволяет реализовывать инклюзивное образование без смены функции большого количества классов и кабинетов, но трудоемко и часто ограничено в связи отсутствием резерва площади участка. Поэтому лучшим способом, позволяющим подготовить БСРП с наименьшими затратами, будет реорганизация блока начальной школы в пределах одного (первого) этажа. Обязательно наличие отдельной входной группы и лифта для беспрепятственного перемещения обучающихся с РАС.
3. Блок специализированных ресурсных помещений должен включать кроме учебных кабинетов (ресурсного, автономного, коррекционного) классы и помещения, в которых будут осуществляться специализированные АООП, позволяющие проводить процесс инклюзивного

образования качественно и эффективно: сенсорная комната, кабинет СБО, кабинеты индивидуальных занятий, комната депривации, мягкая комната, кладовые (в зависимости от конкретных условий и возможностей образовательной организации).

Создание инклюзивного пространства в современной школе – важный и необходимый процесс, который возможно осуществлять и в зданиях старого фонда при их соответствующей объемно-планировочной модернизации и регулировании наполняемости классов. Переход к комплексному продуманному инклюзивному пространству в общеобразовательных школах будет способствовать удовлетворению прав и интересов всех групп пользователей, эффективному процессу обучения детей с РАС, позволит растить из них максимально самостоятельных граждан, не находящихся на иждивении государства [1, 12, 13, 20].



Вклад авторов. Стрельникова Е. Ю.: концепция исследования, развитие методологии, подбор литературы и источников, написание исходного текста, выполнение графического материала. Чеберева О. Н.: научное руководство, доработка и корректировка текста.

Author contributions. Elena Yu. Strelnikova: research concept, methodology development, literature review, initial text writing, creation of graphic materials. Olga N. Chebereva: scientific supervision, text revision and editing.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Алехина С. В. Инклюзивная образовательная среда и параметры ее оценки. В сб.: *Инклюзивное образование: опыт и перспективы: Сборник научных статей международной научно-практической конференции, Ярославль, 27–29 апреля 2022 года*. Ярославль: Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, 2022. С. 17–24. <https://doi.org/10.20323/978-5-00089-577-1-2022-2-3>
2. Огнева М. А., Кулачковский В. Н. Модель архитектурно-пространственных принципов для обеспечения адаптации людей с аутизмом. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(2):6–16. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-2-6-16>
3. Зуйков Д. В., Насыбуллина Р. А. Особенности восприятия архитектурного пространства у людей с ограниченными возможностями здоровья. *Архитектура и современные информационные технологии*. 2024;(3):88–101. <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2024-3-88-101>
4. Kowaltowski D. C. C. K., Gonçalves P. P., Cleveland B. Better school architecture through design patterns. *Learning Environments Research*. 2024;27:619–647. <https://doi.org/10.1007/s10984-024-09494-0>
5. Sheykhmaleki P., Yazdanfar S. A. A., Litkouhi S., Nazarian M., Price A. D. F. Prioritising public spaces architectural strategies for autistic users. *Archnet-IJAR*. 2021;15(3):555–570. <http://dx.doi.org/10.1108/ARCH-07-2020-0142>
6. Стрельникова Е. Ю. Специфика организации образовательной среды для учащихся с ментальными нарушениями. В сб.: *Реабилитация жилого пространства горожанина: материалы XIX международной научно-практической конференции им. В. Татлина, Пенза, 17 февраля 2023 года*. Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2023. С. 411–413.
7. Calle K. J. C., Almeida J. A. V. Interior design model for an inclusive classroom focused on children with autism. In: Abreu A., Carvalho J. V., Mesquita A., Sousa Pinto A., Mendonça Teixeira M. (eds.) *Perspectives and Trends in Education and Technology. ICITED 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 859. Cham: Springer, 2024. P. 129–144. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78155-1_13
8. Mostafa M., Sotelo M., Honsberger T., Honsberger Ch., Brooker Lozott E., Shanok N. The impact of ASPECTSS-based design intervention in autism school design: a case study. *Archnet-IJAR*. 2023;18(2):318–339. <https://doi.org/10.1108/arch-11-2022-0258>
9. Чеберева О. Н., Стрельникова Е. Ю. Архитектурно-планировочные решения ресурсных зон в общеобразовательных учреждениях. В сб.: *Актуальные проблемы строительной отрасли и образования – 2023: Сборник докладов IV Национальной научной конференции, Москва, 15 декабря 2023 года*. Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2024. С. 327–332.

10. Козорез А., Беспалова А., Гончаренко М., Калабухова А., Лебедева Е., Морозова Е. *Ресурсный класс. Опыт организации обучения и внеурочной деятельности детей с аутизмом в общеобразовательной школе: практическое пособие*. Москва: АНО «Ресурсный класс», 2016. 360 с.
11. Андриянова Т. С., Лапчинская И. В. Проблемы обучения детей с аутизмом в общеобразовательной школе. В сб.: *Профессия, что всем дает начало: роль педагога в современном образовании: IV международная педагогическая конференция, Челябинск, 25 марта – 02 апреля 2024 года*. Челябинск: Издательство ЗАО «Библиотека А. Миллера», 2024. С. 48–50.
12. Zeidan J., Fombonne E., Scoran Ju., Ibrahim A., Durkin M. S., Saxena Sh., et al. Global prevalence of autism: A systematic review update. *Autism research*. 2022;15(5):778–790. <https://doi.org/10.1002/aur.2696>
13. Хаустов А. В., Шумских М. А. Тенденции включения детей с РАС в систему общего образования: результаты Всероссийского мониторинга. *Аутизм и нарушения развития*. 2023;21(3):5–17. <https://doi.org/10.17759/autdd.2023210301>
14. Ji B., Peng X., Hong Lu., Shimpuku Y., Teramoto Ch., Chen S. Does attending mainstream school improve the social inclusion of children on the autism spectrum and their parents? A cross-sectional study in China. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2025. <https://doi.org/10.1007/s10803-025-06774-3>
15. Green J., Learbitter K., Ellis C., Taylor L., Moore H. L., Carruthers S., et al. Combined social communication therapy at home and in education for young autistic children in England (PACT-G): a parallel, single-blind, randomised controlled trial. *The Lancet Psychiatry*. 2022;9(4):307–320. [https://doi.org/10.1016/s2215-0366\(22\)00029-3](https://doi.org/10.1016/s2215-0366(22)00029-3)
16. Морозов С. А., Морозова С. С., Морозова Т. И. Некоторые проблемы инклюзии при расстройствах аутистического спектра. *Аутизм и нарушения развития*. 2020;18(1):51–61. <https://doi.org/10.17759/autdd.2020180106>
17. Огольцова Е. Г., Палецкая Т. В. История инклюзивной практики в странах Западной Европы. *Мир науки, культуры, образования*. 2022;(1):33–36. <https://doi.org/10.24412/1991-5497-2022-192-33-36>
18. Мицан Е. Л., Барбина В. Д. *Особенности организации инклюзивного образования в России*. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, 2024. 55 с. ISBN 978-5-9967-3212-8.
19. Сальникова О. Д., Кухлеева А. В., Бородинов Г. А. Развитие навыков социального взаимодействия у детей с РАС в условиях ресурсного класса. *Проблемы современного педагогического образования*. 2023;(79-1):255–258. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54066905>.

References

1. Alyokhina S. V. Inclusive educational environment and parameters of its assessment. In: *Inklyuzivnoye obrazovaniye: opyt i perspektivy: Sbornik nauchnykh statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Yaroslavl, April 27–29, 2022*. Yaroslavl: Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky; 2022. P. 17–24. (In Russ.). <https://doi.org/10.20323/978-5-00089-577-1-2022-2-3>
2. Ogneva M. A., Kulachkovskiy V. N. Model of architectural and spatial guidelines for the adaptation of people with autism. *Architecture, construction, transport*. 2024;(2):6–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-2-6-16>
3. Zuikov D. V., Nasybullina R. A. The peculiarities of perception of architectural space among people with disabilities. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2024;(3):88–101. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1998-4839-2024-3-88-101>
4. Kowaltowski D. C. C. K., Gonçalves P. P., Cleveland B. Better school architecture through design patterns. *Learning Environments Research*. 2024;27:619–647. <https://doi.org/10.1007/s10984-024-09494-0>
5. Sheykholeki P., Yazdanfar S. A. A., Litkouhi S., Nazarian M., Price A. D. F. Prioritising public spaces architectural strategies for autistic users. *Archnet-IJAR*. 2021;15(3):555–570. <http://dx.doi.org/10.1108/ARCH-07-2020-0142>
6. Strelnikova E. Yu. The specifics of the organization of the educational environment for students with mental disabilities. In: *Reabilitatsiya zhilogo prostranstva gorozhanina: materialy XIX mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii im. V. Tatlina, Penza, 17 February, 2023*. Penza: Penza State University of Architecture and Construction. P. 411–413. (In Russ.)
7. Calle K. J. C., Almeida J. A. V. Interior design model for an inclusive classroom focused on children with autism. In: Abreu A., Carvalho J. V., Mesquita A., Sousa Pinto A., Mendonça Teixeira M. (eds) *Perspectives and Trends in Education and Technology. ICITED 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 859. Cham: Springer, 2024. P. 129–144. https://doi.org/10.1007/978-3-031-78155-1_13

8. Mostafa M., Sotelo M., Honsberger T., Honsberger Ch., Brooker Lozott E., Shanok N. The impact of ASPECTSS-based design intervention in autism school design: a case study. *Archnet-IJAR*. 2023;18(2):318–339. <https://doi.org/10.1108/arch-11-2022-0258>
9. Chebereva O. N., Strelnikova E. Yu. Architectural and planning solutions of resource zones in educational institutions. In: *Aktual'nyye problemy stroitel'noy otrasli i obrazovaniya – 2023: Sbornik dokladov IV Natsional'noy nauchnoy konferentsii, Moscow, 15 December, 2023*. Moscow: Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), 2024. P. 327–332. (In Russ.)
10. Kozorez A., Bupalova A., Goncharenko M., Kalabuhova A., Lebedeva E., Morozova E. *Resource class. Experience in organizing education and extracurricular activities for children with autism in a general education school: a practical guide*. Moscow: ANO "Resursnyy klass", 2016. (In Russ.)
11. Andrianova T. S., Lapchinskaya I. V. Problems of teaching children with autism in secondary schools. In: *Professiya, chto vsem dayet nachalo: rol' pedagoga v sovremennom obrazovanii: IV mezhdunarodnaya pedagogicheskaya konferentsiya, Chelyabinsk, 25 March – 02 April, 2024*. Chelyabinsk: Izdatel'stvo ZAO "Biblioteka A. Millera", 2024. P. 48–50. (In Russ.)
12. Zeidan J., Fombonne E., Scoran Ju., Ibrahim A., Durkin M. S., Saxena Sh., et al. Global prevalence of autism: A systematic review update. *Autism research*. 2022;15(5):778–790. <https://doi.org/10.1002/aur.2696>
13. Khaustov A. V., Schumskih M. A. Trends in the inclusion of children with ASD in the general education system: all-Russian monitoring results. *Autism and Developmental Disorders*. 2023;21(3):5–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.17759/autdd.2023210301>
14. Ji B., Peng X., Hong Lu., Shimpuku Y., Teramoto Ch., Chen S. Does attending mainstream school improve the social inclusion of children on the autism spectrum and their parents? A cross-sectional study in China. *Journal of Autism and Developmental Disorders*. 2025. <https://doi.org/10.1007/s10803-025-06774-3>
15. Green J., Learbitter K., Ellis C., Taylor L., Moore H. L., Carruthers S., et al. Combined social communication therapy at home and in education for young autistic children in England (PACT-G): a parallel, single-blind, randomised controlled trial. *The Lancet Psychiatry*. 2022;9(4):307–320. [https://doi.org/10.1016/s2215-0366\(22\)00029-3](https://doi.org/10.1016/s2215-0366(22)00029-3)
16. Morozov S. A., Morozova S. S., Morozova T. I. Certain inclusion problems in autism spectrum disorders. *Autism and developmental disorders*. 2020;18(1):51–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.17759/autdd.2020180106>
17. Ogoltsova E. G., Paletskaya T. V. History of inclusive practice in Western Europe. *The world of science, culture, and education*. 2022;(1):33–36. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1991-5497-2022-192-33-36>
18. Mitsan E. L., Barbina V. D. *Peculiarities of the organization of inclusive education in Russia*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University; 2024. (In Russ.) ISBN 978-5-9967-3212-8.
19. Salnikova O. D., Kukhleeva A. V., Borodinov G. A. Development of social interaction skills in children with ASD in a resource class. *Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovaniya*. 2023;(79-1):255–258. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54066905>.



Информация об авторах

Стрельникова Елена Юрьевна, соискатель кафедры архитектурного проектирования, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Российская Федерация, lena.str.2011@yandex.ru

Чеберева Ольга Николаевна, канд. архитектуры, доцент кафедры архитектурного проектирования, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Российская Федерация, chebereva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4248-9567>

Information about the authors

Elena Yu. Strelnikova, Candidate for the Department of Architectural Design, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russian Federation, lena.str.2011@yandex.ru

Olga N. Chebereva, Cand. Sci. (Architecture), Associate Professor in the Department of Architectural Design, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russian Federation, chebereva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4248-9567>

Получена 28 февраля 2025 г., одобрена 16 мая 2025 г., принята к публикации 28 мая 2025 г.

Received 28 February 2025, Approved 16 May 2025, Accepted for publication 28 May 2025



Световые проекции как инструмент формирования комфортной городской среды

В. М. Стерликова ✉

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

✉ sterlikovavm@tyuiu.ru



Аннотация. Современные световые проекции и голографические технологии представляют собой перспективные инструменты для качественного преобразования городской среды, формирования уникальных архитектурных образов и улучшения условий пребывания в городских пространствах. Анализ текущего состояния одной из центральных улиц Тюмени – ул. Первомайской – выявил ряд проблем, связанных со световым благоустройством: неравномерность освещения, низкую эффективность существующих осветительных устройств, отсутствие адаптивных режимов освещения, учитывающих сезонные и суточные изменения, а также недостаточно проработанные сценарии подсветки архитектурных объектов и зеленых насаждений. Для устранения выявленных недостатков предложены комплексные меры по совершенствованию светового оформления данной улицы, направленные на повышение уровня комфорта и безопасности городской среды, создание благоприятного психологического климата. Среди предлагаемых решений – использование проекционных фонарей для освещения затемненных участков пешеходной зоны и световых проекций для облагораживания заброшенных объектов и пустующих территорий, проектирование динамических световых фасадов, позволяющих адаптивно изменять внешний вид зданий в зависимости от различных факторов и являющихся дополнительным источником освещения в темное время суток. Внедрение инновационных подходов в градостроительный процесс открывает перспективы для создания комфортной городской среды нового поколения.

Ключевые слова: световая архитектура, световая среда, световые проекции, видеомэппинг, цифровой проектор, голографические технологии, освещение улиц

Для цитирования: Стерликова В. М. Световые проекции как инструмент формирования комфортной городской среды. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(2):26–34. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-26-34> EDN: JAAHFC

Light projections as a tool for creating a comfortable urban environment

Viktoriya M. Sterlikova ✉

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

✉ sterlikovavm@tyuiu.ru



Abstract. Modern light projections and holographic technologies represent promising tools for the qualitative transformation of the urban environment, creating unique architectural images, and improving experience in urban spaces. Analysis of Pervomayskaya Street, one of the central thoroughfare in Tyumen, revealed several issues related to its lighting design: uneven illumination, low efficiency of existing lighting fixtures, a lack of

adaptive lighting modes to accommodate seasonal and diurnal changes, as well as insufficiently developed scenarios for architectural features and green spaces. To address these shortcomings, comprehensive measures have been proposed to improve the street's lighting scheme, focusing on enhancing comfort and safety within the urban environment and fostering a positive psychological atmosphere. Proposed solutions include employing projection lighting to illuminate shadowed sections of the pedestrian zone and light projections to enhance abandoned objects and vacant lots, designing dynamic illuminated facades that adapt the visual appearance of buildings based on various factors and serve as supplementary lighting during nighttime hours. The integration of innovative approaches into the urban planning process unlocks the potential for creating a next-generation comfortable urban environment.

Keywords: light architecture, light environment, light projections, video mapping, digital projector, holographic technologies, street lighting

For citation: Sterlikova V. M. Light projections as a tool for creating a comfortable urban environment. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(2):26–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-26-34>



1. Введение / Introduction

В условиях нарастающих темпов урбанизации, когда около 60 % мирового населения проживает в городах, улучшение качества жизни горожан становится критически важной задачей. Градостроители стремятся наполнить современные мегаполисы не только функциональными, но и вдохновляющими пространствами, ориентированными на культурный обмен и взаимодействие между жителями.

Неотъемлемой частью современной культуры и урбанистики стали световые проекции, трансформирующие городские пространства и создающие уникальные общественные зоны. Они помогают оживлять архитектурные фасады, превращая их в динамические полотна, а также делают общественные пространства более привлекательными и интерактивными. Применению световых проекций в городском пространстве посвящено немало научных исследований. Родоначальником световой архитектуры и профессионального светодизайна считается американский архитектор Ричард Келли (Richard Kelly). Освещение – неотъемлемая часть архитектуры, заявил он в середине XX в. Свет помогает формировать атмосферу, передавать эмоции и раскрывать красоту архитектуры. Благодаря современным технологиям этого можно достичь с минимальным расходом энергии [1]. Келли, по сути, определил ночной облик ряда городов. Они засветились, заиграли, как самоцветы, лучами.

Благодаря инновационным исследованиям в области светового дизайна и его интеграции в городское пространство мировое признание получил выдающийся французский архитектор и дизайнер Роже Нарбони (Roger Narboni). Он утверждал: «Свет играет ключевую роль в восприятии пространства человеком, способствуя созданию атмосферы, улучшая навигацию и повышая безопасность» [2]. Одним из наиболее значимых вкладов Нарбони является концепция умного освещения, которая предполагает использование технологий для адаптации освещения к различным условиям, таким как время суток, погодные условия и активность людей. Посредством гибкой настройки освещения такие системы обеспечивают оптимальное распределение света в городе, что улучшает видимость и способствует повышению безопасности на улицах, в парках и других общественных местах [3].

Турецко-американскому медиахудожнику Рефику Анадолу (Refik Anadol) удалось в своих работах объединить искусство, технологии, науку и архитектуру. При помощи специального программного обеспечения он создает проекции на поверхностях зданий, используя при этом весь объем архитектурных сооружений и визуально меняя их привычную внешнюю форму. Такой прием оживляет архитектуру, делает ее колористически разнообразной и метафоричной. В свою очередь это позволяет сформировать новые связи привычных архитектурных объектов с окружающей городской сре-

дой, открывает новые возможности восприятия и взаимодействия человека с объектом, предоставляет возможность воспринимать городское пространство как многовариантную живую среду [4].

Еще один известный художник в области световых проекций Реити Курокава (Ryoichi Kurokawa) в своем проекте Unfold, представленном на фестивале Lumiere в Лондоне, использовал сложные алгоритмы и цифровые технологии для создания абстрактной световой скульптуры, которая взаимодействовала с окружающей средой и менялась в зависимости от времени суток и погодных условий [5]. Это произведение искусства показало, что свет может стать частью природы города, подчеркнуть его ритм и атмосферу.

Отдельно стоит отметить исследования, посвященные использованию световых проекций, способствующих развитию социальной активности и культурной идентичности. Самое высокое здание Бразилии Mirante do Vale построено в 1966 г. (спроектировано инженером-строителем Вальдомиро Зарзуром (Waldomiro Zarzur) и архитектором Ароном Коганом (Aron Kogan)) в долине Анхангабау, в самом центре Сан-Паулу. Оно не использовалось на протяжении почти трех десятилетий, пока компания Heineken не переоборудовала здание в открытую площадку для танцев. Благодаря интерактивной инсталляции, реагирующей на движения людей, цвет и музыка на площадке постоянно меняются [6]. В настоящее время это здание является визитной карточкой города и местом притяжения туристов.

Основы световой архитектуры в нашей стране заложили Н. М. Гусев и В. Г. Макаревич. Авторы книги «Световая архитектура» (1973 г.) впервые провели аналогии между живописью и городским освещением, ввели такие ключевые понятия световой архитектуры города, как световая панорама и световая архитектура городского ансамбля [7].

Основоположником современной световой урбанистики в России является Н. И. Щепетков. Он показал, что свет является полноценным инструментом формирования архитектурных образов, сравнимым по значимости с традиционными строительными материалами, обосновал необходимость правильного использования света для улучшения качества жизни горожан, повышения эстетической ценности городской среды и обеспечения безопасности [8]. Эти идеи нашли продолжение в современных исследованиях, направленных на трансформацию городских пространств с помощью световых проекций [9].

Целью данного исследования являлся анализ современного состояния светового благоустройства ул. Первомайской в Тюмени и выявление ключевых проблем, связанных с освещением данной территории. Исследование направлено на разработку комплексного подхода к интеграции современных световых решений в сложившуюся городскую среду, способствующих повышению эстетики и функциональности общественных пространств.

Улица Первомайская является одной из центральных магистралей, связывающей ключевые транспортные узлы и общественные пространства города. Она расположена в двух административных округах – Центральном и Калининском – и имеет протяженность 1.6 км. Выбор данной улицы в качестве объекта исследования обусловлен высокой транспортной и пешеходной нагрузкой, наличием исторических памятников и культурных объектов, а также разнообразием городских территорий, что делает ее репрезентативной для изучения состояния светового благоустройства в городе.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Анализ существующей световой среды ул. Первомайской в Тюмени проводился посредством комплексных полевых наблюдений и картографирования. В ходе исследования изучалось уличное освещение, фотографирование различных участков улицы в разное время суток позволило оценить интенсивность и распределение светового потока. Благодаря ГИС-технологиям удалось визуализировать данные о распределении источников света вдоль улицы и прилегающих территорий. Также проводилось изучение планов и проектов по благоустройству рассматриваемой улицы.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Исследование освещенности ул. Первомайской осуществлялось с целью анализа равномерности освещения городской среды, эффективности осветительных приборов, выявления адаптивного освещения, учитывающего сезонные и суточные изменения, а также анализа сценариев подсветки архитектурных объектов и зеленых насаждений. Полевые наблюдения проводились в течение нескольких дней. Фотоматериалы фиксировали распределение света и теней в разные часы дня и ночи. Для измерения интенсивности освещения на различных участках улицы применялся метод расчетных значений.

Были выявлены следующие недостатки световой среды улицы:

- световые опоры установлены с отклонениями от проектного расстояния между ними;
- территория характеризуется неравномерной освещенностью, неправильным распределением цветов и недостаточной энергоэффективностью, что негативно сказывается на восприятии фасадов зданий пешеходами;
- в пешеходных и рекреационных зонах освещение либо отсутствует, либо отличается низким качеством, что проявляется в виде неравномерности, недостатка или избытка света;
- подсветка декоративных элементов ландшафта практически не предусмотрена;
- архитектурное освещение объектов культуры и развлечений зачастую избыточно.

Результаты исследований представлены на рис. 1. Схема создана на основании отчета по инструментальному обследованию приоритетных объектов городской среды с измерением параметров видимости на предмет соответствия СП 52.13330.2016¹ на момент исследования.

На основании полученных данных и современных тенденций в сфере освещения были разработаны рекомендации по улучшению светового благоустройства, направленные на повышение комфортности городской среды и создание более безопасной и эстетичной обстановки в городе.

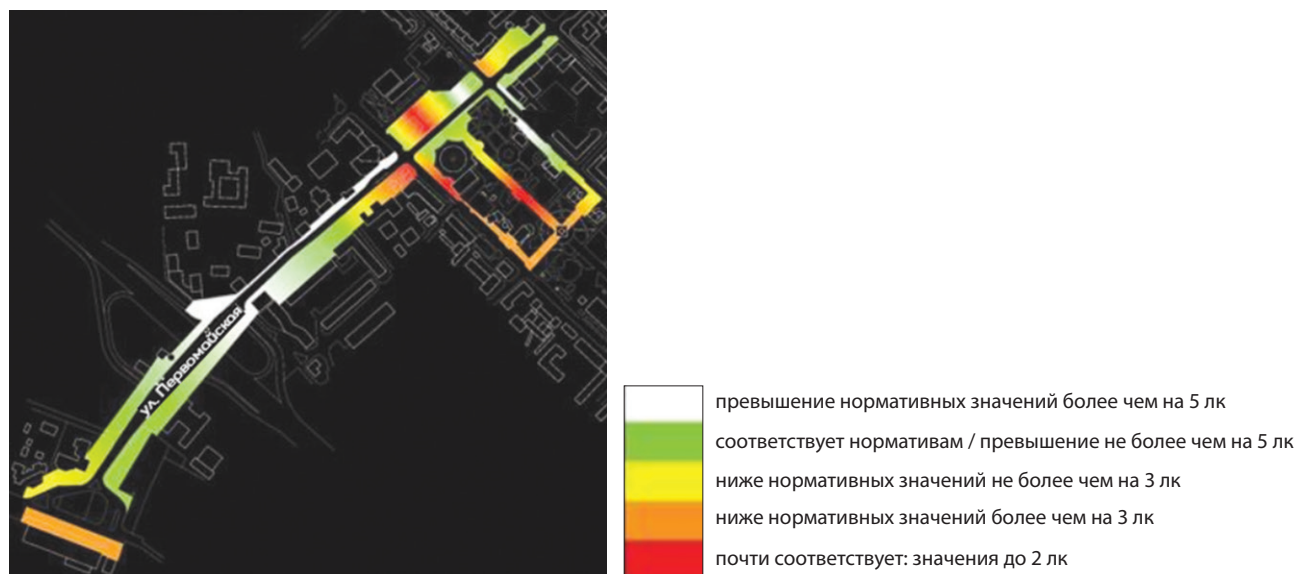


Рис. 1. Схема соответствия уровня освещенности нормативам
(схема составлена автором в Adobe Photoshop)

Fig. 1. Illuminance compliance scheme (created by the author using Adobe Photoshop)

¹ СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение = Daylighting and artificial lighting: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 07.11.2016 № 777/пр: введен в действие 08.05.2017. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197?ysclid=mckeqk0pl4503851877> (дата обращения: 02.04.2025).

Одной из передовых технологий, обеспечивающих создание оптических иллюзий, является проецирование света. Посредством светового излучения на поверхности различной геометрии, будь то плоскости, фасады зданий или даже элементы озеленения, передаются изображения. Благодаря этому окружающая среда может быть кардинально преобразована, дополнена яркими и неповторимыми деталями. Например, этого можно добиться с помощью видеомэппинга – технологии, представляющей собой аудиовизуальную передачу трехмерных изображений на различные объекты: фасады зданий, мосты, автомобили или природные ландшафты [10]. Видеомэппинг широко применяется в индустрии развлечений, хотя его можно использовать и в других сферах. В частности, с его помощью можно привлекать внимание к забытым или недостаточно обустроенным территориям, которые негативно влияют на общий облик города. Такие участки часто недостаточно освещены, что делает их визуально непривлекательными и порой даже опасными.

Создание световых проекций подразумевает несколько этапов [11]. На первом осуществляется выбор локации и проводится оценка территории, включая размеры, форму и степень освещенности. Затем создается фотография местности, необходимая для построения точной трехмерной модели. Следующий этап – разработка концепции будущей инсталляции с учетом размеров, тематики и смысловой нагрузки. Далее – формирование трехмерной модели объекта. Важно учитывать, что проекция визуализируется исключительно в темное время суток или в специально затемненных помещениях.

Для освещения пешеходного бульвара на пересечении улиц Первомайской и Володарского, а также вдоль заброшенных и затемненных скверов были разработаны предложения по установке проекционных фонарей с эпидиаскопическим проекционным аппаратом. Эпидиаскопический проекционный аппарат – устройство, предназначенное для передачи изображений с плоских непрозрачных оригиналов путем их освещения и последующей фокусировки через систему линз [12]. В сфере городского благоустройства подобные аппараты активно используют для организации декоративной подсветки фасадов, оформления площадей и парков эффектными световыми композициям.

Предлагаемый световой дизайн предполагает создание серии тематических изображений для привлечения внимания горожан и создания благоприятного психологического климата (рис. 2).

Особое внимание уделялось заброшенным объектам, ухудшающим общее восприятие городской среды. В частности, на этапе проведения исследования была произведена визуальная оценка дома мещанина И. С. Замятина (ул. Первомайская, 32) – памятника архитектуры, который находился



Рис. 2. Фонари с эпидиаскопическим проекционным аппаратом
(рисунок создан автором в Adobe Photoshop)
Fig. 2. Lights with epidiascope projector
(image created by the author using Adobe Photoshop)

в запущенном состоянии (в настоящий момент завершена реконструкция этого исторического объекта). Было предложено облагородить здание посредством передачи световых изображений на фасад, которые не только скроют недостатки, но и станут дополнительным украшением улицы в вечернее время. Варианты световых проекций могут быть самые разнообразные, от исторических сцен, связанных с прошлым здания, до современных развлекательных мотивов (рис. 3). Использование световых проекций на фасаде зданий может подчеркнуть их архитектурные особенности, сделать данные объекты частью современного городского пейзажа [13].

Еще одним современным решением является использование светящихся материалов для трансформации архитектурного облика

зданий в городской среде (рис. 4). К нему также можно прибегать при исторической и стилистической реставрации объектов [14]. Интеграция светящихся блоков в фасады зданий позволяет значительно изменить их визуальное восприятие в вечернее время и при этом не нарушить целостности архитектурного образа днем. Благодаря скрытому размещению световых элементов внутри конструкции блока не требуется внешнее освещение здания, а чистота линий фасада в дневное время сохраняется. Фасад здания днем выглядит строго, но с наступлением вечера оживает благодаря встроенным световым элементам, которые трансформируют его облик и привлекают внимание прохожих. С помощью света можно преобразовать не только отдельные здания, но и целые кварталы. Благодаря созданию визуальных доминант можно изменить внешний облик заброшенных территорий, незавершенных строек или непригодных для строительства участков, переосмыслить их функциональное назначение.

В непосредственной близости от тюменского железнодорожного вокзала на ул. Первомайской располагается промышленная зона бывшего завода пластмасс, цеха которого были снесены несколько лет назад. В настоящее время данный участок, расположенный на гостевом маршруте, остается не обустроенным. На основании результатов оценки текущего состояния освещения и выявления зон, нуждающихся в преобразовании, было предложено разместить на рассматриваемой территории световую стелу абстрактной формы или в виде символа города (рис. 5). Такая визуальная доминанта, просматриваемая с дальних расстояний, способна изменить облик пространства и его восприятие, привлечь внимание горожан и туристов. Световые проекции с меняющимися в зависимости от сезона или события изображениями являются динамичным инструментом граффити, способным вносить разнообразие в городскую среду.



Рис. 4. Светящийся материал в стене здания
(фото из открытых источников)

Fig. 4. Luminous material in the building wall
(photo from open sources)



Рис. 3. Один из вариантов светового изображения на фасаде дома мещанина И. С. Замятина в Тюмени
(рисунок создан автором в Adobe Photoshop)

Fig. 3. A proposed lightning concept for the facade of the I. S. Zamyatin merchant's house in Tyumen
(image created by the author using Adobe Photoshop)



Рис. 5. Пример использования световой стелы на заброшенной территории
(рисунок создан автором в Adobe Photoshop)

Fig. 5. Example of using a light pylon in an abandoned area
(image created by the author using Adobe Photoshop)



Рис. 6. Визуализация объекта
(рисунок создан автором в Adobe Photoshop)
Fig. 6. Object visualization
(image created by the author using Adobe Photoshop)

Уникальными художественными возможностями в градостроительной сфере обладает голография. Голографический метод был изобретен венгерским ученым Денешем Габором (Dennis Gabor), который получил за свое открытие Нобелевскую премию по физике в 1971 г. «Все просто: вы видите реальный объект, который на самом деле является объемной картинкой», – утверждал ученый [15].

Голографическое проектирование позволяет создавать детальные трехмерные модели объектов, что особенно важно в инженерии и архитектуре, обеспечивает реалистичное представление проектов, облегчает процесс доработки и оптимизации проектов, так как вносить в них изменения можно в режиме реального времени [16].

Одной из перспективных разработок является оснащенный интегрированными LED-, 3LCD- и DLP-проекторами куб. Благодаря ему на территории предполагаемой застройки можно создавать голографическое изображение будущего объекта в реальных размерах. Таким образом, у жителей появляется возможность увидеть еще не существующий объект в реальной городской среде.

Парковка на ул. Первомайской, согласно открытым источникам, рассматривается в качестве потенциальной площадки для строительства. Вопрос находится в стадии обсуждения. Как технологии голографического проектирования можно было бы применить для презентации строительного объекта на данной территории, показано на рис. 6.

Голографическое проектирование – это перспективная технология, которая дает архитекторам и застройщикам уникальную возможность создавать наглядные и детализированные визуализации и вовлекать благодаря этому в обсуждение проектов более широкий круг заинтересованных лиц – от жителей до инвесторов.

4. Заключение / Conclusions

В ходе исследования был проведен анализ световой среды ул. Первомайской в Тюмени, выявивший неравномерность освещения улицы, низкую эффективность осветительных приборов, отсутствие адаптивного освещения, недостаточно проработанные сценарии подсветки архитектурных объектов и зеленых насаждений. Развитие светоурбанистической среды должно учитывать научные и творческие достижения и разработки, а также потребности современного общества. На основании последних тенденций в сфере освещения были разработаны предложения по улучшению светового благоустройства улицы с целью повышения уровня комфорта и безопасности городской среды, улучшения эстетики и создания благоприятного психологического климата. Среди предложенных мер:

- 1) использование световых проекций для преобразования объектов, нуждающихся в реставрации, с целью улучшить их эстетическое восприятие и привлечь внимание к объектам культуры и истории;
- 2) создание световых акцентов на ключевых объектах улицы для поддержания интереса к городской инфраструктуре в любое время года, такие доминанты можно также использовать при оформлении городских праздников и проведении различных мероприятий;

- 3) установка адаптивных светильников, организация дополнительного освещения пешеходных переходов.
Оценка экономической эффективности предлагаемых мероприятий будет проведена в рамках дальнейшего изучения данной темы.



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

Список литературы

1. Kelly R. Light as an integral part of architecture. *College Art Journal*. 1952;12(1):24–30. <https://doi.org/10.2307/773361>
2. Narboni R. *Les éclairages des villes, vers un urbanisme nocturne*. Bale: Infolio; 2012.
3. Нарбони Р. Освещение общественных пространств: новые тенденции и дальнейшее развитие. *Светотехника*. 2020;(3):27–37. URL: <https://l-e-journal.com/journals/zhurnal-svetotekhnika-3-2020/osveshchenie-obshchestvennykh-prostranstv-novye-tendentsii-i-dalneyshee-razvitiye/>.
4. Полищук Я. С., Васильева Н. А. Город и дополненная реальность. Дизайн пространства. В сб.: *Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ*. 2013;2:126–132. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19138339>.
5. Gammarota G. Ryoichi Kurokawa and the natural unity of time. *LoosenArt Magazine*. 2019. URL: <https://www.loosenart.com/blogs/magazine/ryoichi-kurokawa-and-the-natural-unity-of-time>.
6. Курбанмурадова А. Ч. Современный опыт использования светодизайна при ревитализации заброшенных пространств. *Нозма (Архитектура. Урбанистика. Искусство)*. 2021;(1):172–184. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47552551>.
7. Гусев Н. М., Макаревич В. Г. *Световая архитектура*. Москва: Стройиздат; 1973. URL: https://books.totalarch.com/light_architecture_1973.
8. Щепетков Н. И. *Светодизайн города и интерьера*. Москва: Редакция журнала «Светотехника»; 2021.
9. Быстрянцева Н. В., Лекус Е. Ю., Матвеев Н. В. Школа отечественного светодизайна: стратегии и тактики. *Светотехника*. 2015;(4):65–66. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25481996>.
10. Ордынская Ю. В., Климова П. А. Современный световой дизайн – видеомэппинг интерьера как игра света и трансформация пространства. *Теория и практика современной науки*. 2018;(4):435–439.
11. Матовников Г. С. *Принципы формирования световой среды пешеходных улиц города (на примере Москвы): автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры*. Москва: Московский архитектурный институт (Государственная академия); 2017. URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01006655892?page=1&rotate=0&theme=white>.
12. Заказнов Н. П., Кирюшин С. И., Кузичев В. И. *Теория оптических систем*. Москва: «Машиностроение»; 1992. URL: <https://djvu.online/file/5hbUIGMOrRHhS>.
13. Казакова Н. Ю., Уваров А. В., Круталевич С. Ю., Курбанмурадова А. Ч. Ревитализация заброшенных пространств средствами видеопроекций. Декоративное искусство и предметно-пространственная среда. *Вестник РГХПУ им. С. Г. Строганова*. 2021;(4-2):134–147. https://doi.org/10.37485/1997-4663_2021_4_2_134_147
14. Бармасов А. В., Бармасова А. М., Яковлева Т. Ю. Биосфера и физические факторы. Световое загрязнение окружающей среды. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2014;(33):84–101. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21483048>
15. Gabor D. A new microscopic principle. *Nature*. 1948;161:777–778. <https://doi.org/10.1038/161777a0>
16. Кликунова Е. В., Яхья М. Я. М., Брагин И. Л. К вопросу о влиянии 3D-технологий на архитектурное проектирование. *Инновации и инвестиции*. 2021;(4):303–307. URL: <https://innovazia.ru/archive/29823/>.

References

1. Kelly R. Light as an integral part of architecture. *College Art Journal*. 1952;12(1):24–30. <https://doi.org/10.2307/773361>
2. Narboni R. *The lighting of cities, towards a nocturnal urbanism*. Bale: Infolio; 2012. (In Fr.)

3. Narboni R. Public space lighting: new trends and further development. *Svetotekhnika*. 2020;(3):27–37. (In Russ.) URL: <https://l-e-journal.com/journals/zhurnal-svetotekhnika-3-2020/osveshchenie-obshchestvennykh-prostranstv-novye-tendentsii-i-dalneyshee-razvitiye/>.
4. Polishchuk Y. S., Vasileva N. A. The city and the augmented reality: environmental design. In: *Novyye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii FAD TOGU*. 2013;2:126–132. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19138339>.
5. Gammarota G. Ryoichi Kurokawa and the Natural Unity of Time. *LoosenArt Magazine*. 2019. URL: <https://www.loosenart.com/blogs/magazine/ryoichi-kurokawa-and-the-natural-unity-of-time>.
6. Kurbanmuradova A. Modern experience in using of lighting design for the revitalization of abandoned spaces. *Noema (Architecture. Urban studies. Arts)*. 2021;(1):172–184. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47552551>.
7. Gusev N. M., Makarevich V. G. *Light architecture*. Moscow: Stroyizdat; 1973. (In Russ.) URL: https://books.totalarch.com/light_architecture_1973.
8. Shchepetkov N. I. *Lighting design of the city and interior*. Moscow: Redaktsiya zhurnala «Svetotekhnika»; 2021. (In Russ.)
9. Bystryantseva N. V., Lekus Ye. Yu., Matveyev N. V. School of domestic lighting design: strategies and tactics. *Svetotekhnika*. 2015;(4):65–66. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25481996>.
10. Ordynskaya Yu., Klimova P. Modern lighting design – video mapping of the interior as the play of light and the transformation of the space. *Teoriya i praktika sovremennoy nauki*. 2018;(4):435–439. (In Russ.)
11. Matovnikov G. S. *Principles of formation of light environment of pedestrian streets of the city (using Moscow as an example): Abstract of a dissertation for the degree of candidate of architecture*. Moscow: Moscow Architectural Institute; 2017. (In Russ.) URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01006655892?page=1&rotate=0&theme=white>.
12. Zakaznov N. P., Kiryushin S. I., Kuzichev V. I. *Theory of optical systems*. Moscow: Mashinostroyeniye; 1992. (In Russ.) URL: <https://djvu.online/file/5hbUIGMOrRHhS>.
13. Kazakova N. Y., Uvarov A. V., Krutalevich S. Y., Kurbanmuradova A. Ch. Revitalization of abandoned places by video projection method. *Decorative art and environment. Gerald of the RGHPU*. 2021;(4-2):134–147. (In Russ.) https://doi.org/10.37485/1997-4663_2021_4_2_134_147
14. Barmasov A. V., Barmasova A. M., Yakovleva T. Yu. The biosphere and the physical factors. Light pollution of the environment. *Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. 2014;(33):84–101. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21483048>
15. Gabor D. A new microscopic principle. *Nature*. 1948;161:777–778. <https://doi.org/10.1038/161777a0>
16. Clickunova E. V., Yakhya M. M. Ya. M., Bragin I. L. To the question about the influence of 3D-technologies on architectural design. *Innovation & Investment*. 2021;(4):303–307. URL: <https://innovazia.ru/archive/29823/>.



Информация об авторе

Стерликова Виктория Михайловна, старший преподаватель кафедры архитектуры и градостроительства, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, sterlikovavm@tyuiu.ru

Information about the author

Victoria M. Sterlikova, Senior Lecturer in the Department of Architecture and Urban Planning, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, sterlikovavm@tyuiu.ru

Получена 26 марта 2025 г., одобрена 28 апреля 2025 г., принята к публикации 15 июня 2025 г.

Received 26 March 2025, Approved 28 April 2025, Accepted for publication 15 June 2025



Система нормативных показателей как инструмент обоснования решений по планировке жилых территорий на уровне земельного участка

Л. В. Глебушкина ✉, Н. В. Устюгова, П. В. Аргимбаева

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

✉ glebushkinalyuda@mail.ru



Аннотация. Актуальность исследования определяется необходимостью в переработке требований к содержанию нормативов градостроительного проектирования для городов Западной Сибири. Объектом аналитического рассмотрения с целью поиска внутренних причинных закономерностей функционирования и развития являлся участок жилой застройки как объект градостроительного нормирования. Рассмотрено 60 участков жилой застройки в Тюмени и Омске (по 30 участков в каждом городе), застроенных в период с 2009 по 2019 г. Исследование было направлено на выявление взаимного влияния размерности земельных участков, морфологии открытых пространств и планировочных характеристик на тип освоения территории. Применение факторного и кластерного анализов способствовало выявлению скрытой структуры исходных данных, соответствующей контексту, в котором принимаются проектные решения. С помощью факторного анализа была проведена группировка переменных исходного массива данных в двухфакторную модель: первую составили планировочные показатели, вторую – морфологические характеристики. С помощью кластерного анализа удалось классифицировать объекты как по переменным, к которым был применен факторный анализ, так и по градостроительным показателям, применяемым для оценки проектного решения.

Ключевые слова: земельный участок, нормативы градостроительного проектирования, факторный анализ, кластерный анализ, морфология дворовых пространств, планировочные показатели

Для цитирования: Глебушкина Л. В., Устюгова Н. В., Аргимбаева П. В. Система нормативных показателей как инструмент обоснования решений по планировке жилых территорий на уровне земельного участка. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(2):35–49. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-35-49> EDN: IDQNKK

A system of normative indicators as a tool for justifying planning decisions for residential areas at the land plot level

Lyudmila V. Glebushkina ✉, Natalia V. Ustyugova, Polina V. Argimbayeva

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

✉ glebushkinalyuda@mail.ru



Abstract. The relevance of this research stems from the need to revise the content of urban planning standards for cities in Western Siberia. The focus of the study was the residential development plot as an object of urban planning regulation. The authors considered 60 residential plots in Tyumen and Omsk (30 in each city) developed between 2009 and 2019. The study aimed to identify the mutual influence of land plot size, open

space morphology, and planning characteristics on the type of land development. The application of factor and cluster analyses facilitated the identification of the underlying structure within the raw data, relevant to the context of design decision-making. Factor analysis was used to group the variables from the initial dataset into a two-factor model: the first factor comprised planning indicators, and the second – morphological characteristics. Cluster analysis enabled the classification of objects based both on the variables used in the factor analysis and on the urban planning indicators employed for evaluating the design solution.

Keywords: land plot, urban planning standards, factor analysis, cluster analysis, morphology of courtyard spaces, planning indicators

For citation: Glebushkina L. V., Ustyugova N. V., Argimbayeva P. V. A system of normative indicators as a tool for justifying planning decisions for residential areas at the land plot level. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(2):35–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-1-35-49>



1. Введение / Introduction

Одной из основных составляющих инновационной деятельности архитектурно-строительной науки является разработка и поддержание на современном уровне нормативных документов [1, 2]. Подход к нормированию в строительной отрасли существенно изменился с принятием в 2002 г. федерального закона «О техническом регулировании»¹. Необходимость конкретизации требований к планировке и застройке городов в региональных и местных нормативах градостроительного проектирования была зафиксирована в СП 42.13330.2011². Но только с введением в Градостроительный кодекс Российской Федерации главы 3.1 «Нормативы градостроительного проектирования»³ их разработка приобрела системный характер. Региональные нормативы градостроительного проектирования Тюменской области⁴ применяются при подготовке документации по планировке территории с марта 2008 г. наряду с местными нормативами градостроительного проектирования города Тюмени⁵, утвержденными в декабре 2014 г. Для Омска разработаны региональные нормативы градостроительного проектирования⁶, действующие с 2008 г., и местные⁷, утвержденные в 2017 г. Со-

¹ Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ. URL: <http://government.ru/docs/all/97393/> (дата обращения: 27.10.2024).

² СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. URL: <https://clck.ru/3Fo2Hr> (дата обращения: 27.10.2024).

³ Федеральный закон «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации» от 05.05.2014 г. № 131-ФЗ. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/38440> (дата обращения: 23.10.2024).

⁴ Постановление Правительства Тюменской области «Об утверждении региональных нормативов градостроительного проектирования» от 19.03.2008 г. № 82-п. URL: <https://docs.cntd.ru/document/819042708> (дата обращения: 27.10.2024).

⁵ Решение Тюменской городской Думы «О Местных нормативах градостроительного проектирования города Тюмени» от 25.12.2014 г. № 243. URL: <https://docs.cntd.ru/document/441523158> (дата обращения: 23.10.2024).

⁶ Приказ Министерства строительства, транспорта и дорожного хозяйства Омской области «Об утверждении региональных нормативов градостроительного проектирования по Омской области» от 30.09.2008 г. № 22-п (признаны утратившими силу, утверждены в новой редакции от 08.07.2019 г. № 1-п). URL: <https://docs.cntd.ru/document/561460479> (дата обращения: 27.10.2024).

⁷ Решение Омского городского совета «Об утверждении нормативов градостроительного проектирования муниципального образования городской округ город Омск Омской области» от 22.03.2017 г. № 519. URL: <https://docs.cntd.ru/document/446265936> (дата обращения: 27.10.2024).

гласно классификации, приведенной в СП 42.13330.2016⁸, Омск – крупнейший город по численности населения, а Тюмень – крупный. В этих городах Западной Сибири велась разработка проектов планировки территории по региональным и местным нормативам градостроительного проектирования. Для оценки результатов их применения были выбраны 60 участков многоквартирной многоэтажной жилой застройки, образующих единое дворовое пространство (по 30 для каждого города).

Как система деятельности, градостроительное проектирование образует особое единство исследовательских и проектных функций, основано на междисциплинарных связях и тесно интегрируется с законодательно-правовой регламентацией градостроительных процессов [3].

Видами документации по планировке территории до 2017 г. являлись: проект планировки территории, проект межевания территории и градостроительные планы земельных участков. Так как точечная застройка отдельных земельных участков [4], а также проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию жилых зданий на территории микрорайонов и кварталов не происходит одновременно, контролировать выполнение нормативных параметров необходимо особенно пристально. Однако с 1 июля 2017 г. статья 44 Градостроительного кодекса РФ, определяющая состав и порядок подготовки градостроительного плана земельного участка (ГПЗУ) как одного из видов документации по планировке территории, утратила силу⁹.

Нормативы по проектированию жилых зон предусматривают выделение на их территории функционально-планировочных элементов. В подавляющем большинстве это: группа жилой застройки (жилой комплекс); квартал или микрорайон; жилой район. Все расчетные показатели и нормативные параметры градостроительного проектирования приводятся в соответствии с таким делением. Общие требования к земельным участкам прописаны в Правилах землепользования и застройки городов Омска¹⁰ и Тюмени¹¹. Требования к форме градостроительного плана земельного участка регламентированы приказом Министерства строительства и ЖКХ РФ¹². В соответствии с последним документом (п. 2 и 3), параметрами земельного участка, непосредственно влияющими на проектное решение, являются длина, ширина, площадь земельного участка, предельное количество этажей жилых зданий и максимальный процент застройки земельного участка.

В Правилах землепользования и застройки города Тюмени для многоэтажной жилой застройки приняты следующие параметры: минимальная ширина земельного участка – 30 м, минимальная площадь земельного участка – 6 500 м², максимальное количество надземных этажей – 25, макси-

⁸ СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений = Urban development. Urban and rural planning and development. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054209> (дата обращения: 03.10.2024).

⁹ Письмо Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации «О разъяснении градостроительного законодательства» от 16.03.2018 г. № 10851-АБ/08. URL: <https://docs.cntd.ru/document/563565117> (дата обращения: 23.10.2024).

¹⁰ Решение Омского городского Совета «Об утверждении Правил землепользования и застройки муниципального образования городской округ город Омск Омской области» от 10.12.2008 г. № 201. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550231060> (дата обращения: 27.10.2024).

¹¹ Постановление Администрации г. Тюмени «О Правилах землепользования и застройки города Тюмени» от 28.06.2021 г. № 124-пк. URL: <https://docs.cntd.ru/document/574782221> (дата обращения: 23.10.2024).

¹² Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ «Об утверждении формы градостроительного плана земельного участка и порядка ее заполнения» от 25.04.2017 г. N 741/п. URL: <https://base.garant.ru/71687404/> (дата обращения: 03.10.2024).

мальный процент застройки в границах земельного участка – 32.6 %. В Правилах землепользования и застройки города Омска для многоэтажной жилой застройки процент застройки в границах земельного участка не подлежит установлению, зато регламентируется максимальный коэффициент плотности застройки земельного участка – 4 %, максимальное количество этажей не регламентировано, максимальная высота зданий – 65 м, минимальная площадь земельного участка – 3 000 м², максимальная не регламентирована.

Согласно региональным нормативам градостроительного проектирования города Омска, исходя из определения элемента планировочной структуры жилых зон (таблица 8.1.1), участок жилой застройки – это территория размером до 1.5 га, на которой размещается жилой дом (дома) с придомовой территорией. Границами территории участка являются границы землепользования, следовательно, максимальная площадь земельного участка – 1.5 га. Также в региональных нормативах даны рекомендации по удельному показателю размера земельного участка на 1 человека – 15.6 м²/чел. при жилищной обеспеченности 28 м²/чел. (таблица 8.2.9) или удельному показателю размера земельного участка на 1 м² общей площади жилых помещений. Показатель колеблется от 0.59 (9 этажей) до 0.40 (25 этажей) (таблица 8.2.10). По городу Тюмени в региональных нормативах градостроительного проектирования подобные планировочные параметры на уровне участка многоэтажной жилой застройки не регламентируются, приведены только размеры земельного участка для индивидуальной застройки.

Объектом исследования являлся участок жилой застройки. Предметом – влияние на тип освоения территории следующих факторов: параметров земельного участка; нормативных показателей, применяемых в настоящее время при подготовке документации по планировке территории; количественных характеристик морфологии открытых дворовых пространств.

Цель исследования – обоснование необходимого набора показателей использования участков жилой застройки и пространственных характеристик их дворового пространства для разработки рекомендаций по формированию разделов «Планировочная организация» и «Жилая зона» в региональных нормативах градостроительного проектирования на примере городов Западной Сибири. В соответствии с заявленной целью исследования поставлены следующие задачи:

- оценить степень соответствия планировочной и функциональной организации участка жилой застройки региональным и местным нормативам градостроительного проектирования;
- провести анализ сложившихся соотношений между размерностью земельных участков и морфологией открытых дворовых пространств;
- построить классификацию объектов исследования методами кластерного анализа на основе выявления и измерения зависимостей и связей между отобранными переменными.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Для оценки планировочных решений современные информационные ресурсы позволяют использовать обширный набор планировочных, функциональных и морфологических параметров. Источниками картографической информации в настоящем исследовании служили публичные кадастровые карты городов Тюмени и Омска, карты 2GIS, Google, Яндекс, спутниковые снимки. Сведения о параметрах жилой застройки были взяты с сайта ДОМ.МИНЖКХ (<https://dom.mingkh.ru/>).

Так как объектом исследования являлся продукт межевания территории (земельный участок), то к рассмотрению были приняты количественные признаки формального характера (морфологические) и планировочные показатели, по которым можно судить об эффективности использования земельного участка.

В выборку вошли участки, застроенные в период с 2007 по 2019 г. жилыми зданиями высотой 9–25 этажей с численностью населения от 150 до 1 780 человек. Площадь участков колеблется от

0.23 до 3.08 га, площадь застройки от 371 до 17 913 м², площадь этажей всех зданий, расположенных на участке, от 4 823 до 201 510 м². Были рассчитаны такие относительные показатели, как плотность населения (количество человек на 1 га), обеспеченность территорией (площадь незастроенной территории, приходящейся на одного жителя), плотность жилищного фонда (количество жилой площади, приходящейся на 1 га территории), а также коэффициент застройки, коэффициент плотности застройки, коэффициент комфортности территории.

По всем показателям с помощью описательной статистики была сформирована информационная база данных [5]. Расчеты проводились в компьютерной программе Statistical Package for the Social Science (SPSS). Анализ большого объема данных описательной статистики (среднее, минимум, максимум, диапазон, медиана, мода, дисперсия и т. д.) показал, что наиболее значимыми в рамках данного исследования являются следующие планировочные показатели:

- *коэффициент застройки* – отношение площади, занятой под зданиями и сооружениями, к площади участка (квартала);
- *коэффициент плотности застройки* – отношение площади всех этажей зданий и сооружений к площади участка.

Согласно федеральным, региональным и местным нормативам градостроительного проектирования, данные показатели являются также основными нормативными показателями плотности застройки. В качестве дополнительного показателя, характеризующего уровень комфорта дворового пространства, был использован *коэффициент комфортности территории* – отношение обеспеченности жителя незастроенной территорией двора к его жилищной обеспеченности. Этот коэффициент позволяет отслеживать динамику жилищной обеспеченности – показателя, рост которого заложен в документах территориального планирования в генеральных планах городов (Омск – 28 м²/чел. к 2025 г., Тюмень – 36 м²/чел. к 2040 г.) и изменение которого регулярно отслеживается. Кроме того, еще в 1980-е годы было теоретически обосновано, что при увеличении жилищной обеспеченности минимальная площадь незастроенной жилой территории на одного жителя должна составлять 1 м² на 1 м² жилой площади в квартире [6], данный показатель позволяет обосновать необходимый размер земельного участка.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Свободная от застройки территория земельного участка отводится под элементы благоустройства различного функционального назначения. Состав площадок придомового благоустройства для многоквартирной жилой застройки и их удельный размер для Тюмени приведен в таблице 44 Региональных нормативов градостроительного проектирования, для Омска – в таблицах 12.2.1 и 5.10.7 Нормативов градостроительного проектирования муниципального образования. По составу они идентичны, но, так как в сумме величина удельного показателя по Тюмени почти в два раза больше, чем в Омске (11.1 и 6,43 м²/чел. соответственно), была определена доля каждого элемента в территориальном балансе нормативной площади, отводимой под благоустройство на каждого жителя, и выражена в процентах к площади земельного участка, свободной от застройки (рис. 1).

Состав элементов благоустройства перешел из федеральных в региональные и местные нормативы и не пересматривался. Реальный набор имеет, как правило, более сокращенный состав элементов. Например, в Тюмени площадки для выгула собак предусмотрены в 6 дворах из 30, в Омске – в 7 из 30, площадок для занятий физкультурой в Тюмени 7, в Омске 5. Только площадки для хозяйственных целей предусмотрены в каждом дворе. Анализ данных показал, что в обоих городах не достигнут необходимый уровень решения градостроительных вопросов функциональной организации земельного участка. Именно поэтому невозможно учитывать только функциональные параметры в качестве единственных критериев при построении классификации использования дворового пространства.

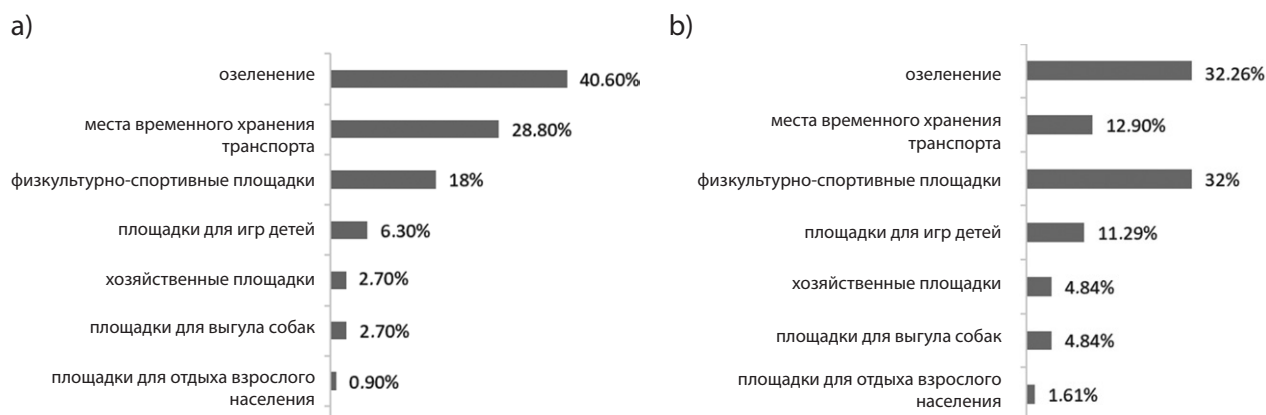


Рис. 1. Доля элементов благоустройства в минимально допустимом уровне обеспеченности жителя дворовым пространством: а) в Тюмени; б) в Омске (диаграммы созданы авторами)

Fig. 1. Proportion of improvement elements within the minimum permissible level of resident provision with courtyard space: a) in Tyumen; b) in Omsk (diagrams created by the authors)

Анализ данных по площади земельных участков, отводимых под застройку, показал, что их размеры в городе-миллионнике Омске [7] меньше, чем в Тюмени [8]. Параметры площади, свободной от застройки в пределах участка, и площади, отводимой по нормативам под благоустройство в Омске, схожи, но размеры площади, фактически занятой под благоустройство, сильно не дотягивают до установленных нормативами значений (рис. 2). Напротив, в Тюмени площадь, свободная от застройки в пределах участка, очень схожа по параметрам с площадью, фактически занятой под благоустройство, и они значительно превышают значения площади, установленной по нормативам (рис. 3).

На основании этого родилась гипотеза о том, что величина города по численности населения оказывает влияние на динамику изменения планировочных параметров земельных участков наряду с размерностью площади земельного участка.

Следовательно, основой для проектирования дворового пространства должна стать правильно сформированная программа форм поведения, а не простой набор функциональных зон с определенными габаритами и соответствующими нормами. Но для создания полноценной и комфортной жилой среды важную роль играют размеры и пропорции дворов жилых групп.

Анализ сложившихся соотношений между размерностью земельных участков и морфологией дворовых открытых пространств проводился по четырем основным характеристикам, выраженным определенными количественными показателями. К ним относятся:

- *конфигурационная сложность*, представляющая собой отношение периметра участка застройки к его площади, умноженное на количество узлов примыкания;
- *плотность элементов*, которая характеризует зависимость морфологии пространства от количества, величины, конфигурации и компоновки формирующих его зданий и представляет собой отношение количества элементов к площади участка;
- *расчлененность*, характеризующая деление открытого пространства на отдельные, по-разному связанные друг с другом составляющие части, данный показатель вычисляется путем сложения количества объемных и планировочных членений с последующим делением полученной суммы на площадь участка;
- *функциональная компактность*, которая показывает, сколько квадратных метров площади земельного участка приходится на один погонный метр его периметра.

Сопоставление морфологических параметров объектов позволит понять, имеют ли они перспективы совершенствования будучи увязанными с планировочными параметрами.

Для построения политетической классификации объектов согласно процедурам кластерного анализа необходимо выявление и измерение зависимостей и связей между отобранными семью переменными и применение этих релевантных признаков.

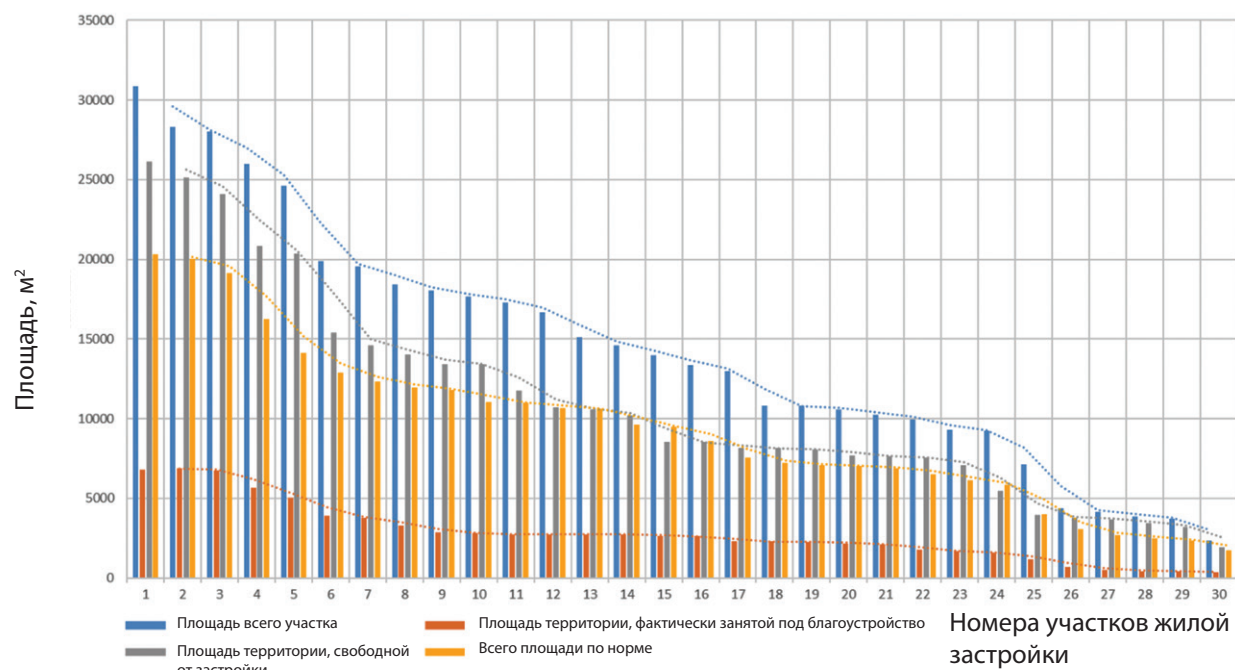


Рис. 2. Использование территории дворового пространства в Тюмени (диаграмма создана авторами)
Fig. 2. Use of courtyard space in Tyumen (diagram created by the authors)

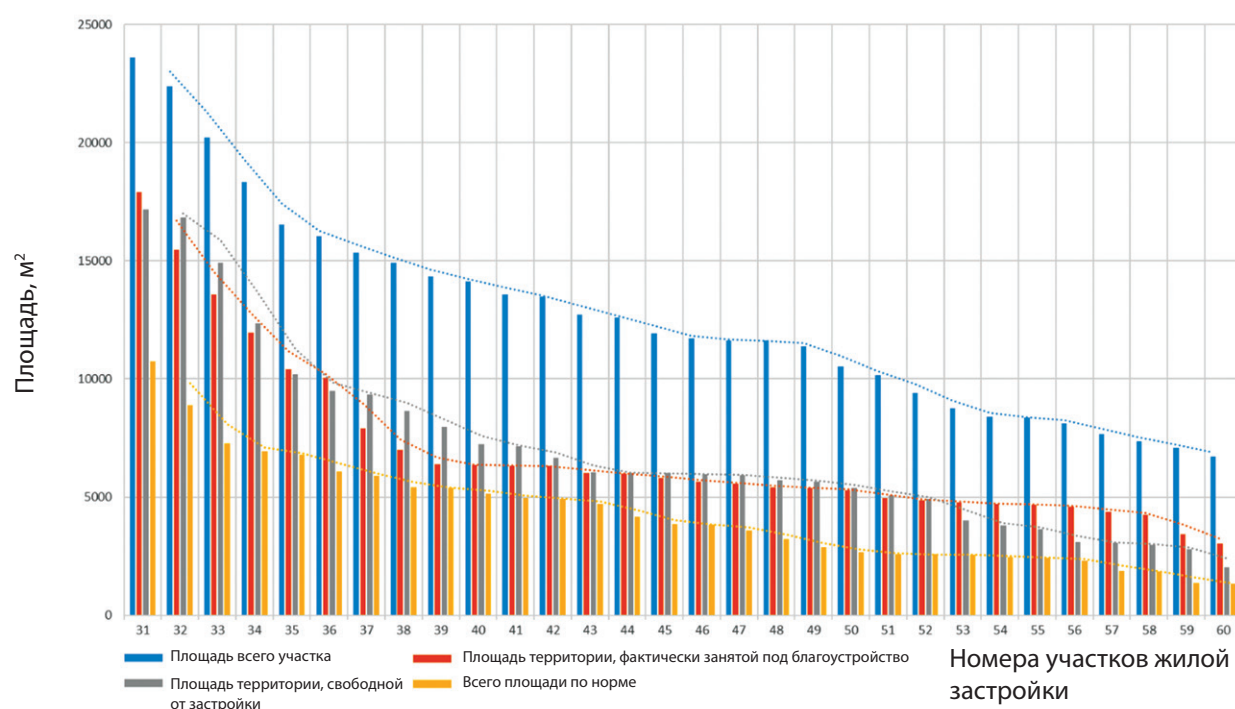


Рис. 3. Использование территории дворового пространства в Омске (диаграмма создана авторами)
Fig. 3. Use of courtyard space in Omsk (diagram created by the authors)

Выбор переменных в кластерном анализе является одним из наиболее важных шагов в исследовательском процессе. Необходимо найти ту совокупность переменных, которая наилучшим образом отразит понятие сходства. В идеале переменные должны выбираться в соответствии с ясно сформированной теорией, которая лежит в основе классификации. Теория является базисом для разумного выбора переменных, необходимых в исследовании. В процессе классификации нужно иметь в виду и признаки, и объекты, образующие исходную матрицу данных. Получающаяся в результате группировки классификация является политетической, что означает равноопределенность многих общих признаков между элементами отдельного класса, но ни один элемент при этом не обладает всеми признаками, используемыми для идентификации класса.

Оптимизация структуры данных по переменным была проведена с использованием конфирматорного факторного анализа, посредством которого проверялась гипотеза о наличии двух групп факторов, в которые можно объединить переменные. В ходе выполнения факторного анализа были решены следующие задачи:

- дана оценка пригодности исходных данных для проведения факторного анализа;
- выявлены корреляционные взаимосвязи между переменными;
- определено оптимальное число факторов (компонентов факторной модели), т. е. групп, на которые может быть разделен существующий массив переменных;
- интерпретированы результаты.

В результате гипотеза о двухфакторной модели подтвердилась, так как модель соответствует предварительной группировке показателей использования земельных участков и их дворового пространства в Тюмени и Омске. Первый фактор – потребительские нагрузки на территорию двора. Такое название он получил, поскольку объединяет переменные исходного массива, так или иначе связанные с использованием объекта недвижимости – земельного участка – его жителями. Второй фактор – морфологическая структура дворового пространства – объединяет переменные, отражающие особенности размерных характеристик пространства в количественном выражении. Результаты факторного анализа представлены в виде схемы на рис. 4.

Для разделения совокупности, состоящей из 60 объектов (участков жилой застройки), на однородные (гомогенные) внутри и разнородные (гетерогенные) по отношению друг к другу группы по семи переменным исходного массива данных использовали результаты факторного анализа.

Построение классификации целесообразно провести посредством методов кластерного анализа в программном продукте SPSS [9, 10]. Кластерный анализ не накладывает никаких ограничений на вид изучаемых объектов и позволяет рассматривать множество исходных данных практически произвольной природы.

Согласно [11], кластеры – «непрерывные области пространства с относительно высокой плотностью точек, отделенные от других таких же областей областями с относительно низкой плотностью точек».



Рис. 4. Показатели использования земельных участков и их дворового пространства в Тюмени и Омске (схема составлена авторами)

Fig. 4. Indicators of the use of land plots and their courtyard space in Tyumen and Omsk (scheme compiled by the authors)

В ходе кластерного анализа были решены следующие задачи:

- определена мера расстояния между объектами;
- определен показатель меры сходства для объединения объектов в кластеры;
- определено число кластеров;
- дано описание и проведена интерпретация найденных кластеров данных.

Анализ результатов выявил интересное соотношение между дендрограммой, созданной посредством метода полной связи, и исследуемыми городами. Первый кластер (I) содержит 29 объектов из города Тюмени и 1 объект из города Омска (№ 32), второй кластер (II) содержит 29 объектов из города Омска и 1 объект (№ 6) из города Тюмени (рис. 5). Таким образом, мы получили подтверждение гипотезы о влиянии на динамику изменения планировочных параметров как размеров земельного участка, так и величины города по численности населения.

Общим методологическим основанием для проведенного исследования и проектирования послужила единая (общая) модель описания объектов застройки в терминах интенсивности использования земельных участков, которая отражена в таблице 1. Поскольку переменные в матрице данных измеряются в различных единицах, для осуществления кластеризации была проведена их стандартизация, которая позволила устранить влияние единиц измерения. Дендрограмма визуализирует процесс слияния коэффициентов, отражающих меру расстояния между двумя кластерами, приведенную к шкале от 0 до 25. Для того чтобы привести в таблице 1 значения плотности населения и жилищного фонда был произведен обратный пересчет переменных. Градостроительные планы земельных участков являются важнейшими правовыми документами строительства и вытекают из проекта межевания территории, в основе которого находится проект планировки территории и объемно-пространственное решение (эскиз) застройки. Этот документ не позволяет регулировать типологию, пластику и масштаб застройки на нормативном уровне, так как в

Таблица 1. Показатели интенсивности использования земельных участков
Table 1. Indicators of land plot using intensity

Города	Площадь участка, га	Плотность населения, чел./га	Плотность жилищного фонда, м ² /га
Крупные города (Тюмень)	1.44	615	18 039
Крупнейшие города (Омск)	1.30	732	59 578

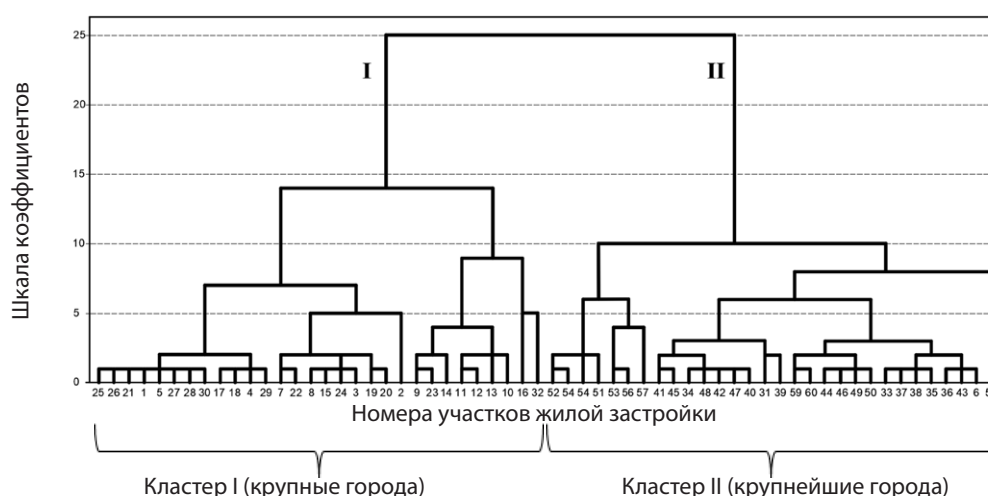


Рис. 5. Дендрограмма, построенная с использованием метода дальнего соседа (метода полных связей) (создана авторами в программном продукте SPSS)

Fig. 5. Dendrogram constructed using the complete linkage method (created by the authors in SPSS software)

нем отслеживаются только предельные значения коэффициента плотности застройки. Тенденцию к уменьшению размеров земельных участков и увеличению плотности населения не может сдерживать ограничение расчетной плотности населения микрорайона (квартала) до предельного значения в 450 чел./га на федеральном уровне (СП 42.13330.2011). Значения одной переменной (площади участка) опережают во времени значения других. Неизбежно с ростом численности населения в Тюмени будет расти потребность в соблюдении в разумных пределах плотности населения и плотности жилищного фонда (нетто).

Решение вопросов межевания территории на земельные участки, границы и размеры которых определены без учета модели объемно-пространственной организации застройки, оборачивается архитектурно-композиционными проблемами формирования жилой среды [12].

Наглядно полученный результат можно оценить на примере объектов, планировочные параметры которых максимально соответствуют параметрам, отраженным в таблице 1. Для крупного города таким объектом является участок жилой застройки № 16 (Тюмень, ул. Дружбы, д. 73, к. 1 и к. 5), для крупнейшего города – участок жилой застройки № 36 (Омск, ул. Крупской, д. 14) (рис. 6, 7).

Многообразие вариантов взаимного расположения и сочетания зданий в пространстве практически неограниченно. В данном случае на участках жилой застройки использованы наиболее распространенные и часто применяемые группировки – точечная и параллельная.

Проектные решения по планировке и застройке земельных участков оценивают технико-экономическими показателями, которые приведены в таблице 2.

В таблице 3 приведены значения переменных по вышеназванным объектам исследования, которые вошли в базу данных для построения классификации.

Таким образом, следует отметить смещение акцента в представлении об объектах градостроительной деятельности с микрорайона или квартала на отдельный дом или дома со своим земельным участком. Проблема состоит в том, что нормативная база проектирования жилых зон отстает от организации основных процессов градостроительной деятельности и видов проектных документов, закрепляющих их результат. Таким образом, «открыв дорогу разнообразию, нормативные документы поставили проектировщиков, инвесторов, управленцев в ситуацию некоторой неопределенности.

Таблица 2. Общие характеристики землепользования участков жилой застройки
Table 2. General land use features of residential development plots

Города	Земельные участки	Год постройки жилых зданий	Этажность	Площадь участка, м ² (га)	Площадь застройки, м ²	Площадь участка, свободная от застройки, м ²	Численность населения, чел.	Плотность населения, чел./га	Площадь всех жилых помещений, м ²	Плотность жилищного фонда, м ² /га	Обеспеченность территорий, м ² /чел.	Площадь всех этажей зданий, м ²	Периметр участка, м
Тюмень	16	2016	22–25	10 246 (1.024)	2 092	8 148	688	674	19 938	19 547	14.89	46 147	362
Омск	36	2015	9–13	12 615 (1.261)	5 377	7 233	1 075	852	83 409	66 145	11.74	59 147	292

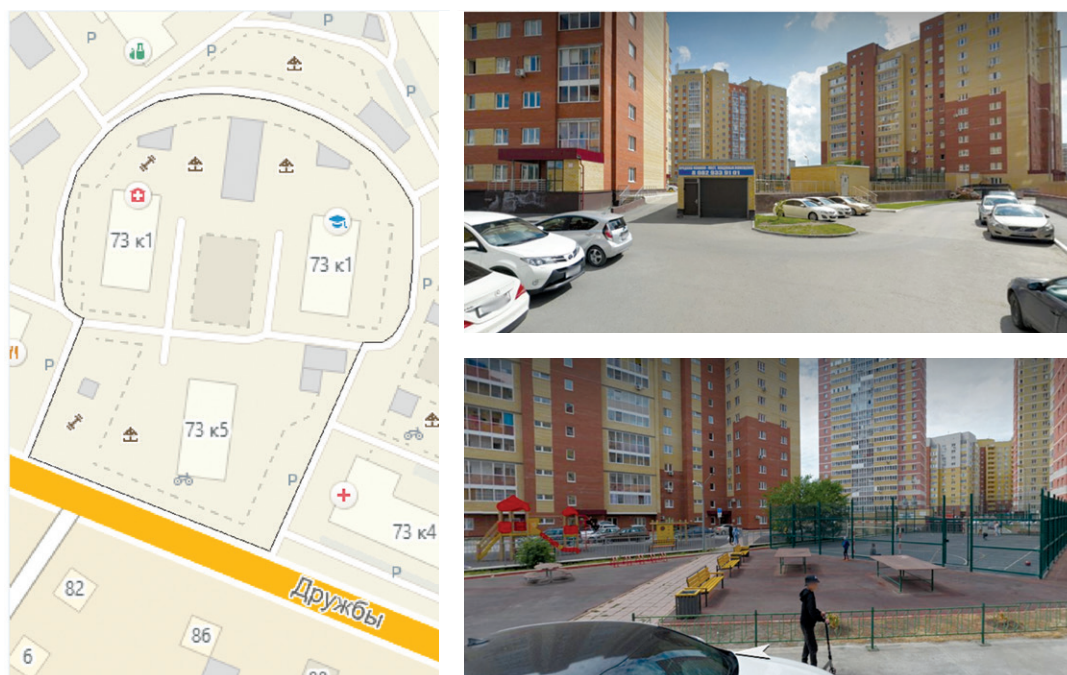
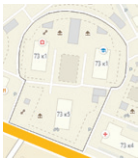


Рис. 6. Участок жилой застройки № 16 в Тюмени (фрагмент карты из справочника 2GIS, фото авторов)
Fig. 6. Residential development plot No. 16 in Tyumen (map fragment from 2GIS, authors' photo)



Рис. 7. Участок жилой застройки № 36 в Омске (фрагмент карты из справочника 2GIS, фото авторов)
Fig. 7. Residential development plot No. 36 in Omsk (map fragment from 2GIS, authors' photo)

Таблица 3. Переменные, описывающие морфологию участков жилой застройки и их планировочные показатели
Table 3. Variables for describing the morphology of residential plots and their planning indicators

Номер земельного участка	Земельный участок	Приемы планировки жилых зданий	Компоненты факторной модели						
			Фактор 1 – потребительские нагрузки на территорию двора (планировочные показатели)			Фактор 2 – морфологическая структура дворового пространства (морфологические характеристики)			
			Коэффициент застройки *	Коэффициент плотности застройки **	Коэффициент комфортности территории	Конфигурационная сложность	Плотность элементов	Расчлененность	Функциональная компактность
16 (Тюмень)		Групповой, точечный	0.204	4.503	0.52	0.034	2.928	6.832	0.321
36 (Омск)		Параллельный	0.426	4.688	0.51	0.035	1.585	3.963	0.247

* Нормативный показатель ≤ 0.4 ; ** нормативный показатель ≤ 1.2 (СП 42.13330.2016).

Небольшой опыт работы в условиях жилищного рынка, незрелые потребительские предпочтения не позволяют им уверенно ориентироваться в параметрах недвижимости различного качества, например, в выборе целесообразных размеров земельных участков для жилых строений того или иного типа и качественного уровня» [13].

Такой ход событий или рассуждений о возможных событиях подводит к заключению о важной роли архитектурного творческого метода в градостроительной работе [14]. Необходимо вернуться к единой системе проектной архитектурно-градостроительной деятельности [15]. С течением времени в условиях стабильного развития экономического, научного, инженерного потенциала общества потребители жилья будут предъявлять все более высокие требования к комфорту жилой среды.

Градостроительные регламенты, которые формируются на стадиях, когда объемно-пространственные решения еще не разрабатываются и даже концептуально не рассматриваются, провоцируют именно такую ситуацию, которая делает население заложником частных инвестиций и случайной практики оборота недвижимости [16].

4. Заключение / Conclusions

Проведенное исследование показало, что проблемы в освоении участка жилой застройки обусловлены не только слабым контролем за выполнением региональных и местных нормативов градостроительного проектирования, но и тем, что фактически площадь территории дворового пространства и набор элементов его благоустройства не соответствуют установленным нормативам.

Кроме того, анализ сложившихся соотношений между размерностью земельных участков и морфологией открытых дворовых пространств показал значительное превышение потребительских нагрузок на территорию и неуклонную тенденцию их роста при увеличении численности населения города.

Решение задачи исследования, связанной с построением классификации участков жилой застройки городов Западной Сибири, показало, что применение методов многомерного анализа для выявления взаимозависимости между параметрами, описывающими размерность земельного участка, и его планировочными характеристиками позволило определить предварительный состав показателей, нормирование которых поможет задать градостроительные стандарты качества жилой среды, в которых количественные значения стандарта совпадут с нормативными. Такие показатели, как конфигурационная сложность, плотность элементов (зданий), расчлененность и функциональная компактность, позволяют при разработке проекта рассматривать и оценивать различные варианты совмещения функций и элементов свободных пространств с учетом особенностей жилых зданий каждой группы этажности. Относительные показатели – коэффициенты застройки, плотности застройки и комфортности территории на основе полученных для каждого участка жилой застройки параметров плотности населения и плотности жилого фонда – позволяют определить допустимую для размещения общую площадь зданий и проверить соответствие потребительской нагрузки целевым значениям. Выявлено, что значения подлежащих безусловному исполнению показателей плотности застройки жилых зон многоквартирными многоэтажными жилыми домами для объектов исследования имеют превышение средних значений коэффициента застройки для Омска по сравнению с Тюменью в 3 раза, а коэффициента плотности застройки в 2.5 раза. Хотя оценка плотности легко градуируется (показатели плотности жилого фонда для Омска 59 578 м²/га, для Тюмени 18 039 м²/га, а плотности населения 732 и 615 чел./га соответственно), следует иметь в виду их множественную природу и то, что они полностью зависят от избираемой концепции развития территории. Кроме того, эти показатели не позволяют оценивать типологию, пластику и масштаб застройки. Из четырех предложенных показателей оценки морфологической структуры дворового пространства наибольшую связь с планировочными параметрами участка жилой застройки показала функциональная компактность, имеющая низкие средние количественные значения отношения периметра участка к его площади (для Омска – 5.31, для Тюмени – 6.32).

В результате исследования были выявлены перспективы регулирования потребительских нагрузок на территорию участка жилой застройки в соответствии с морфологической структурой дворового пространства. По мере роста численности населения в крупных городах Западной Сибири будет расти и высота жилых зданий, что неизбежно увеличит степень качественной неоднородности находящегося в них жилья. Разнообразный социальный и имущественный состав населения находит отражение в структуре жилищного фонда. За соответствие ей планировочных решений в проектах застройки отвечает администрация города. Необходимы исследования, направленные на выявления функциональной достаточности дворового пространства для каждой социальной группы населения, а также условий контактов между ними. Только опираясь на научную базу можно ввести нормы, которые послужат критериями оценки комфортности жилой среды и соответствия запросам сегодняшнего дня со стороны потребителя жилья.



Вклад авторов. Глебушкина Л. В.: разработка и обоснование концепции исследования, проведение численного моделирования, анализ, интерпретация и обобщение результатов исследования, написание текста рукописи. Устюгова Н. В.: сбор данных, обзор литературных источников. Аргимбаева П. В.: работа с графическим материалом, редактирование и оформление текста рукописи.

Author contribution. Lyudmila V. Glebushkina: development and justification of the research concept, conducting numerical modeling, analysis, interpretation, and summarization of research results, writing the manuscript text. Natalia V. Ustyugova: data collection, literature review. Polina V. Argimbaeva: working with graphic materials, editing, and formatting the manuscript text.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Травуш В. И. Инновации и архитектура. Как стать творцом и новатором? *Academia. Архитектура и строительство*. 2010;(4):7–16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsii-i-arhitektura-kak-stat-tvortsom-i-novatorom/viewer>.
2. Овчинников И. Г., Овчинников И. И., Жанаалиев Б. Б., Кудайбергенов Н. Б. Проблемы применения современных нормативных документов для расчета транспортных сооружений. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(1):116–122. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-1-116-122>
3. Смоляр И.М. *Градостроительное планирование как система: Прогнозирование – Программирование – Проектирование. Научная монография. РААСН*. Москва: Эдиторнал УРСС; 2001.
4. Кияненко К. В. Об объекте и предмете архитектуры и капитального строительства. *Academia. Архитектура и строительство*. 2024;(3):53–59. <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2024-3-53-59>
5. Хили Дж. *Статистика. Социологические и маркетинговые исследования*. 6 изд-е. Москва: DiaSoft; 2005.
6. Рубаненко Б. Р., Карташова К. К., Тонский Д. Г. *Жилая ячейка в будущем*. Москва: Стройиздат; 1982. 198 с.
7. Глебушкина Л. В., Шамарин А. С. Оценка благоустройства территории дворовых пространств города Омска с учетом современных требований. В сб.: *Молодая мысль: наука, технологии, инновации*. Братск: Изд-во БрГУ; 2021. С. 45–48.
8. Глебушкина Л. В., Перетолчина Л. В., Шамарин А. С. Обеспеченность жилых территорий крупных городов Западной Сибири планировочными элементами благоустройства на примере города Тюмени. *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. 2021;1:157–161. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46596892>.
9. Наследов А. Д. *SPSS. Компьютерный анализ данных в психологии и социальных науках*. Санкт-Петербург: Питер; 2005. 416 с.
10. Дубнов П. Ю. *Обработка статистической информации с помощью SPSS*. Москва: НТ Пресс; 2004. URL: <https://djvu.online/file/R8nJaMff8ksi8>.
11. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч. У., Клекка У. Р., Олдендефер М. С., Блэшфилд Р. К. *Факторный дискриминантный и кластерный анализ*. Москва: Финансы и статистика; 1989. 215 с. URL: <https://djvu.online/file/CxiUZrAtfxKK2>.
12. Митягин С. Д. Технологическая оптимизация градостроительной деятельности. *Academia. Архитектура и строительство*. 2018;(1):67–72. <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2018-1-67-72>
13. Крайняя Н. П. Качественная дифференциация жилых объектов и градостроительное нормирование. В сб.: *Актуальные проблемы нормирования в области архитектуры и градостроительства*. Москва: УРСС; 2002. С. 89–94.
14. Крайняя Н. П. К поискам социальности в формообразовании городской застройки. *Academia. Архитектура и строительство*. 2009;(2):73–76. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-poiskam-sotsialnosti-v-formoobrazovanii-gorodskoy-zastroйки/viewer>.
15. Митягин С. Д. Правовые изъяны градостроительной проектной деятельности. *Academia. Архитектура и строительство*. 2024;(3):101–105. <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2024-3-101-105>
16. Генералов В. П., Генералова Е. М. Проблемы классификации комфортной жилой среды при создании современной городской застройки. *Вестник Оренбургского государственного университета*. 2015;(5):128–131. URL: http://vestnik.osu.ru/2015_5/21.pdf.

References

1. Travush V. I. Innovations and architecture. How to become a creator and a novator? *Academia. Architecture and Construction*. 2010;(4):7–16. (In Russ.) URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsii-i-arhitektura-kak-stat-tvortsom-i-novatorom/viewer>.
2. Ovchinnikov I. G., Ovchinnikov I. I., Zhanaliev B. B., Kudaibergenov N. B. Issues of application of modern regulatory documents for the calculation of transportation structures. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(1):116–122. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-1-116-122>
3. Smolyar I. M. *Urban planning as a system: Forecasting – Programming – Design. Scientific monograph. RAASN*. Moscow: Editorial URSS; 2001. 164 p.
4. Kiyantenko K. V. On the object and subject of architecture and capital construction. *Academia. Architecture and Construction*. 2024;(3):53–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2024-3-53-59>
5. Healey J. F. *Statistics. A Tool for Social Research*. 6th edition. Belmont, CA: Wadsworth, Thomson Learning; 2002.

6. Rubanenko B. R., Kartashova K. K., Tonskiy D. G. *A residential cell in the future*. Moscow: Stroyizdat; 1982. (In Russ.)
7. Glebushkina L. V., Shamarin A. S. Assessment of landscaping of courtyard spaces in the city of Omsk taking into account modern requirements. In: *Molodaya mysl': nauka, tekhnologii, innovatsii*. Bratsk: Bratsk State University; 2021. P. 45–48. (In Russ.)
8. Glebushkina L. V., Peretolchina L. V., Shamarin A. S. Provision of residential areas of large cities of Western Siberia with planning elements of improvement on the example of the city of Tyumen. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i inzhenernyye nauki*. 2021;1:157–161. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46596892>.
9. Nasledov A. D. *SPSS. Computerized data analysis in psychology and social sciences*. St. Petersburg: Piter; 2005. (In Russ.) URL: <https://reallib.org/reader?file=720696>.
10. Dubnov P. Yu. *Processing statistical information with SPSS*. Moscow: NT Press; 2004. (In Russ.) URL: <https://djvu.online/file/R8nJaMff8ksi8>.
11. Kim J.-O., Mueller C. *Factor Analysis: Statistical Methods and Practical Issues*. 1978; 60820883. <https://doi.org/10.4135/9781412984256>
12. Mityagin, S. D. Technological Optimization of Town-Planning Activity. *Academia. Architecture and Construction*. 2018;(1):67–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2018-1-67-72>
13. Kraynyaya N. P. Qualitative differentiation of residential objects and urban planning standardization. In: *Aktual'nyye problemy normirovaniya v oblasti arkhitektury i gradostroitel'stva*. Moscow: URSS; 2002. P. 89–94. (In Russ.)
14. Kraynyaya N. P. Searching for sociality in the forming of the urban building. *Academia. Architecture and Construction*. 2009;(2):73–76. (In Russ.) <https://cyberleninka.ru/article/n/k-poiskam-sotsialnosti-v-formoobrazovanii-gorodskoy-zastroyki/viewer>
15. Mityagin S. D. Legal disadvantages of urban planning activities. *Academia. Architecture and Construction*. 2024;(3):101–105. (In Russ.) <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2024-3-101-105>
16. Generalov V.P., Generalova E.M. Comfortable living environment: classification problems under contemporary urban. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2015;(5):128–131. (In Russ.) URL: http://vestnik.osu.ru/2015_5/21.pdf.



Информация об авторах

Глебушкина Людмила Владимировна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, glebushkinalyuda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9826-2911>

Устюгова Наталья Викторовна, старший преподаватель кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, ustjugovanv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4061-8353>

Аргимбаева Полина Васильевна, ассистент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, argimbaevapv@tyuiu.ru

Information about the authors

Lyudmila V. Glebushkina, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, glebushkinalyuda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9826-2911>

Natalia V. Ustyugova, Senior Lecturer in the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, ustjugovanv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4061-8353>

Polina V. Argimbaeva, Assistant in the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, argimbaevapv@tyuiu.ru

Получена 06 декабря 2024 г., одобрена 03 апреля 2025 г., принята к публикации 30 мая 2025 г.

Received 06 December 2024, Approved 03 April 2025, Accepted for publication 30 May 2025

Научная статья / Original research article

УДК 624.131

DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-50-63>EDN: <https://elibrary.ru/hrflzd>2.1.2 Основания и фундаменты,
подземные сооружения (технические науки)

Расчет вязкоупругого водонасыщенного глинистого основания при действии полосовой нагрузки

Т. В. Крижанивская¹ ✉, В. В. Воронцов¹, Б. А. Тайех²¹ Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация² Исламский университет Газы, ул. Гамалья Абдель Насера, Газа, Палестина✉ krizhanivskajatv@tyuiu.ru

Аннотация. Проектирование зданий и сооружений на слабых водонасыщенных глинистых основаниях сопряжено с необходимостью расчета напряженно-деформированного состояния грунтов во времени в связи с процессами консолидации. Для таких грунтов характерно свойство ползучести, соответственно, одним из перспективных подходов к моделированию основания является представление его с позиций вязкоупругости. В результате численного анализа определен параметр для решения трансцендентного уравнения немонотонной функции, описывающей вязкоупругие механические свойства водонасыщенного суглинка. Проведено сопоставление экспериментальных данных поровых давлений с данными, полученными из решения функции времени (максимальное расхождение составляет 4.44 %). Получена механическая характеристика (универсальный параметр кинематической модели грунта), которую в дальнейшем можно использовать для полного расчета напряженно-деформированного состояния вязкоупругого водонасыщенного основания. Предложенный подход, несомненно, имеет практическое значение при проектировании и строительстве инженерных объектов.

Ключевые слова: водонасыщенное глинистое основание, вязкоупругие свойства грунта, функции изображения и оригинала, метод ломаных

Для цитирования: Крижанивская Т. В., Воронцов В. В., Тайех Б. А. Расчет вязкоупругого водонасыщенного глинистого основания при действии полосовой нагрузки. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(2):50–63. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-50-63> EDN: HRFLZD

Analysis of a viscoelastic water-saturated clay foundation subjected to a strip load

Tatiana V. Krizhanivskaya¹ ✉, Viacheslav V. Vorontsov¹, Bassam A. Tayeh²¹ Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation² Islamic University of Gaza, Gamal Abdel Nasser Gaza St., Gaza, Palestine✉ krizhanivskajatv@tyuiu.ru

Abstract. Designing buildings and structures on weak, water-saturated clay foundations necessitates calculating the stress-strain state of soils over time, considering consolidation processes. These soils exhibit creep behavior, respectively, making a viscoelastic representation of the foundation a promising modeling approach. Numerical analysis identified a parameter for solving the transcendental equation of a non-monotonic function that describes the viscoelastic mechanical properties of the water-saturated clay loam.

Experimental pore pressure data were compared with data obtained from the solution of the time function, with a maximum discrepancy of 4.44 per cent. A mechanical characteristic (a universal parameter of the kinematic soil model) obtained in this study can be used in future to fully calculate the stress-strain state of viscoelastic, water-saturated foundations. The proposed approach undoubtedly holds practical value in the design and construction of engineering structures.

Keywords: water-saturated clay foundation, viscoelastic soil properties, original function and its transform, broken line method

For citation: Krizhanivskaya T. V., Vorontsov V. V., Tayeh B. A. Analysis of a viscoelastic water-saturated clay foundation subjected to a strip load. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(2):50–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-50-63>



1. Введение / Introduction

Жизненный цикл зданий и сооружений начинается с проектно-исследовательских работ. Специфику их проведения и особенности принимаемых проектных решений, безусловно, определяют грунтовые условия конкретной площадки. В отдельную группу геотехнических задач следует выделить проектирование оснований и фундаментов на водонасыщенных глинистых грунтах. С одной стороны, они повсеместно распространены на территории нашей страны, с другой, в силу разнообразия и изменчивости механических свойств, зависящих от минералогического состава и степени водонасыщения, определяют сложность и разнообразие подходов при моделировании, в частности, при создании феноменологических моделей.

Значительный вклад в развитие методов прогноза геомеханических процессов в глинистых грунтах как многофазных системах, определения их механических характеристик внесли работы З. Г. Тер-Мартirosяна [1–3]. В трудах М. Ю. Абелева [4, 5] рассматривается более узкий сегмент этой группы – слабые водонасыщенные глинистые грунты. К ним принято относить грунты с модулем общей деформации ≤ 5 МПа, что соответствует очень сильно деформируемым грунтам, а также степени влажности более 0.8. Данные грунты широко распространены на территории России, особенно в районах Балтийско-Беломорского бассейна и Западно-Сибирской низменности. Для таких грунтов характерно наличие избыточного давления над гидростатическим поровым давлением, а также начального градиента напора. Работы В. М. Улицкого и А. Г. Шашкина [6, 7] посвящены закономерностям деформирования слабого глинистого грунта, авторы подчеркивают значимость характерных особенностей, свойственных данным грунтам как дисперсной структурированной системе. К таким особенностям относится прежде всего наличие структурных связей, которые, в свою очередь, зависят от степени литификации. В настоящей работе речь идет о слабом водонасыщенном мягкопластичном суглинке малой степени литификации, таким глинистым грунтам свойственны тиксотропно-коагуляционные связи с проявлением цементационных. По своей физической природе они разделяются на магнитные, молекулярные и ионно-электростатические, наибольшее значение по своей величине имеют молекулярные. Для таких грунтов характерны процессы первичной и вторичной фильтрационной консолидации, фактически выражающиеся в развитии осадок зданий и сооружений в течение длительного периода времени (десятков и сотен лет).

Многочисленные лабораторные и натурные исследования [8–12] показывают немонотонное изменение поровых давлений во времени. В натурных испытаниях при стабилизации основания в процессе консолидации с использованием вертикальных песчаных дрен зафиксирован немонотонный график изменения давлений в поровой жидкости. По результатам испытаний водонасыщенных глинистых и торфяных образцов в лабораторных условиях с моделированием удаления от дневной поверхности получены немонотонные с горбом в начальной стадии нагружения графики поровых

давлений во времени. Следствием такого изменения порового давления является аналогичное изменение механических свойств водонасыщенных грунтов.

В связи с этим необходимо учитывать поровые давления при анализе напряженно-деформированного состояния водонасыщенных грунтов и при определении их механических характеристик как функций времени. Изменение механических характеристик во времени описывается на основе линейной наследственной теории вязкоупругости [13, 14].

Основная сложность в обработке таких экспериментов заключается в грамотном функциональном описании графиков изменения порового давления во времени и в определении механических характеристик, изменяющихся во времени.

Одной из фундаментальных работ в этом направлении является монография Ю. К. Зарецкого [15]. Основание рассматривается как квазидвухфазная среда – скелет грунта и поровая жидкость. Скелет грунта обладает реологическими свойствами, наделен вязкостью. Под поровыми давлениями понимаются избыточные над гидростатическими. В монографии В. Н. Парамонова [16] построение модели грунтовой среды, представленной водонасыщенными глинистыми грунтами, основывается на позициях упругопластичности. Приведенные данные экспериментальных исследований наглядно подтверждают протяженность во времени процесса консолидации глинистого грунта, деформации которого раскладываются на упругие, можно сказать мгновенные, и пластические – растянутые во времени. Отметим также существенную роль в процессе консолидации избыточных поровых давлений.

Развитие методов прогноза напряженно-деформированного состояния геологической среды во времени с учетом реологических свойств водонасыщенных глинистых грунтов является актуальной задачей. Выделим серию публикаций, в которых реализована реологическая модель А. З. Тер-Мартirosяна для конкретных расчетных случаев. Так, на ее основе решена краевая задача для длинной сваи в упруговязкой постановке с учетом окружающего и подстилающего грунтов [17], в статье [18] рассмотрено взаимодействие баретты с грунтами с учетом их упруговязкопластических свойств. Значимость упруговязкопластических параметров грунтов, их нахождение по результатам испытаний отмечено в статье [19]. Моделирование вязкоупругих параметров грунта на базе обобщенной модели Фойгта рассмотрено в работе [20]. Описание реологических свойств грунтов для прогноза длительной осадки сваи с использованием вязкоупругой модели рассмотрено в статье [21]. В [22] особое внимание уделено расчетам двухфазного грунта в упругой постановке на момент окончания первичной консолидации, показано влияние давлений в жидкой фазе грунта на перемещение твердой фазы. В аналогичной по своим задачам работе [23] рассмотрена обработка лабораторного эксперимента с глинистым грунтом при трехосном сжатии в вязкоупругой постановке, получены функции ползучести и релаксации, а также определены механические характеристики вязкоупругого грунта.

Рассмотренные выше модели учитывают поровые давления только на этапе фильтрационной консолидации. Учет порового давления в течение всего процесса консолидации выполняется в кинематической модели грунта Л. Е. Мальцева, Т. В. Мальцевой [24, 25]. Авторский подход к моделированию напряженно-деформированного состояния геологической среды, представленной в виде двух фаз – поровой воды и скелета грунта, – позволяет осуществить прогноз избыточных поровых давлений в процессе консолидации. Система уравнений дает возможность оценить вклад избыточных поровых давлений в восприятие внешней нагрузки от зданий и сооружений на основании и с учетом кинетики поровых давлений осуществить прогноз осадки фундаментов. Для основных уравнений предлагаемой модели получены решения в вязкоупругой постановке, что позволяет определять напряжения и деформации во времени, поэтому авторами статьи была применена кинематическая модель грунта для расчета вязкоупругого основания из глинистых грунтов.

2. Материалы и методы / Materials and methods

В рамках данной работы использовались экспериментальный и теоретический методы. Исследование напряженно-деформированного состояния водонасыщенного глинистого основания при действии полосовой нагрузки на маломасштабной модели проводилось в лабораторных условиях с последующей обработкой отдельных результатов опыта: выполнен расчет давлений в поровой жидкости, изменяющихся во времени с позиции линейной наследственной теории вязкоупругости [20], определен универсальный параметр кинематической модели, позволяющий вычислять механические вязкоупругие характеристики грунта по результатам обработки эксперимента.

При планировании опытов необходимо четко определиться с факторами и параметром оптимизации, связь между которыми выражается в искомой функции отклика, неоценимую помощь на данном этапе работы оказала монография [26]. В рассматриваемом эксперименте в качестве параметра оптимизации рассматривалась осадка штампа, имитирующего давление от насыпи земляного полотна автомобильной дороги на основание, один из основных факторов – избыточное над гидростатическим поровое давление, которое в дальнейшем будем называть как поровые давления или давления в жидкой фазе грунта.

Общий вид экспериментальной установки, на которой проводилось исследование грунта, приведен на рис. 1, продольный и поперечный разрезы – на рис. 2. Передача нагрузки на основание осу-

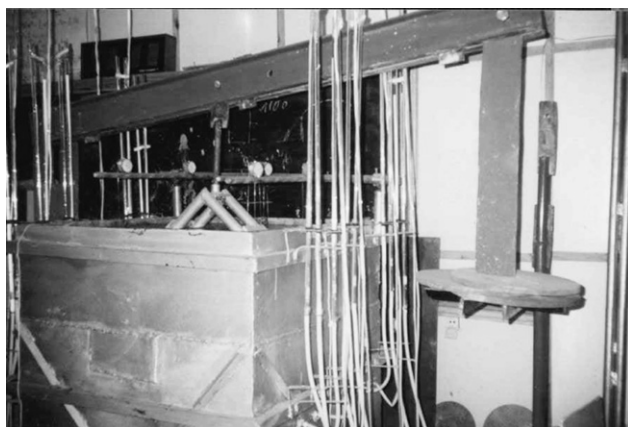


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки (фото авторов)

Fig. 1. General view of the experimental setup (authors' photo)

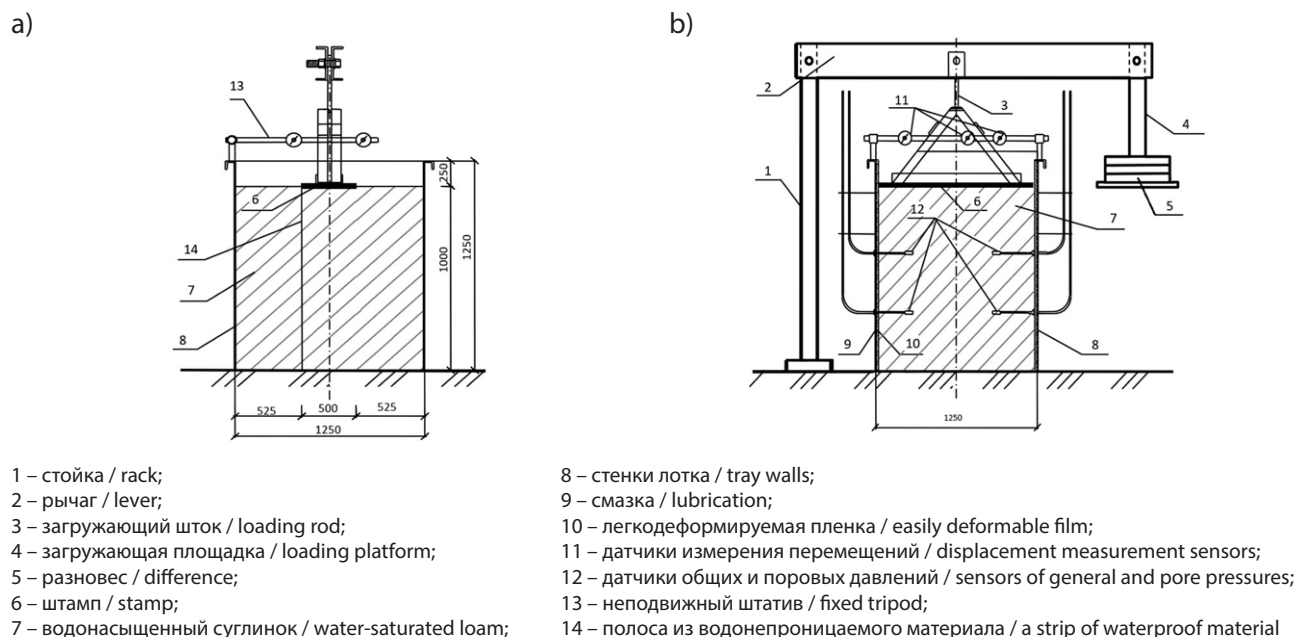


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: а) поперечный разрез; б) продольный разрез [27]

Fig. 2. Experimental setup diagram: a) cross-section; b) longitudinal section [27]

ществляется при помощи консольно-рычажной системы, которая состоит из стойки 1, рычага 2, загружающего штока 3, загрузочной площадки 4 для разновесов 5 и прямоугольного жесткого штампа 6. Исследуемый водонасыщенный глинистый грунт 7 укладывали в стальной лоток с жесткими стенками и дном 8, при этом на перпендикулярные штампу стенки лотка при помощи смазки 9 накладывали легкодеформируемую полиэтиленовую пленку 10 для снижения сил трения. Дополнительно по краю штампа параллельно его продольной оси на всю глубину основания размещали водонепроницаемый экран из полиэтиленовой пленки 14. Деформированное состояние и осадку штампа во времени измеряли при помощи грунтовых марок, погруженных в основание, и прогибомеров 11, закрепленных на неподвижном штативе 13. Оценка напряженного состояния оценивалась тензорезисторными местодозами мембранного типа 12, а также датчиками поровых давлений – пьезометрами 12.

Для моделирования дисперсного слабого глинистого грунта природного сложения на основе водонасыщенного суглинка нарушенной структуры в перегрузочном баке готовилась паста заданной влажности. Полученную грунтовую пасту послойно в пять этапов укладывали в лоток с равномерной по поверхности консолидацией каждого слоя при помощи пригруза. В результате этого в качестве испытуемого основания с учетом определенных по образцам физико-механических характеристик выступил мягкопластичный (показатель текучести $I_f = 0.71$) водонасыщенный (степень водонасыщения $S_r = 0.85$) суглинок (число пластичности $I_p = 0.13$). По модулю деформации $E = 1.84$ МПа его следует отнести к очень сильно деформируемому. Значение влажности $W = 0.302$. К маломасштабной грунтовой модели была приложена равномерно распределенная по площади штампа полосовая нагрузка $\sigma_0 = 4.6$ кПа. Продолжительность действия нагрузки 75 суток. Эксперимент был проведен одним из авторов данной статьи В. В. Воронцовым и описан в работе [27].

Обработка эксперимента выполнялась на основе варианта линейной наследственной теории вязкоупругости, согласно которому решение вязкоупругой задачи разбивается на два этапа. Сначала выполняется расчет образца как упругой системы, то есть получается решение без учета времени, затем с помощью переобозначений записывается решение в изображениях по Лапласу – Карсону. На втором этапе для фиксированного поперечного сечения осуществляется приближенный переход от известного изображения к оригиналу по методу ломаных Л. Е. Мальцева [24]. Оригинал аппроксимируется специальной ломаной линией (сплайном), которая имеет запись в изображениях. Назначается несколько численных значений параметра изображения p , то есть система точек $p_i, i = 1, \dots, n$, и записывается условие совпадения изображения ломаной линии с известным изображением решения задачи на системе точек. В результате получается система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), порядок которой совпадает с числом звеньев ломаной линии.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Измерение поровых давлений осуществлялось в двух уровнях – на глубине 30 и 60 см, в каждом уровне по 10 пьезометров. Характерный график изменения поровых давлений во времени на примере датчика № 20, расположенного на глубине $z = 30$ см, представлен на рис. 3. Отметим, что для данных всех пьезометров характерно резкое возрастание давлений в жидкой фазе в момент передачи нагрузки на основание с последующим убыванием, при этом остаточные поровые давления зафиксированы на 75 сутки [27]. Полученная графическая интерпретация результатов опыта указывает на немонотонность изменения поровых давлений с характерным горбом на начальном участке временной оси.

Обработка данных эксперимента и определение механических вязкоупругих характеристик выполняется в следующей последовательности [14]:

1. Экспериментальные данные представляются в виде специальной ломаной линии (функции времени), для этого выбираются характерные точки, которые наиболее точно описывают гра-

- фик изменения порового давления, количество точек принимается произвольно в зависимости от сложности графика.
- Изображение полученной функции записывается в соответствии с принципом переобозначений Вольтерра (к функции времени добавляется знак «*» – символ преобразования по Лапласу – Карсону).
 - Осуществляется приближенный переход от полученного изображения к оригиналу, для этого назначаются точки коллокаций (совпадения), в результате получается система линейных алгебраических уравнений, решение которой позволяет определить искомые параметры функции времени.
 - На основании полученных параметров определяются вязкоупругие механические характеристики.

Представим график порового давления в виде ломаной линии, для этого выберем из графика (рис. 3) необходимые значения порового давления и оформим их в виде таблицы (таблица 1). Следует отметить, что для выбора экспериментальных значений поровых давлений необходимо принять максимальное количество временных точек на начальном участке для более корректного описания немоного изменения.

На основании данных таблицы 1 запишем специализированный сплайн I порядка I (ломаную линию) с применением функции Хевисайда (рис. 4):

$$\sigma'(t) = \sigma(0) \cdot \left[1 - \sum_{i=0}^{10} (c_i - c_{i+1}) \cdot (t - t_i^\sigma) \cdot h(t - t_i^\sigma) \right], \quad (1)$$

где c_i – искомые параметры, определяемые по методу наименьших квадратов;

$$c_0 = c_{11} = 0;$$

t_i^σ – фиксированные моменты времени, относящиеся к функции σ' , $t_0^\sigma = 0$;

$\sigma(0) = 0.0000010091$ МПа – значение напряжения в начальный момент времени.

Для 10 звеньев ломаной найдем значения безразмерных параметров исходя из формул

$$\sigma(0) \cdot c_i = tg \alpha_i; \quad c_i = \frac{tg \alpha_i}{\sigma(0)};$$

$$c_0 = 0; c_1 = 95.36453567; c_2 = 76.65054633; c_3 = 58.13761438; c_4 = -39.63928253;$$

$$c_5 = -16.68798172; c_6 = -3.85043131; c_7 = -0.746408785; c_8 = -0.533605726;$$

$$c_9 = -0.368079052; c_{10} = 0.$$

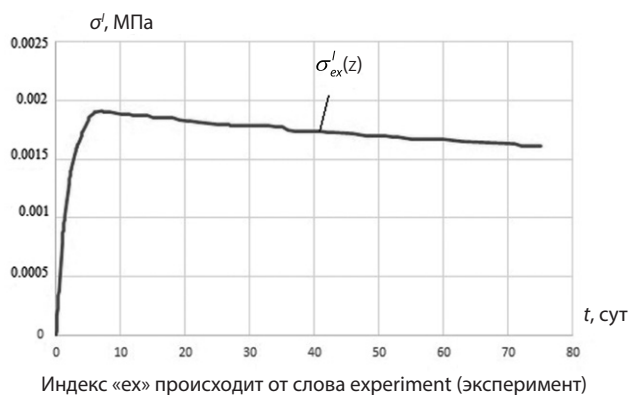


Рис. 3. График изменения порового давления во времени для датчика № 20 (график составлен авторами)

Fig. 3. Graph of pore pressure change over time for sensor № 20 (graph compiled by the authors)

Таблица 1. Значения порового давления для звеньев ломаной линии
Table 1. Pore pressure values for broken line links

Время t , сут	Поровое давление σ' , МПа
0	0.000010091
0.374	0.00037
0.917	0.00079
1.292	0.00101
2.167	0.00136
4.958	0.00183
7.017	0.00191
11	0.00188
37	0.00174
72	0.00161
80	0.00161

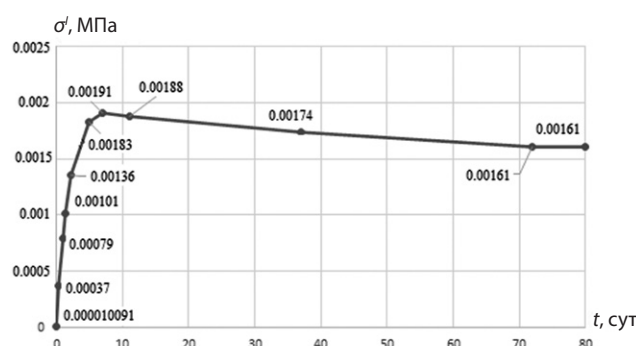


Рис. 4. График изменения порового давления в виде ломаной линии (график составлен авторами)
Fig. 4. Graph of pore pressure change in the form of a broken line (graph compiled by the authors)

Результаты сопоставления экспериментальных данных σ'_{ex} с данными, полученными из решения функции $\sigma'(t)$ (1) путем назначения конкретных временных точек, приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что максимальная погрешность составила 4.44 %, следовательно, назначенные звенья ломаной линии (1) позволили корректно описать экспериментальный график изменения поровых давлений.

Специальная запись с применением разностного аргумента $(t - t_i^\sigma)$ позволяет применить теорему запаздывания из курса операционного исчисления:

$$p \int_0^\infty e^{-p \cdot t_i^\sigma} \cdot (t - t_i^\sigma) \cdot h(t - t_i^\sigma) dt_\sigma = \frac{1}{p} \cdot e^{-p \cdot t_i^\sigma}, \quad (2)$$

где p – точки коллокаций (совпадений).

Таблица 2. Сопоставление экспериментальных данных σ'_{ex} с данными ломаной линии σ'
Table 2. Comparison of experimental data σ'_{ex} with broken line data σ'

Время t , сут	Поровое давление (эксперимент.) σ'_{ex} , МПа	Поровое давление (теоретич.) σ' , МПа	Δ , %	Время t , сут	Поровое давление (эксперимент.) σ'_{ex} , МПа	Поровое давление (теоретич.) σ' , МПа	Δ , %
0	0.000010091	0.000010091	0.00	2.167	0.00136	0.00136	0.00
0.083	0.00009	0.000089964	0.04	2.208	0.00138	0.001366904	0.95
0.125	0.00013	0.000130381	-0.29	2.25	0.00138	0.001373977	0.44
0.167	0.00017	0.000170799	-0.47	2.292	0.0014	0.00138105	1.35
0.208	0.00023	0.000210254	4.43	2.333	0.00142	0.001387954	2.26
0.25	0.00028	0.000250672	3.59	2.374	0.00143	0.001394858	2.46
0.292	0.00029	0.000291089	2.97	2.416	0.00143	0.001401931	1.96
0.333	0.00033	0.000330545	-0.17	2.917	0.00154	0.001486299	3.49
0.374	0.00037	0.00037	0.00	3.0	0.00157	0.001500276	4.44
0.917	0.00079	0.00079	0.00	3.0417	0.00157	0.001507298	3.99
0.958	0.00083	0.000814053	1.92	3.083	0.00158	0.001514253	4.16
1.0	0.00085	0.000838693	1.33	3.125	0.00159	0.001521326	4.32
1.0417	0.00088	0.000863157	1.91	3.167	0.00159	0.001528398	3.87
1.083	0.00089	0.000887387	0.29	3.208	0.0016	0.001535303	4.04
1.125	0.00092	0.000912027	0.87	3.25	0.00161	0.001542375	4.20
1.167	0.00093	0.000936667	-0.72	3.292	0.00161	0.001549448	3.76
1.208	0.00095	0.00096072	-1.13	3.333	0.00162	0.001556353	3.93
1.25	0.00098	0.00098536	-0.55	3.374	0.00163	0.001563257	4.09
1.292	0.00101	0.00101	0.00	3.875	0.0017	0.001647625	3.08
1.958	0.00129	0.0012764	1.05	3.917	0.00171	0.001654697	3.23
2.0	0.0013	0.0012932	0.52	3.958	0.00172	0.001661602	3.40
2.0417	0.00131	0.00130988	0.01	4.0	0.00173	0.001668674	3.54
2.083	0.00133	0.0013264	0.27				

Применяя теорему запаздывания (2), запишем изображение функции (1) по Лапласу – Карсону с теми же параметрами $\sigma(0), c_1, \dots, c_i$:

$$[\sigma'(t)]^* = [\sigma']^*(p) = \sigma(0) \cdot \left[1 + \sum_{i=1}^{10} c_i \cdot \frac{1}{p} \left(e^{-p \cdot t_{i-1}^{\sigma}} - e^{-p \cdot t_i^{\sigma}} \right) \right]. \quad (3)$$

Параметры $c_1, \dots, c_i$ известны из (1).

Построим графики оригинала $\sigma'(t)$ (1) и изображения $[\sigma']^*(p)$ (3), для наглядности отдельно выделим начальную часть графиков (рис. 5).

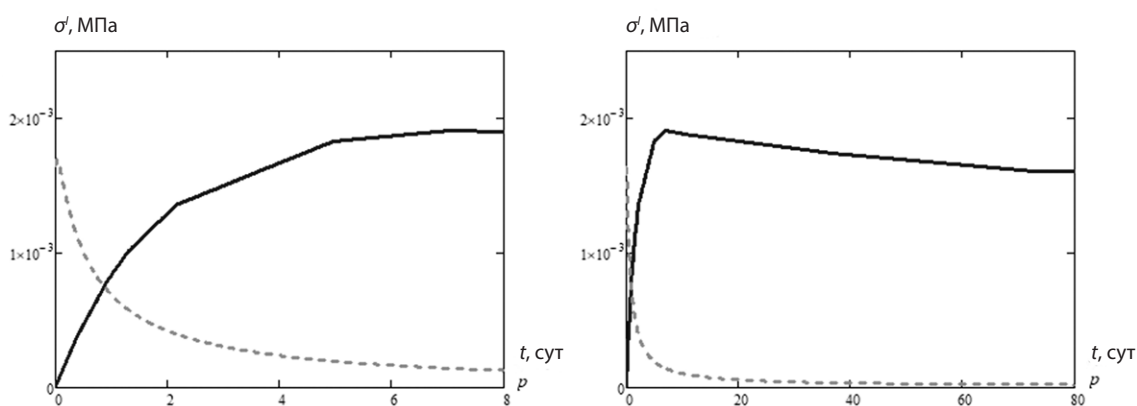


Рис. 5. Графики функций: оригинала $\sigma'(t)$ (—) и изображения $[\sigma']^*(p)$ (---) (графики составлены авторами)
Fig. 5. Graphs of the functions: original $\sigma'(t)$ (—) and transform $[\sigma']^*(p)$ (---) (graphs compiled by the authors)

Отметим, что в соответствии с теоремой о пределах выполняются равенства:

$$\begin{aligned} \sigma'(t=0) &= [\sigma']^*(p=\infty); \\ \sigma'(t=\infty) &= [\sigma']^*(p=0). \end{aligned}$$

Полученное изображение (3) используем для определения универсального параметра кинематической модели [24] в изображениях (квадрат означает, что параметр всегда имеет положительное значение)

$$[a^2]^*(p) = -\frac{1}{z_i} \cdot \ln \left[1 - \frac{[\sigma']^*(z_i, p)}{\sigma_o} \right]$$

и подставим в это выражение полученное ранее изображение (3):

$$[a^2]^*(p) = -\frac{1}{z_i} \cdot \ln \left[1 - \frac{1}{\sigma_o} \cdot \left\{ \sigma(0) \cdot \left[1 + \sum_{i=1}^{10} c_i \cdot \frac{1}{p} \left(e^{-p \cdot t_{i-1}^{\sigma}} - e^{-p \cdot t_i^{\sigma}} \right) \right] \right\} \right]. \quad (4)$$

Для определения универсального параметра выполним переход от изображения к оригиналу по методу ломаных Л. Е. Мальцева [24]. Для этого введем специализированный сплайн, аппроксимирующий оригинал $a^2(t)$

$$\bar{a}^2(t) = a(0) \cdot \left[1 - \sum_{i=0}^8 (d_i - d_{i+1}) \cdot (t - t_i^a) \cdot h(t - t_i^a) \right] \quad (5)$$

и имеющий запись в изображениях:

$$[\bar{a}^2(t)]^* = [\bar{a}^2]^*(p^a) = a(0) \cdot \left[1 + \sum_{i=1}^8 d_i \cdot \frac{1}{p^a} (e^{-p^a \cdot t_{i-1}^a} - e^{-p^a \cdot t_i^a}) \right], \quad (6)$$

где $d_0 = d_9 = 0$;

t_i^a – моменты времени, относящиеся к функции a^2 , $t_0^a = 0$;

p^a – точки коллокаций для функции a^2 ;

$a(0)$ и d_i – искомые параметры, определяемые по методу ломаных Л. Е. Мальцева из условия совпадения искомой аппроксимации $[\bar{a}^2]^*(p^a)$ (6) с заданной функцией $[a^2]^*(p)$ (4)

$$[\bar{a}^2]^*(p^a) = [a^2]^*(p)$$

на системе точек коллокаций $\{p_j^a\}_{j=1}^{j=8}$.

В результате получаем СЛАУ:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^8 d_i \cdot (e^{-p_j^a \cdot t_{i-1}^a} - e^{-p_j^a \cdot t_i^a}) = \left[\frac{[a^2]^*(p_j)}{a(0)} - 1 \right] \cdot p_j^a \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{i=1}^8 d_i \cdot (t_i^a - t_{i-1}^a) = \frac{[a^2]^*(p=0)}{a(0)} - 1 \end{cases}$$

Последнее уравнение СЛАУ записывается специальным образом для точки $p = 0$ или для точки $t = \infty$ в оригинале.

При $p = \infty$ сразу определяем параметр $a(0)$:

$$[\bar{a}^2]^*(p^a = \infty) = [a^2]^*(p = \infty):$$

$$[\bar{a}^2]^*(p^a = \infty) = a(0) \cdot \left[1 + \sum_{i=1}^8 d_i \cdot \frac{1}{\infty} (e^{-\infty \cdot t_{i-1}^a} - e^{-\infty \cdot t_i^a}) \right] = a(0),$$

$$[a^2]^*(p = \infty) = -\frac{1}{z_i} \cdot \ln \left[1 - \frac{1}{\sigma_o} \cdot \left\{ \sigma(0) \cdot \left[1 + \sum_{i=1}^6 c_i \cdot \frac{1}{\infty} (e^{-\infty \cdot t_{i-1}^\sigma} - e^{-\infty \cdot t_i^\sigma}) \right] \right\} \right] = -\frac{1}{z_i} \cdot \ln \left[1 - \frac{\sigma(0)}{\sigma_o} \right].$$

Тогда

$$a(0) = -\frac{1}{z_i} \cdot \ln \left[1 - \frac{\sigma(0)}{\sigma_o} \right] = -\frac{1}{0.3} \cdot \ln \left[1 - \frac{0.000010091}{0.0046} \right] = 0.007320351 \left(\frac{1}{M} \right).$$

Точки коллокаций p_j^a назначаются из решения трансцендентного уравнения [14]:

$$m(e^{-p_j^a \cdot t_{i-1}^a} - e^{-p_j^a \cdot t_i^a}) = (e^{-p_j^a \cdot t_i^a} - e^{-p_j^a \cdot t_{i+1}^a}),$$

согласно которому наддиагональные элементы матрицы составляют 0.8 от диагональных, что приводит к улучшению обусловленности матрицы, то есть к уменьшению числа ее обусловленности. Влияние точек коллокаций на обусловленность системы анализировалось в работе [28].

Важно отметить, что точность решения СЛАУ зависит от выбора точек совпадений (коллокаций), для этого необходимо задаться системой временных точек, образующих сильно возрастающую

последовательность. Это связано с тем, что функции, характеризующие вязкоупругие свойства грунтов, меняются быстро на начальном участке и по мере возрастания времени скорость их изменения убывает.

В результате решения СЛАУ определяем искомые параметры d_i :

$d_1 = 57.441091392$; $d_2 = 67.354345329$;

$d_3 = 55.633356517$; $d_4 = 71.828877997$;

$d_5 = 49.874311356$; $d_6 = 2.88664458$;

$d_7 = -0.008559125$; $d_8 = -0.833760981$.

Таким образом, специализированный сплайн $\bar{a}^{-2}(t)$ (5) становится известной функцией. По полученным данным строим график функции $\bar{a}^{-2}(t)$ (рис. 6).

Полученный универсальный параметр $\bar{a}^{-2}(t)$ является вязкоупругой механической характеристикой грунта и включает в себя все параметры кинематической модели [24] (E^s (МПа), E^l (МПа), η), поэтому, определив его, можно выполнить полный расчет напряженно-деформированного вязкоупругого основания.

4. Заключение / Conclusions

На основе планирования эксперимента и теории подобия в лабораторных условиях проведено геометрическое и физическое моделирование нагружения полосовой нагрузкой основания из мягкопластичного водонасыщенного суглинка. Графики поровых давлений в процессе консолидации имеют характерный вид немонотонной функции, в начальный момент передачи нагрузки на основание явно прослеживается горбик, далее идет монотонное убывание, в ряде случаев с выходом на плато.

Проведенный численный анализ по назначению точек коллокаций для решения трансцендентного уравнения показал, что для немонотонных функций, характеризующих вязкоупругие механические свойства водонасыщенного суглинка, параметр m следует принимать в пределах $0.7 \div 0.9$.

Из сопоставления экспериментальных данных σ_{ex}^l с данными, полученными из решения функции $\sigma^l(t)$ (таблица 1), следует, что максимальное расхождение составляет 4.44 %. Таким образом, методика позволяет с достаточной для практики точностью рассчитывать напряженное состояние вязкоупругого водонасыщенного основания.

В результате применения кинематической модели для обработки эксперимента была получена механическая характеристика (универсальный параметр модели) a^2 , которую в дальнейшем можно использовать для полного расчета напряженно-деформированного состояния вязкоупругого водонасыщенного основания. Параметр a^2 имеет немонотонный характер изменения в связи с тем, что при его определении используется кривая порового давления, которая также является немонотонной.

Предложенный вариант обработки экспериментальных данных, в частности, давлений в жидкой фазе грунта, с позиций линейной наследственной теории вязкоупругости позволяет оценивать во времени напряженно-деформированное состояние водонасыщенных глинистых оснований с учетом поровых давлений не только на конечном отрезке времени, но и по окончании процесса консолидации.

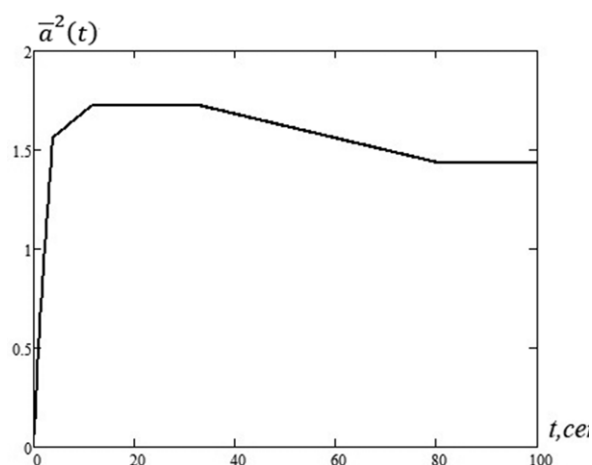


Рис. 6. График функции $\bar{a}^{-2}(t)$ (график составлен авторами)

Fig. 6. Graph of the function $\bar{a}^{-2}(t)$ (graph compiled by the authors)



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

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

Список литературы

1. Тер-Мартirosян З. Г. *Прогноз механических процессов в массивах многофазных грунтов*. Москва: Недра; 1986. 292 с.
2. Тер-Мартirosян З. Г., Тер-Мартirosян А. З., Лузин И. Н. Напряженно-деформированное состояние конечной прямоугольной области под действием равномерно распределенной полосовой нагрузки. *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2018;(2):6–13. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35417650>.
3. Тер-Мартirosян З. Г., Филиппов К. А. Решение задачи осадки сваи под действием вертикальной статической нагрузки с учетом пластических свойств грунтов основания. *Вестник МГСУ*. 2022;17(7):871–881. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.7.871-881>
4. Абелев М. Ю., Аверин И. В., Коптева О. В. Сравнение результатов полевых и лабораторных исследований характеристик деформируемости глинистых грунтов. *Промышленное и гражданское строительство*. 2019;(6):40–45. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.06.40-45>
5. Абелев М. Ю., Аверин И. В., Абелев К. М., Чунюк Д. Ю., Алмазов А. А. *Строительство на слабых водонасыщенных глинистых грунтах*. Москва: Издательство АСВ; 2023. 170 с. ISBN 978-5-4323-0483-4. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54107159>.
6. Жусупбеков А. Ж., Улицкий В. М., Дьяконов И. П., Николаева М. В. Получение физико-механических характеристик лимногляциальных отложений Санкт-Петербурга для математической модели грунта. *Вестник гражданских инженеров*. 2023;(2):44–55. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-2-44-55>
7. Шашкин А. Г., Шашкин К. Г., Васенин В. А. О предсказательной способности моделей механики грунтов. В сб.: *Сергеевские чтения. Фундаментальные и прикладные вопросы современного грунтоведения: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Санкт-Петербург, 31 марта – 01 апреля 2022 года*. Москва: Геоинфо; 2022. С. 326–332. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48425502>.
8. Востриков К. В., Смолин Ю. П., Клименок А. В. К методике разделения фильтрационной консолидации и ползучести скелета водонасыщенных грунтов. *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения*. 2018;(3):70–76. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43112611>.
9. Воронцов В. В., Набоков А. В., Овчинников В. П., Твердохлеб С. А. Результаты компрессионного сжатия слабых водонасыщенных глинистых макрообразцов с применением «грунтового замка». *Научно-технический вестник Поволжья*. 2015;(1):60–65. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23136613>.
10. Твердохлеб С. А., Воронцов В. В. Результаты лабораторного исследования консолидации слабого водонасыщенного глинистого макрообразца удаленного от дневной поверхности. В сб.: *Актуальные проблемы архитектуры, строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: Сборник материалов международной научно-практической конференции: в 2 томах. Том 1. Тюмень, 23 апреля 2015 года*. Тюмень: Тюменский государственный архитектурно-строительный университет; 2015. С. 64–72.
11. Maltseva T., Nabokov A., Vatin N. Consolidation of water-saturated viscoelastic subgrade. *Magazine of Civil Engineering*. 2024;(1):12502. <https://doi.org/10.34910/MCE.125.2>
12. Демин В. А. *Экспериментальное и теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния двухфазной вязкоупругой среды: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук*. Санкт-Петербург; 2005. 30 с. URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01002930116?page=1&rotate=0&theme=white>.
13. Мальцева Т. В., Краев А. Н., Жайсамбаев Е. А. Моделирование механических процессов в грунтовом основании с учетом вязкоупругих свойств грунта. В сб.: *XIII Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике: сборник тезисов докладов: в 4 т. Том 3. Министерство науки и высшего образования РФ; Российская академия наук; Российский национальный комитет по теоретической и прикладной механике; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Санкт-Петербург, 21–25 августа 2023 года*. Санкт-Петербург: Политех-Пресс; 2023. С. 137–141.

14. Крижанивская Т. В., Бай В. Ф., Мальцева Т. В., Коркишко А. Н. *Расчет водонасыщенных грунтовых оснований*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2020. 141 с. ISBN 978-5-9961-2344-5.
15. Зарецкий Ю. К. *Теория консолидации грунтов*. Москва: Наука; 1967. 268 с.
16. Парамонов В. Н. *Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники*. Санкт-Петербург: ГК «Георекострукция»; 2012. 264 с. ISBN: 978-5-9902005-4-8. URL: <http://georeconstruction.ru/books/paramonov.pdf>.
17. Тер-Мартirosян З. Г., Тер-Мартirosян А. З., Ермошина Л. Ю. Осадка и длительная несущая способность свай с учетом реологических свойств грунтов. *Construction and Geotechnics*. 2022;13(1):5–15. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2022.1.01>
18. Тер-Мартirosян З. Г., Тер-Мартirosян А. З., Дам Х. Х. Взаимодействие баретты с многослойным окружающим и подстилающими грунтами с учетом упругих и упруго-вязкопластических свойств. *Вестник МГСУ*. 2022;17(9):1135–1144. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.9.1135-1144>
19. Тер-Мартirosян З. Г., Тер-Мартirosян А. З., Сидоров В. В., Алмакаева А. С. Определение упруговязкопластических параметров грунтов по результатам испытаний на крутильный срез. *Промышленное и гражданское строительство*. 2022;(10):45–55. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2022.10.45-55>
20. 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>
21. Xiao-mi Li, Qian-qing Zhang, Shan-wei Liu. Semianalytical solution for long-term settlement of a single pile embedded in fractional derivative viscoelastic soils. *International Journal of Geomechanics*. 2021;21(2):04020246. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0001906](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001906)
22. Трефилина Е. Р., Трефилин И. А. Строительство зданий и сооружений на двухфазных упругих основаниях. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2021;(1):20–29. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46409676>
23. 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>
24. Мальцев Л. Е., Бай В. Ф., Мальцева Т. В. *Кинематическая модель грунта и биоматериалов*. Санкт-Петербург: Стройиздат; 2002. 336 с.
25. Мальцева Т. В. *Математическая теория водонасыщенного грунта*. Тюмень: Вектор Бук; 2012. 240 с.
26. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий*. 2-е изд. Москва: Наука; 1976. 279 с.
27. Воронцов В. В. *Вертикальное армирование деятельного слоя в основании дорожной конструкции: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук*. Тюмень: Тюменский государственный архитектурно-строительный университет; 2006. 175 с.
28. Мальцева Т. В., Парфенова Т. В. Влияние точек совпадений в методе ломаных на обусловленность матрицы. *Известия высших учебных заведений. Нефть и газ*. 2002;(3):101–106. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22897092>.

References

1. Ter-Martirosyan Z. G. *Prediction of mechanical processes in multiphase soil masses*. Moscow: Nedra; 1986. (In Russ.)
2. Ter-Martirosyan Z. G., Ter-Martirosyan A. Z., Luzin I. N. The stress-strain state of a finite rectangular domain under a uniformly distributed strip load. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2018;55(2):68–75. <https://doi.org/10.1007/s11204-018-9505-5>
3. Ter-Martirosyan Z. G., Filippov K. A. A solution to the problem of pile settlement caused by vertical static loading with consideration to plastic properties of the foundation soil. *Vestnik MGSU*. 2022;17(7):871–881. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.7.871-881>
4. Abelev M. Yu., Averin I. V., Kopteva O. V. Comparison of field and laboratory studies results of the clay soils deformability characteristics. *Industrial and Civil Engineering*. 2019;(6):40–45. (In Russ.) <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2019.06.40-45>
5. Abelev M. Yu., Averin I. V., Abelev K. M., Chunyuk D. Yu., Almazov A. A. *Construction on weak, saturated clay soils*. Moscow: Izdatel'stvo ASV; 2023. ISBN 978-5-4323-0483-4. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54107159>.

6. Zhussupbekov A. Zh., Ulitsky V. M., Dyakonov I. P., Nikolaeva M. V. Obtaining the physical and mechanical characteristics of limnoglacial deposits in St. Petersburg for constructing a soil mathematical model. *Bulletin of Civil Engineers*. 2023;(2):44–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2023-20-2-44-55>
7. Shashkin A. G., Shashkin K. G., Vasenin V. A. On the predictive capability of soil mechanics models. In: *Sergeevskie chteniya. Fundamental'nye i prikladnye voprosy sovremennogo gruntovedeniya: Materialy godichnoy sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoy geologii i gidrogeologii, Saint Petersburg, 31 March – 01 April, 2022*. Moscow: Geoinfo; 2022. P. 326–332. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48425502>.
8. Vostrikov K. V., Smolin J. P., Klimenok A. V. The separation technique of filtration consolidation and creep of saturated soils skeleton. *Siberian Transport University Bulletin*. 2018;(3):70–76. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43112611>.
9. Vorontsov V. V., Nabokov A. V., Ovchinnikov V. P., Tverdokhlebs S. A. Results of compression pressure weak water-saturated clay macro sample using the "ground lock". *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2015;(1):60–65. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23136613>.
10. Tverdokhlebs S. A., Vorontsov V. V. Laboratory test results on the consolidation of a soft, water-saturated clay macro-sample from a significant depth. In: *Aktual'nye problemy arkhitektury, stroitel'stva, ekologii i energosberezheniya v usloviyakh Zapadnoy Sibiri: Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: in 2 vol. Vol. 1. Tyumen, 23 April, 2015*. Tyumen: Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering; 2015. P. 64–72. (In Russ.)
11. Maltseva T., Nabokov A., Vatin N. Consolidation of water-saturated viscoelastic subgrade. *Magazine of Civil Engineering*. 2024;(1):12502. <https://doi.org/10.34910/MCE.125.2>
12. Demin V. A. *Experimental and theoretical study of the stress-strain state of a two-phase viscoelastic medium: Dissertation abstract for the candidate of technical sciences degree*. St. Petersburg; 2005. (In Russ.) URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01002930116?page=1&rotate=0&theme=white>.
13. Maltseva T. V., Kraev A. N., Zhaisambayev E. A. Modeling of mechanical processes in a soil base taking into account the viscoelastic properties of soil. In: *XIII Vserossiyskiy s"ezd po teoreticheskoy i prikladnoy mekhanike: sbornik tezisev dokladov: in 4 vol. Vol. 3. Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya RF; Rossiyskaya akademiya nauk; Rossiyskiy natsional'nyy komitet po teoreticheskoy i prikladnoy mekhanike; Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskii universitet Petra Velikogo. Saint Petersburg, 21–25 August, 2023*. St. Petersburg: Polytech Press; 2023. P. 137–141. (In Russ.)
14. Krizhanivskaya T. V., Bai V. F., Maltseva T. V., Korkishko A. N. *Calculation of water-saturated soil foundations*. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2020. ISBN 978-5-9961-2344-5. (In Russ.)
15. Zaretsky Yu. K. *Theory of soil consolidation*. Moscow: Nauka; 1967. (In Russ.)
16. Paramonov V. N. *Finite element method for solving nonlinear geotechnical problems*. Saint Petersburg: GK "Georekonstruktsiya"; 2012. (In Russ.) URL: <http://georeconstruction.ru/books/paramonov.pdf>.
17. Ter-Martirosyan Z. G., Ter-Martirosyan A. Z., Ermoshina L. Yu. Settlement and long-term bearing capacity of the pile taking into account the rheological properties of soils. *Construction and Geotechnics*. 2022;13(1):5–15. <https://doi.org/10.15593/2224-9826/2022.1.01>
18. Ter-Martirosyan Z. G., Ter-Martirosyan A. Z., Dam H. H. Interaction between a barrette and multilayered surrounding and underlying soils, taking into account their elastic and elastic-viscoplastic properties. *Vestnik MGSU*. 2022;17(9):1135–1144. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.9.1135-1144>
19. Ter-Martirosyan Z. G., Ter-Martirosyan A. Z., Sidorov V. V., Almakayeva A. S. Determination of elastic-visco-plastic parameters of soils based on the results of torsional shear tests. *Industrial and civil engineering*. 2022;(10):45–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2022.10.45-55>
20. 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>
21. Xiao-mi Li, Qian-qing Zhang, Shan-wei Liu. Semianalytical solution for long-term settlement of a single pile embedded in fractional derivative viscoelastic soils. *International Journal of Geomechanics*. 2021;21(2):04020246. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0001906](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001906)
22. Treflina E. R., Treflin I. A. Construction of buildings and structures on two-phase elastic bases. *Architecture, Construction, Transport*. 2021;(1):20–29. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46409676>
23. 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. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2023-4-26-33>

24. Maltsev L. E., Bai V. F., Maltseva T. V. *Kinematic model of soil and biomaterials*. Saint Petersburg: Stroyizdat; 2002. (In Russ.)
25. Maltseva T. V. *Mathematical theory of saturated soil*. Tyumen: Vector Book; 2012. (In Russ.)
26. Adler Yu. P., Markova E. V., Granovsky Yu. V. *Planning an experiment in the search for optimal conditions*. 2nd edition. Moscow: Nauka; 1976. (In Russ.)
27. Vorontsov V. V. *Vertical reinforcement of the active layer at the base of the road structure: Dissertation for the candidate of technical sciences degree*. Tyumen: Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering; 2006. (In Russ.)
28. Maltseva T. V., Parfenova T. V. Influence of coincidence points in the method of lines on matrix conditioning. *Oil and Gas Studies*. 2002;(3):101–106. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22897092>.



Информация об авторах

Крижанивская Татьяна Валерьевна, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, krizhanivskajatv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5433-2405>

Воронцов Вячеслав Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры строительных конструкций, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, vorontsov vv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0141-7452>

Тайех Бассам А., PhD, профессор, Исламский университет Газы, Газа, Палестина, <https://orcid.org/0000-0002-2941-3402>

Information about the authors

Tatiana V. Krizhanivskaya, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, krizhanivskajatv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5433-2405>

Viacheslav V. Vorontsov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Building Structures, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, vorontsov vv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0141-7452>

Bassam A. Tayeh, PhD, Professor, Islamic University of Gaza, Gaza, Palestine, <https://orcid.org/0000-0002-2941-3402>

Получена 11 апреля 2025 г., одобрена 25 мая 2025 г., принята к публикации 10 июня 2025 г.
Received 11 April 2025, Approved 25 May 2025, Accepted for publication 10 June 2025

Научная статья / Original research article
УДК 696.48-67
DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-64-76>
EDN: <https://elibrary.ru/ytftyut>

2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция,
кондиционирование воздуха, газоснабжение
и освещение (технические науки)



Оценка внедрения энергосберегающих мероприятий для системы горячего водоснабжения аэропорта г. Владивостока

И. А. Журмилова ✉, Е. В. Тарасова, Е. А. Зырянов
Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, 10, о. Русский, Владивосток,
690090, Российская Федерация

✉ zhurmilova.ia@dvvfu.ru

Аннотация. Внедрение экономически обоснованных энергосберегающих мероприятий является приоритетной задачей для любых крупных предприятий. Система горячего водоснабжения, как одна из основных систем, потребляющих теплоту в зданиях аэропортов, имеет большой потенциал для сокращения энергопотребления. Основным источником теплоты системы горячего водоснабжения здания аэропорта г. Владивостока являются электрические котлы, для сокращения потребления энергии рассмотрено применение солнечных коллекторов для нагрева воды и установка утилизаторов теплоты выбросов вентиляционного воздуха. Для оценки внедрения энергосберегающих мероприятий в систему горячего водоснабжения здания аэропорта г. Владивостока были проведены теоретические расчеты расхода воды и теплоты на нужды ГВС, определены фактические значения этих величин по данным тепловычислителя. Фактический среднесуточный расход горячей воды по показаниям тепловычислителя за 4 месяца и среднем пассажиропотоке 258 чел./ч составляет $6.68 \text{ м}^3/\text{сут}$, теоретический расход при этом же пассажиропотоке составляет $6.83 \text{ м}^3/\text{сут}$. Для проектного значения пассажиропотока 1360 чел./ч среднесуточный расход воды равен $13.92 \text{ м}^3/\text{сут}$. Рассчитаны основные показатели внедрения энергосберегающих мероприятий при проектном значении пассажиропотока. Обеспечение нужд ГВС с использованием утилизаторов теплоты выбросов вентиляционного воздуха имеет простой срок окупаемости 6.81 лет; солнечная установка горячего водоснабжения из 86 солнечных коллекторов – 11.2 лет.

Ключевые слова: энергосбережение, горячее водоснабжение, утилизация теплоты воздуха, тепловые насосы, солнечные коллекторы, солнечное теплоснабжение, возобновляемые источники энергии

Для цитирования: Журмилова И. А., Тарасова Е. В., Зырянов Е. А. Оценка внедрения энергосберегающих мероприятий для системы горячего водоснабжения аэропорта г. Владивостока. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(2):64–76. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-64-76> EDN: YTFYUT

Evaluation of energy saving measures implementation for the hot water supply system in Vladivostok airport

Irina A. Zhurmilova ✉, Elena V. Tarasova, Evgeny A. Zyryanov
Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690090, Russian Federation

✉ zhurmilova.ia@dvvfu.ru

Abstract. Implementing economically viable energy-saving measures is a priority for any large enterprises. Hot water supply system as one of the major heat consumers in airports offer significant potential for

energy consumption reduction. Electric boilers are the primary heat source for the hot water system of the Vladivostok airport. To reduce energy consumption, the application of solar collectors for water heating and the installation of exhaust air heat recovery systems were considered. To evaluate the effectiveness of these energy-saving measures for the airport's hot water system, theoretical calculations of water and heat consumption for domestic hot water were performed, and these were compared with actual values obtained from heat meter data. Based on these data, the actual average daily hot water consumption over 4 months was 6.68 m³/day, with an average passenger flow of 258 passengers per hour. The theoretical consumption for the same passenger flow was 6.83 m³/day. At a design passengers flow of 1.360 people per hour, the average daily water consumption was calculated to be 13.92 m³/day. The study calculated the key indicators of implementing the energy-saving measures at the design value of passenger flow. Supplying domestic hot water using exhaust air heat recovery has a simple payback period of 6.81 years; a payback period of solar hot water system comprising 86 solar collectors is 11.2 years.

Keywords: energy saving, hot water supply, air heat recovery, heat pumps, solar collectors, solar thermal heating, renewable energy sources

For citation: Zhurmilova I. A., Tarasova E. V., Zyryanov E. A. Evaluation of energy saving measures implementation for the hot water supply system in Vladivostok airport. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(2):64–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-64-76>



1. Введение / Introduction

Для системы горячего водоснабжения (далее ГВС) зданий аэровокзалов, имеющих круглосуточный режим работы, актуально внедрение энергосберегающих мероприятий, например, применение возобновляемых источников энергии или утилизация тепловых выбросов. Расположение зданий аэровокзалов на открытой местности благоприятно сказывается на применении солнечных систем горячего водоснабжения. В России накоплен положительный опыт эксплуатации систем теплоснабжения на основе солнечной энергии [1, 2]. Однако применение солнечных установок для потребителя становится объективно обоснованным только при расчете экономических параметров [3, 4]. Использование теплоты вытяжного воздуха является одним из распространенных решений, направленных на сокращение потребления теплоты зданий [5–7]. Применение теплоутилизационных установок позволяет полезно использовать более 40 % теплоты вытяжного воздуха, а значит, снизить энергопотребление в среднем на 20–25 % при сравнительно небольших дополнительных капитальных затратах [8].

Такую систему возможно использовать совместно с тепловым насосом, позволяющим повысить температурный потенциал получаемой теплоты [9, 10], и нагревать как теплоноситель в системе отопления, так и горячую воду [11, 12].

Оценка внедрения энергосберегающих мероприятий для системы ГВС проведена на примере аэропорта г. Владивостока. Владивосток находится на широте 43°, что позволяет получить максимум солнечной энергии среди прочих районов России [13]. Основным критерием выбора оптимального энергосберегающего мероприятия является его экономическая эффективность, дополнительным – снижение нагрузки на окружающую среду.

В здании аэропорта имеются следующие группы водопотребителей:

1. Пассажиры. Для расчетов принимается количество пассажиров от 242 до 1 360 чел./ч. Наименьшее значение пассажиропотока (242 чел./ч) принято по данным за январь 2024 г., максимальное значение (1 360 чел./ч) – проектное для данного аэропорта. Число санитарно-технических приборов с подключением горячей воды составляет 176 шт. Расчетное время водопотребления воды – 24 ч в сутки.

2. Работники офисной части здания (320 человек). Число санитарно-технических приборов с подключением горячей воды составляет 24 шт. Расчетное время водопотребления воды – 9 ч в сутки.
 3. Места общественного питания, кафе. Количество условных блюд – 10 % от пассажиропотока. Число санитарно-технических приборов с подключением горячей воды составляет 20 шт. Расчетное время водопотребления воды – 24 ч в сутки.
 4. Гостиница (20 человек). Число санитарно-технических приборов с подключением горячей воды составляет 12 шт. Расчетное время водопотребления воды – 24 ч в сутки.
 5. Магазины (19 работающих в смену). Число санитарно-технических приборов с подключением горячей воды составляет 19 шт. Расчетное время водопотребления воды – 12 ч в сутки.
- Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:
- проанализировать расчетные и фактические расходы воды на горячее водоснабжение;
 - произвести укрупненный расчет технико-экономического обоснования утилизации теплоты вытяжного вентиляционного воздуха и применения солнечных коллекторов для системы ГВС здания аэровокзала;
 - определить сокращение выбросов CO_2 при использовании теплоты вытяжного вентиляционного воздуха и применения солнечных коллекторов для ГВС здания аэровокзала.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Для определения норм расходов воды была использована методика в соответствии с СП 478.1325800.2019¹ и СП 30.13330.2020². Для сравнения теоретических значений с фактическими по расходу воды и теплоты на ГВС были использованы данные тепловычислителя Карат 307 (производитель – ООО НПП «Уралтехнология», Российская Федерация), установленного в тепловом пункте аэропорта г. Владивостока. Архив включает данные почасовых параметров теплоснабжения за декабрь 2023 г., январь 2024 г. и суточных параметров в период с января по апрель 2024 г., данные за другие периоды отсутствуют.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Результаты расчетов проектных расходов воды на нужды горячего водоснабжения для каждой группы водопотребителей и для всего здания аэропорта с учетом фактических данных пассажиропотока 242 чел./ч и далее при увеличении его с примерным шагом 100 чел./ч до проектного значения 1 360 чел./ч представлены на рис. 1.

Увеличение пассажиропотока в два раза приводит к увеличению максимального часового расхода горячей воды и расхода тепла на приготовление горячей воды в течение часа максимального водопотребления на 15 %, среднечасового расхода горячей воды и расхода тепла на приготовление горячей воды в течение среднего часа водопотребления на 22 %. При увеличении пассажиропотока в шесть раз первые показатели увеличиваются на 38 %, а вторые на 51 %.

Индивидуальный тепловой пункт аэропорта оснащен тепловычислителем Карат 307, который позволил получить часть данных по фактическому расходу горячей воды. Архив включает данные почасовых параметров теплоснабжения за декабрь 2023 г. (рис. 2), январь 2024 г. (рис. 3) и суточных параметров в период с января по апрель 2024 г.

¹ СП 478.1325800.2019. Здания и комплексы аэровокзальные. Правила проектирования. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/049/SP-478.pdf> (дата обращения: 15.02.2025).

² СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий: СНиП 2.04.01-85*. URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/f41/SP-30.pdf> (дата обращения: 15.02.2025).

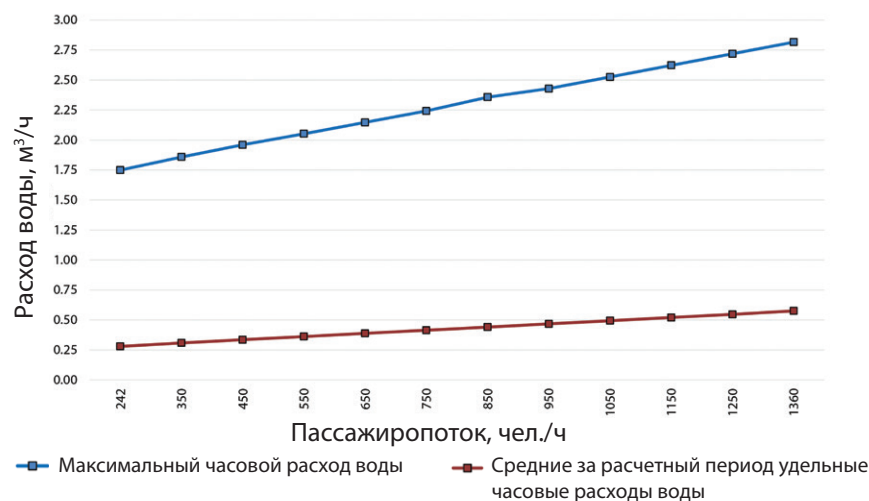


Рис. 1. Теоретические расходы горячей воды здания аэропорта с учетом изменяемости пассажиропотока (график составлен авторами)

Fig. 1. Theoretical hot water demand for the airport terminal, considering variable passenger flow (graph created by the authors)

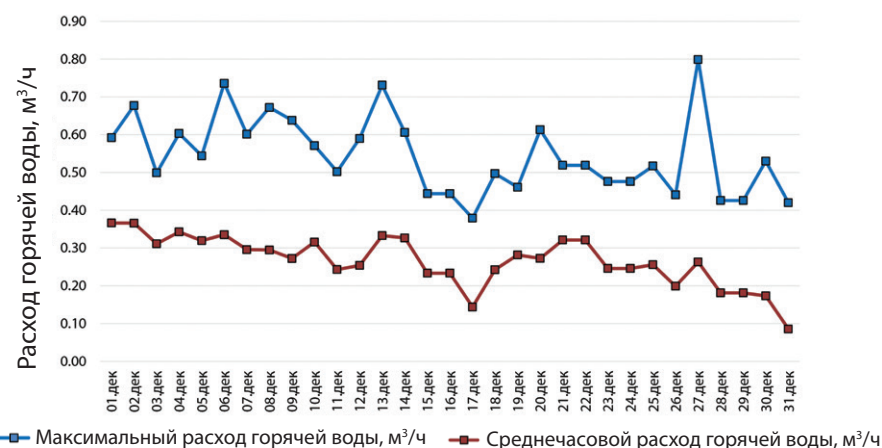


Рис. 2. Фактические расходы горячей воды за декабрь 2023 г. (график составлен авторами)

Fig. 2. Actual hot water consumption for December 2023 (graph created by the authors)

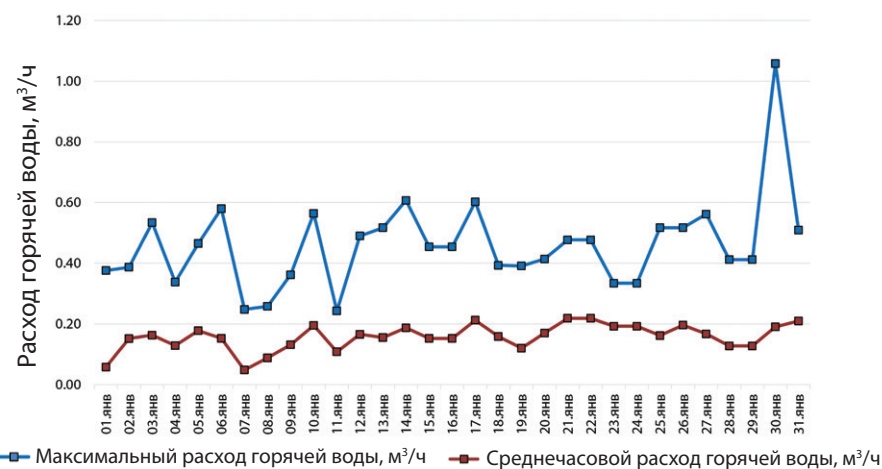


Рис. 3. Фактические расходы горячей воды за январь 2024 г. (график составлен авторами)

Fig. 3. Actual hot water consumption for January 2024 (graph created by the authors)

Значения теоретических среднесуточных и среднечасовых расходов горячей воды и расходов теплоты по фактическим данным пассажиропотока в период с декабря 2023 г. по март 2024 г. представлены в таблице 1.

Среднесуточный расход воды по показаниям тепловычислителя за 4 месяца и среднем пассажиропотоке 258 чел./ч составляет $6.68 \text{ м}^3/\text{сут}$, теоретический расход при этом же пассажиропотоке составляет $6.83 \text{ м}^3/\text{сут}$. Для проектного значения пассажиропотока 1 360 чел./ч среднесуточный расход воды равен $13.92 \text{ м}^3/\text{сут}$. При расчете технико-экономического обоснования внедрения энергосберегающих мероприятий для системы горячего водоснабжения здания аэровокзала решено использовать расчетные расходы воды и теплоты для пассажиропотока в 1 360 чел./ч, так как видна тенденция увеличения пассажиропотока.

Максимальный часовой расход воды по показаниям тепловычислителя за 4 месяца и среднем пассажиропотоке 258 чел./ч равен $1.06 \text{ м}^3/\text{ч}$, теоретический расход при этом же пассажиропотоке составляет $1.75 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для проектного значения пассажиропотока 1 360 чел./ч максимальный часовой расход воды равен $2.82 \text{ м}^3/\text{ч}$. Значительное расхождение между показаниями расхода тепловычислителя и теоретическими вычислениями при одинаковом пассажиропотоке говорит о более равномерном потреблении горячей воды в аэропорту г. Владивостока.

Технико-экономическое обоснование внедрения энергосберегающих мероприятий для системы горячего водоснабжения здания аэровокзала произведено по укрупненным показателям согласно [14–16].

Рассмотрено два варианта энергосберегающих мероприятий: использование теплоты вытяжного воздуха; применение солнечных коллекторов.

В качестве низкопотенциального источника теплоты для теплового насоса предложено использовать теплоту вытяжного воздуха из механических систем вентиляции. По результатам натурального обследования систем вентиляции выбрана вытяжная механическая система с проектным расходом воздуха $20\,205 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для утилизации теплоты вытяжного воздуха необходимо установить фреоновые теплообменники в вытяжных вентиляционных установках, которые будут являться испарителями для теплового насоса. Тепловой насос, установленный в венткамере, нагревает рабочую жидкость до 70°C , она подается по трубопроводам в тепловой узел и через пластинчатый теплообменник греет воду для нужд горячего водоснабжения. Поскольку в вытяжных вентиляционных установках появляется дополнительный теплообменник, необходимо заменить вентиляторы на более мощные. Также система оснащается системой автоматики, насосами (контур теплового насоса, контур баков аккумуляторов, контур пластинчатого теплообменника), баками-аккумуляторами теплоносителя (таблица 2).

Таблица 1. Фактические по тепловычислителю и теоретические данные расходов горячей воды и теплоты
Table 1. Actual (metered) and theoretical data for hot water and heat consumption

Месяц	Расход горячей воды, $\text{м}^3/\text{сут}$				Расход теплоты, кВт	
	фактический средне- суточный	теоретический средне- суточный	фактический средне- часовой	теоретический средне- часовой	по нормируемой температуре горячей воды при фактическом расходе	теорети- ческий
Декабрь 2023 г.	6.39	6.8	0.27	0.28	25.04	26.61
Январь 2024 г.	3.68	6.73	0.16	0.28	14.89	26.33
Февраль 2024 г.	6.29	6.93	0.28	0.29	25.87	27.13
Март 2024 г.	10.35	6.87	0.43	0.29	40.54	26.88

Таблица 2. Основное оборудование системы утилизации теплоты вытяжного воздуха для нужд ГВС
Table 2. Primary equipment in the exhaust air heat recovery system for domestic hot water heating

Наименование	Количество	Стоимость за 1 ед., руб.	Общая сумма, руб.
Компрессорно-конденсатный блок и фреоновый охладитель	1	3 200 000	3 200 000
Вентилятор	1	76 000	76 000
Вспомогательное оборудование	1	150 000	150 000
Насос RW 32-120S 220, DN 32	2	35 500	71 000
Труба водогазопроводная ³ , м	438	300	131 376
Насос RMV 1-6F, DN 25, PN 25	2	81 986	163 972
Расширительный бак на 600 л для отопления STOUT	1	80 000	80 000
ПСК VT.1831.N.08	1	7 745	7 745
Насос для контура ТН, RWS 40-120FT, DN 40, PN10	2	72 000	144 000
Буферная емкость – теплоаккумулятор S-Tank ET 3000	3	300 000	900 000
Общая стоимость оборудования в ценах 2024 г., руб.			4 924 093

Расчет установки солнечного горячего водоснабжения выполняется по часовым суммам прямой и рассеянной солнечной радиации, температуре наружного воздуха в соответствии с ВСН 52-86⁴. Величина интенсивности солнечной радиации принята по научно-прикладному справочнику по климату СССР⁵. Ближайшая станция к месту расположения здания аэропорта – Приморский край, станция Сад-Город. Данные по температуре наружного воздуха приняты по СП 131.13330.2020⁶. Для расчета приняты данные по г. Владивостоку – ближайшему населенному пункту относительно г. Артема, где располагается здание аэропорта.

Установки солнечного горячего водоснабжения должны быть взаимосвязаны с дублирующими тепловыми источниками (котельной, ТЭЦ, электродкотлом и т. п.), используемыми в качестве догревателя воды, предварительно нагретой установкой солнечного горячего водоснабжения. В здании аэропорта предусмотрено три электрических котла производительностью по 30 кВт каждый.

Расчетный период работы системы солнечного горячего водоснабжения – с 8:00 до 17:00, соответственно, расход воды для нагрева солнечными коллекторами учитывается для данного временного интервала, в остальное время нагрев воды для нужд ГВС осуществляется за счет традиционного источника энергии.

³ ГОСТ 3262-75. Трубы стальные водогазопроводные. Технические условия = Water-supply and gas-supply steel pipes. Specifications. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001411> (дата обращения: 15.02.2025).

⁴ ВСН 52-86. Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901708515> (дата обращения: 15.02.2025).

⁵ Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Приморский край. URL: <https://www.vo-da.ru/book/klimat-26> (дата обращения: 15.02.2025).

⁶ СП 131.13330.2020. Строительная климатология = Building climatology. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659358> (дата обращения: 15.02.2025).

Выполнен расчет площади солнцепоглощающей поверхности установок с дублиром для каждого месяца года при разных условиях облачности. Определены площади солнцепоглощающей поверхности и необходимое количество плоских солнечных коллекторов марки SILA JFC-2/2 (производитель – ООО «Технолайн», Российская Федерация) для месяцев с наибольшей суммой солнечной радиации за период работы. При ясном небе минимальная площадь солнцепоглощающей поверхности в апреле – 130 м², что соответствует 71 солнечному коллектору (далее в расчетах увеличим значение до четного числа – 72 шт., что обосновано удобством монтажа и обеспечением гидравлической стабильности в работе солнечной установки). При средних условиях облачности минимальная площадь солнцепоглощающей поверхности в марте – 179 м², что соответствует 98 солнечным коллекторам. Также рассчитано расстояние между рядами солнечных коллекторов для самого неблагоприятного месяца – 4.6 м в декабре.

При ухудшении погодных условий для покрытия среднечасовой потребности в горячей воде площадь солнцепоглощающей поверхности должна быть увеличена в 1.4 раза, или на 27 %.

Установка горячего водоснабжения из 72 солнечных коллекторов (площадь солнцепоглощающей поверхности 131 м²) при ясном небе полностью обеспечивает нагрев воды при среднечасовом расходе в основном с 9:00 до 14:30 (± 30 мин) для каждого месяца, в остальное время требуется догрев воды от электрокотлов (рис. 4).

Установка горячего водоснабжения из 98 солнечных коллекторов (площадь солнцепоглощающей поверхности 179 м²) при средних условиях облачности полностью обеспечивает нагрев воды при среднечасовом расходе в основном с 10:00 до 14:00 в течение всех месяцев кроме летних ввиду большого количества пасмурных дней (рис. 5).

Так как солнечная установка горячего водоснабжения сильно зависит от погодных условий и данный фактор сложно достоверно учесть, то для дальнейшей оценки экономической обоснованности применения такой установки предлагается усреднить значение площади солнцепоглощающей поверхности до 157 м² (86 солнечных коллекторов марки SILA JFC-2/2). Рассчитана вместимость бака-аккумулятора – 7.8 м³, ориентировочно к установке принято 10 баков-аккумуляторов по 800 л марки SILA SST-800-D (производитель – ООО «Технолайн», Российская Федерация). Стоимость одного солнечного коллектора SILA JFC-2/2 – 36 406 руб. (с учетом стоимости доставки). Стоимость одного бака-аккумулятора SILA SST-800-D – 236 544 руб. Цены актуальны для 2024 г.

Показатели доходности инвестиций для выбранных энергосберегающих мероприятий представлены в таблице 3. При расчете эксплуатационных затрат стоимость электроэнергии принималась согласно тарифам на 2024 г.: 1 кВт/ч – 3.7 руб. без НДС (4.44 руб. с НДС).

Вопрос о сокращении выбросов парниковых газов на всех стадиях жизненного цикла зданий имеет международное значение и рассматривается исследователями разных стран [17, 18]. Применение энергосберегающих мероприятий является частью мер по сокращению эмиссии парниковых газов. В ходе исследования был выполнен расчет сокращения выбросов углекислого газа для энергосберегающих мероприятий, в соответствии с приказом Минприроды России от 27 мая 2022 г. № 371⁷.

Коэффициент окисления твердого топлива принимается по умолчанию равным 1.0 при отсутствии фактических данных о потерях тепла вследствие механической неполноты сгорания твердого топлива и о содержании углерода в твердых продуктах сгорания топлива (шлаке и золе).

⁷ Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27 мая 2022 г. № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов». URL: <https://docs.cntd.ru/document/350962750> (дата обращения: 14.02.2025).

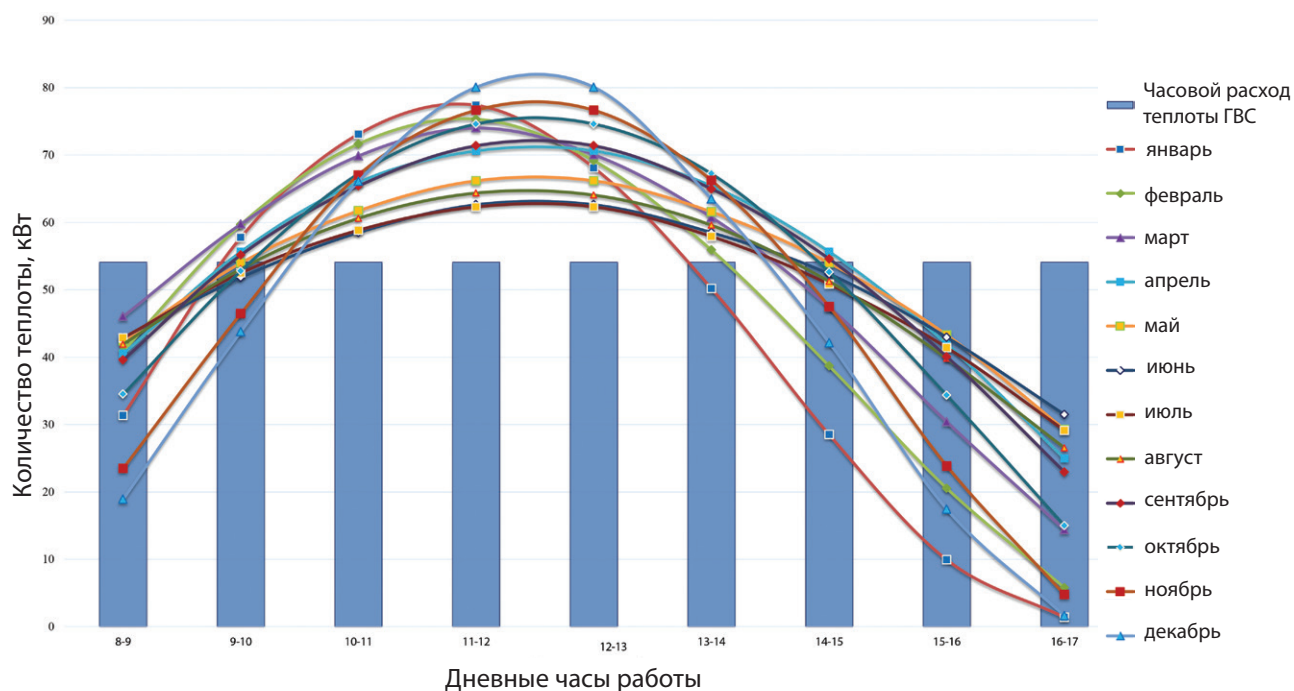


Рис. 4. График почасовой производительности 72 солнечных коллекторов с 8:00 до 17:00 часов при ясном небе (график составлен авторами)

Fig. 4. Hourly performance of 72 solar collectors from 8:00 AM to 5:00 PM under clear sky conditions (graph created by the authors)

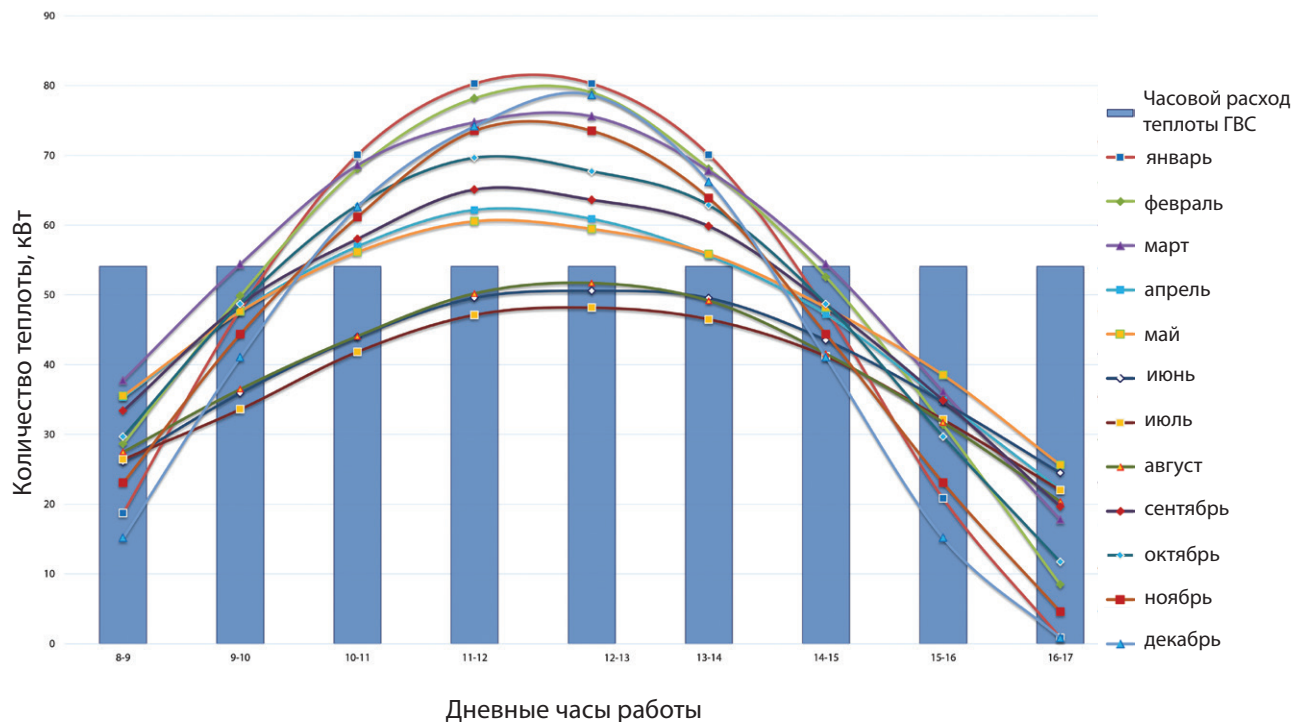


Рис. 5. График почасовой производительности 98 солнечных коллекторов с 8:00 до 17:00 часов при средних условиях облачности (график составлен авторами)

Fig. 5. Hourly performance of 98 solar collectors from 8:00 AM to 5:00 PM under average cloud cover (graph created by the authors)

Таблица 3. Технико-экономические показатели рассматриваемых энергосберегающих мероприятий
Table 3. Technical and economic indicators of the considered energy-saving measures

Наименование показателя	Система утилизации теплоты вытяжного воздуха для нужд ГВС	Солнечная водонагре- вательная установка для нужд ГВС
Капиталовложения, тыс. руб.	6 187	8 332
Гарантийный срок службы основного оборудования, лет	15	
Амортизационные отчисления и затраты на ремонт и обслуживание технических средств, тыс. руб.	328.3	555.5
Затраты на ремонт и обслуживание технических средств, тыс. руб.	147.7	208.3
Затраты на энергоресурсы, тыс. руб.	718.4	1 381.7
Ежегодные эксплуатационные затраты, тыс. руб.	1 194.4	2 145.4
Расчет показателей доходности инвестиций		
Расход тепла на приготовление горячей воды в течение среднего часа водопотребления, кВт	54.08	
Количество тепловой энергии, потребляемой системой горячего водоснабжения за год, кВт·ч/год	473 741	
Затраты на энергоресурсы системой нагрева ГВС электрическими бойлерами, тыс. руб.	2 124.8	
Ежегодный промежуточный доход за счет экономии энергоресурсов, тыс. руб.	909.1	743.11
Простой срок окупаемости, лет	6.81	11.2
Срок окупаемости с учетом дисконтирования, лет	9.83	28.4
Срок окупаемости в условиях наращивания, лет	5.43	8
Норма дисконта (реальная инфляция)	0.08	
Полный дисконтированный доход за срок службы системы, тыс. руб.	7 940.5	6 491.1
Чистый дисконтированный доход за срок службы системы, тыс. руб.	1 753.4	–1 840.9
Полный наращенный доход, тыс. руб.	26 363.3	21 551.2
Индекс доходности с учетом дисконтирования	4.26	0.78
Индекс доходности с учетом наращивания	1.28	2.59

Известно, что источником электрической энергии в г. Артем является Артемовская ТЭЦ. В качестве топлива на ТЭЦ используют бурый уголь.

На официальном сайте АО «Дальневосточная генерирующая компания» размещена информация о том, что удельный расход условного топлива на электроэнергию составляет 442.5 г/кВт·ч.

При эксплуатации системы ГВС с использованием теплового насоса в сравнении с использованием электрических бойлеров для подогрева воды ГВС для расчета выбросов углекислого газа учитывались затраты электроэнергии на работу оборудования: теплового насоса, вентилятора с увеличенной мощностью, насосов циркуляции ГВС. Максимальный расход теплоты на подогрев ГВС составляет 264.6 кВт. Среднечасовая нагрузка на ГВС – 54.08 кВт. Коэффициент теплопроизводительности теплового насоса принят согласно подобранному оборудованию – 3.2. Годовое потребление электроэнергии для работы системы с нагревом тепловым насосом 137 502 кВт, что потребует сжигания 102.07 т бурого угля.

При эксплуатации комбинированной системы горячего водоснабжения, состоящей из солнечных коллекторов и электрических котлов, а также для системы с применением только электрических котлов для подогрева воды на нужды ГВС для расчета выбросов углекислого газа учитывались затраты электроэнергии на работу электрических котлов для двух видов систем: при полной загрузке и при совместной работе с солнечными коллекторами. Максимальный расход теплоты на подогрев

Таблица 4. Результаты расчета выбросов CO₂ от сжигаемого топлива
Table 4. Results of the calculated CO₂ emissions from fuel combustion

Наименование показателя	Вариант с электрическими котлами	Вариант с тепловыми насосами	Вариант с солнечными коллекторами и электрическими котлами
Наименование сжигаемого топлива	Бурый уголь	Бурый уголь	Бурый уголь
Расход топлива j в натуральном выражении за период u , т или тыс. м ³	351.7	102.1	227.2
Низшая теплота сгорания топлива j за период u , МДж/кг, МДж/м ³	18.6	18.6	18.6
Расход топлива j в энергетическом эквиваленте за период u , ТДж	6.5	1.9	4.2
Коэффициенты выбросов:			
т CO ₂ /т.у.т	2.96	2.96	2.96
т CO ₂ /ТДж	101	101	101
Выбросы CO ₂ , т	660.6	191.7	424.2

ГВС составляет 264.6 кВт. Среднечасовая нагрузка на ГВС – 54.08 кВт. Годовой объем электроэнергии, необходимый для работы комбинированной системы, включающей солнечные коллекторы и электрические котлы, составляет 308 077 кВт, что требует сжигания 227.2 т бурого угля. Для работы электрических котлов на нагрев ГВС в течение того же периода потребуется 473 770 кВт электрической энергии (351.7 т бурого угля соответственно) (таблица 4).

4. Заключение / Conclusions

Проанализированы расчетные и фактические расходы воды на горячее водоснабжение аэропорта г. Владивостока. Среднесуточные и среднечасовые расходы воды на ГВС при осреднении данных за 4 месяца имеют незначительные отклонения (до 5 %) от теоретических значений, что подтверждает высокую точность нормативной методики расчета. Однако при осреднении данных за отдельный месяц имеются различия с расчетными значениями расходов величиной до 50 % как в большую, так и в меньшую сторону, что может свидетельствовать о неравномерном потреблении воды пассажирами в разные месяцы. Максимальный часовой расход воды по показаниям тепловычислителя за 4 месяца и среднем пассажиропотоке 258 чел./ч равен 1.06 м³/ч, расчетный расход при этом же пассажиропотоке составляет 1.75 м³/ч, что больше на 39 %. Значительное расхождение между показаниями расхода тепловычислителя и теоретическими вычислениями при одинаковом пассажиропотоке говорит о более равномерном потреблении горячей воды в аэропорту г. Владивостока. При сопоставимом соотношении различных водопотребителей ГВС полученные данные позволяют делать оценку потребления горячей воды на аналогичных объектах строительства.

При расчете технико-экономического обоснования внедрения энергосберегающих мероприятий для системы горячего водоснабжения здания аэровокзала использованы расчетный среднесуточный расход воды 13.92 м³/сут. и расход тепла на приготовление горячей воды в течение среднего часа водопотребления для пассажиропотока 1 360 чел./ч, так как видна тенденция увеличения пассажиропотока.

Обеспечение нужд ГВС с использованием теплового насоса имеет простой срок окупаемости 6.81 лет. Чистый дисконтированный доход за срок службы системы в предположении непрерывного дисконтирования – 7 940.5 тыс. руб., полный наращенный доход – 26 363.3 тыс. руб., индекс доходности с учетом дисконтирования – 4.26. Индекс доходности с учетом наращивания – 1.28.

Солнечная установка горячего водоснабжения из 86 солнечных коллекторов имеет простой срок окупаемости 11.2 лет, чистый дисконтированный доход за срок службы системы в предположе-

нии непрерывного дисконтирования – 6 491.1 тыс. руб., полный наращенный доход – 21 551.2 тыс. руб., индекс доходности с учетом дисконтирования – 0.78. Индекс доходности с учетом наращивания – 2.59. Данное энергосберегающее мероприятие имеет более низкие индексы доходности в сравнении с утилизацией теплоты вентиляционных выбросов, кроме того, чистый дисконтированный доход меньше нуля, соответственно, вложение инвестиций экономически неэффективно.

Применительно к аналогичным объектам применение теплового насоса при утилизации теплоты вытяжного воздуха для нужд ГВС в сравнении с системой солнечного теплоснабжения остается более выгодной технологией даже при равных капиталовложениях, так как системами вентиляции оснащены все здания аэровокзалов, а значит, они обеспечены стабильным источником энергии, который не зависит от погодных условий.

Сокращение выбросов CO₂ за год для ГВС с использованием теплового насоса при проектной нагрузке составляет 468.9 т, или углеродных единиц. Сокращение выбросов CO₂ на 1 кВт требуемой мощности подогревателей ГВС составляет 1.77 т/год. На каждые 100 кВт выработанной теплоты сокращение выбросов CO₂ – 99 кг.

Для системы ГВС с солнечными коллекторами сокращение выбросов CO₂ за год при проектной нагрузке составляет 232.3 т, или углеродных единиц. Сокращение выбросов CO₂ на 1 кВт требуемой мощности подогревателей ГВС составляет 0.88 т/год. На каждые 100 кВт выработанной теплоты сокращение выбросов – 49 кг.

В целом применение солнечных коллекторов или тепловых насосов для подогрева ГВС не позволяет полностью избавиться от выбросов CO₂, но приводит к их снижению и может стать эффективным решением, если необходимо локально снизить нагрузку на окружающую среду.



Вклад авторов. Авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Бутузов В. А. Солнечное теплоснабжение в регионах России. *Энергосбережение*. 2014;(6):76–79. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5914.
2. Бутузов В. А. Солнечное теплоснабжение. Опыт столетнего развития. *Промышленная энергетика*. 2020;(4):52–62. URL: <http://www.promen.energy-journals.ru/index.php/PROMEN/article/view/1391>.
3. Белоглазова Т. Н., Романова Т. Н. Техно-экономическое обоснование установки солнечных коллекторов для индивидуальных домов. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(1):45–57. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-1-45-57>
4. Niekurzak M., Kubińska-Jabcoń E. Analysis of the return on investment in solar collectors on the example of a household: the case of Poland. *Frontiers in Energy Research*. 2021;9:660140. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.660140>
5. Кокорин О. Я. *Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования: научное издание*. Москва: АСВ; 2013.
6. Милованов А. Ю. Утилизаторы теплоты вытяжного воздуха как перспективное энергосберегающее мероприятие. *Энергосбережение*. 2015;(5):14–17. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6181.
7. Tetsuya S., Minoru S. *Cooling, heating, hot-water supplying and ventilating device*. Japan. Patent No. 1999270924. 23 March 1998. URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=JP268119855&_cid=P21-MBGJUU-11535-1.
8. Самарин О. Д., Бызов Н. И. Возможности повышения класса энергосбережения общественных зданий за счет теплоутилизации в системах вентиляции. *Сантехника, отопление, кондиционирование*.

- 2017;(3):72–75. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/vozmozhnosti-povysheniya-klassa-energoberezheniya-obschestvennyh-zdaniy-za-schet-teploutilizatsii-v-sistemah-ventilyacii>.
9. Здитовецкая С. В., Володин В. И. Эффективность теплоутилизационных устройств в системе приточно-вытяжной вентиляции. *Труды БГТУ. № 3. Химия и технология неорганических веществ*. 2010;1(3):210–212. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/38202>.
10. Noble M. *Double-flow ventilation system and method for domestic hot water production and compact heating with built-in heat pump*. European patent office. Patent No. EP2306107A1 22 September 2010. URL: <https://patents.google.com/patent/EP2306107A1/en>.
11. Grosch Meyer P. *Water preheating device for low-energy home, uses heat exchanger receiving heat from exhausted ventilation air and additional heat exchanger that is part of building heating system*. Germany. Patent No. 202006005469. 05 April 2006. URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=DE105131770&_cid=P11-MBGKBN-86978-1.
12. Трухин Е. К., Харченко М. Ф., Тарасова Е. В. *Способ использования теплоты вытяжного вентиляционного воздуха здания для системы горячего водоснабжения и нужд отопления и система для его реализации*. Российская Федерация. Патент № 2761700C1. 27 апреля 2021. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2761700C1_20211213.
13. Штым А. С., Журмилова И. А., Калинин А. О. Особенности проектирования источника систем горячего водоснабжения на основе солнечной энергии. *Новости теплоснабжения*. 2013;(5). URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3106.
14. Богуславский А. Д., Симонова А. А., Митин М. Ф. *Экономика теплогазоснабжения и вентиляции*. 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Стройиздат; 1988.
15. Симонова А. А. *Экономика систем инженерного оборудования*. Москва: Стройиздат; 1990.
16. Бродач М. М., Стронгин А. С., Харитонов Б. П. Выбор и оптимизация систем холодоснабжения зданий. *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2021;(8):46–51. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7983.
17. Крутилова М. О. Направления совершенствования экономических механизмов минимизации выбросов парниковых газов в течение жизненного цикла здания. *Экономика строительства и природопользования*. 2018;(1):63–71. URL: <https://ce-em.cfuv.ru/wp-content/uploads/2024/02/1-66-2018.pdf>.
18. Alaux N., Marton Chr., Steinmann J., Maierhofer D., Mastrucci A., Petrou D. Whole-life greenhouse gas emission reduction and removal strategies for buildings: Impacts and diffusion potentials across EU Member States. *Journal of environmental management*. 2024;(370):122915. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122915>.

References

1. Butuzov V. A. Solar heat supply in Russian regions. *Energoberezhenie*. 2014;(6):76–79. (In Russ.) URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=5914.
2. Butuzov V. A. Solar thermal supply. Experience of a century of development. *Promyshlennaya energetika*. 2020;(4):52–62. (In Russ.) URL: <http://www.promen.energy-journals.ru/index.php/PROMEN/article/view/1391>.
3. Beloglazova T. N., Romanova T. N. Feasibility study of solar collectors installation for private residence. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(1):45–57. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-1-45-57>
4. Niekurzak M., Kubińska-Jabcoń E. Analysis of the Return on Investment in Solar Collectors on the Example of a Household: The Case of Poland. *Frontiers in Energy Research*. 2021;9:660140. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.660140>
5. Kokorin O. Ya. *Energy saving in heating, ventilation, air-conditioning systems: scientific edition*. Moscow: ASV; 2013. (In Russ.)
6. Milovanov A. Yu. Exhaust air heat utilizers as a promising energy saving measure. *Energoberezhenie*. 2015;(5):14–17. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6181.
7. Tetsuya S., Minoru S. *Cooling, heating, hot-water supplying and ventilating device*. Japan. Patent No. 1999270924. 23 March 1998. URL: https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=JP268119855&_cid=P21-MBGJUU-11535-1.
8. Samarin O. D., Byzov N. I. Possibilities of the increase of the energy saving class by heat recovery in ventilating systems. *Plumbing, Heating, Air-conditioning*. 2017;(3):72–75. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/vozmozhnosti-povysheniya-klassa-energoberezheniya-obschestvennyh-zdaniy-za-schet-teploutilizatsii-v-sistemah-ventilyacii>.

9. Zditoveckaya S. V., Volodin V. I. Efficiency of heat recovery devices in supply and exhaust ventilation system. *Proceedings of BSTU. № 3. Chemistry and technology of inorganic substances*. 2010;1(3):210–212. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/38202>.
10. Noble M. *Double-flow ventilation system and method for domestic hot water production and compact heating with built-in heat pump*. European Patent Office. Patent No. EP2306107A1 22 September 2010. URL: <https://patents.google.com/patent/EP2306107A1/en>.
11. Grosch Meyer P. *Water preheating device for low-energy home, uses heat exchanger receiving heat from exhausted ventilation air and additional heat exchanger that is part of building heating system*. Germany. Patent No. 202006005469. 05 April 2006. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=DE105131770&cid=P11-MBGKBN-86978-1>.
12. Trukhin E. K., Kharchenko M. F., Tarasova E. V. *Method for using the heat of the exhaust ventilation air of a building for a hot water supply system and heating needs and a system for its implementation*. Russian Federation. Patent No. 2761700C1. 27 April 2021. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2761700C1_20211213.
13. Shtym A. S., Zhurmilova I. A., Kalinin A. O. Peculiarities of solar hot water supply system source design. *Novosti teplosnabzheniya*. 2013;(5). (In Russ.) URL: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3106.
14. Boguslavskiy A. D., Simonova A. A., Mitin M. F. *Economics of heat and gas supply and ventilation*. 3rd edition. Moscow: Stroyizdat; 1988. (In Russ.)
15. Simonova A. A. *Economics of engineering equipment systems*. Moscow: Stroyizdat; 1990. (In Russ.)
16. Brodach M. M., Strongin A. S., Haritonov B. P. Selection and optimization of building cold supply systems. *AVOK*. 2021;(8):46–51. (In Russ.) URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7983.
17. Krutilova M. O. The nexus of life cycle phases on embodied carbon of buildings: an economic review. *Construction economic and environmental management*. 2018;(1):63–71. URL: <https://ce-em.cfuv.ru/wp-content/uploads/2024/02/1-66-2018.pdf>.
18. Alaux N., Marton Chr., Steinmann J., Maierhofer D., Mastrucci A., Petrou D. Whole-life greenhouse gas emission reduction and removal strategies for buildings: Impacts and diffusion potentials across EU Member States. *Journal of environmental management*. 2024;(370):122915. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122915>



Информация об авторах

Журмилова Ирина Александровна, канд. техн. наук, доцент департамента энергетических систем, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация, zhurmilova.ia@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5970-418X>

Тарасова Елена Владимировна, канд. техн. наук, доцент департамента энергетических систем, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация, tarasova.ev@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0955-536>

Зырянов Евгений Андреевич, аспирант, ассистент департамента энергетических систем, Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация, zyrianov.ea@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9289-1266>

Information about the authors

Irina A. Zhurmilova, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Energy Systems, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, zhurmilova.ia@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5970-418X>

Elena V. Tarasova, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Energy Systems, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, tarasova.ev@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0955-5363>

Evgeny A. Zyryanov, Postgraduate, Assistant in the Department of Energy Systems, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, zyrianov.ea@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9289-1266>

Получена 14 апреля 2025 г., одобрена 29 мая 2025 г., принята к публикации 10 июня 2025 г.
Received 14 April 2025, Approved 29 May 2025, Accepted for publication 10 June 2025



Влияние формы и размеров частиц пластификатора на уменьшение жесткости термопластичных полимеров

Ю. Е. Якубовский, К. В. Кусков ✉, А. А. Хызов

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

✉ kuskovkv@tyuiu.ru



Аннотация. Способы переработки пластика можно разделить на три больших направления: химическая, термическая и механическая переработки. У каждого метода есть свои достоинства и недостатки. Наиболее распространенной является механическая обработка с получением вторичного сырья или композитных материалов. Одной из задач при получении композитных материалов данным способом является восстановление или улучшение их свойств за счет использования модификаторов. Свойства таких добавок зависят от формы и размеров частиц. С помощью энергодисперсионного анализа был определен элементный химический состав пластификатора на основе высокодисперсного гидроксида кальция. Рентгенофазовый анализ на дифрактометре ДРОН-7 позволил идентифицировать химические соединения, входящие в состав добавки. Методом электронной сканирующей микроскопии были определены форма и размеры частиц. Установлено, что наилучший результат, а именно уменьшение жесткости в 4 раза, достигнут при использовании сферических частиц размером 0.5–1 мкм.

Ключевые слова: размер частиц, рентгенофазовый анализ, энергодисперсионный анализ, форма частиц, электронная сканирующая микроскопия

Благодарности. Работа выполнена в рамках гранта «Западно-Сибирский межрегиональный НОЦ мирового уровня» от 27.11.2023 №210 ДОН.

Для цитирования: Якубовский Ю. Е., Кусков К. В., Хызов А. А. Влияние формы и размеров частиц пластификатора на уменьшение жесткости термопластичных полимеров. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(2):77–86. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-77-86> EDN: TKBIFS

Influence of the shape and size of plasticizer particles on the reduction of stiffness in thermoplastic polymers

Yurij E. Yakubovsky, Konstantin V. Kuskov ✉, Anton A. Khyzov

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

✉ kuskovkv@tyuiu.ru



Abstract. Plastic can be recycling in three ways: chemical, thermal, and mechanical. Each method has its advantages and disadvantages. The most prevalent is mechanical processing, resulting in recycled materials or composite materials. A key objective in producing composite materials through this method is to restore or enhance their properties using modifiers. The properties of these additives depend on the shape and size of their particles. Energy-dispersive X-ray spectroscopy was used to determine the elemental chemical composition of a plasticizer based on highly dispersed calcium hydroxide. X-ray diffraction analysis performed on a DRON-7

diffractometer made it possible to identify the chemical compounds within the additive. Scanning electron microscopy was employed to determine the shape and size of the particles. The optimal result, specifically a four-fold reduction in stiffness, was achieved using spherical particles with a size range of 0.5–1 μm .

Keywords: particle size, X-ray diffraction analysis, energy-dispersive X-ray spectroscopy, particle shape, scanning electron microscopy

Acknowledgments. This work was supported by the "West Siberian Interregional Scientific and Educational Center of World Level" grant dated 27.11.2023 No. 210 of the Department of Education and Science.

For citation: Yakubovsky Yu. E., Kuskov K. V., Khyzov A. A. Influence of the shape and size of plasticizer particles on the reduction of stiffness in thermoplastic polymers. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(2):77–86. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-77-86>



1. Введение / Introduction

В настоящее время производство пластика растет во всем мире, большая его часть не перерабатывается и попадает в океан или на свалки¹. Ученые всего мира занимаются этой проблемой и предлагают различные способы переработки пластика. Способы переработки можно условно разделить на три больших направления: химическая, термическая и механическая переработка. Термический способ, при котором переработка происходит при высокой температуре в правильно подобранной среде, например, применяется при производстве реактивного топлива за счет реакции пиролиза [1], производстве дизельного топлива за счет реакции пиролиза пластиковых отходов [2], производстве нанопористых адсорбентов из пластиковых отходов [3], получении пиролизного топлива [4]. Это направление имеет недостатки: в результате реакции в атмосферу могут выделяться вредные примеси; получаемый продукт требует дорогостоящей очистки, имеется сложно контролируемый по составу конечный продукт.

Химический способ переработки направлен на получение из полимерных отходов мономеров [5] или олигомеров [6], которые могут быть вновь использованы в качестве первичного сырья для нефтехимии. Такой подход также имеет существенные недостатки: требуются дорогостоящие катализаторы и высокая селективность при сортировке.

Наиболее распространенным способом является механическая переработка, широкое применение которой обуславливается ее дешевизной и масштабируемостью. Основана такая переработка на измельчении пластиковых отходов, их нагреве до температур плавления и получении гранул для дальнейшего применения, а также на использовании пластиковых отходов в качестве сырья для композитных материалов. Примерами являются переработка стекловолоконных лопастей ветряных турбин, изготовленных из термопластичных полимеров [7], переработка ПЭТ-тары [8], полиэтиленовых изделий [9] и вторичный пенополистирол [10]. К недостаткам данной технологии можно отнести ухудшение механических свойств, а также сложность сохранения этих свойств, ограниченные области повторного применения материалов [11].

Одним из востребованных направлений механической переработки является создание композитных материалов на основе песка, древесины и полимеров [11–14]. Однако при производстве таких изделий возникает острая необходимость корректировки механических свойств или их изменения путем добавления различных модифицирующих присадок [11, 15]. Модифицирующие до-

¹ A whopping 91 percent of plastic isn't recycled. URL: <https://education.nationalgeographic.org/resource/whopping-91-percent-plastic-isnt-recycled/> (дата обращения: 21.01.2025).

бавки могут в значительной степени изменять физико-механические свойства материалов, при этом значительную роль может сыграть не только их количество, но и размеры и форма частиц, входящие в эти добавки [16–18]. Таким образом, одним из важных направлений исследований является установление зависимостей механических и физических свойств композитных материалов от формы, размеров наполнителей и объема модификаторов.

В данной статье рассмотрено влияние размера и формы частиц, входящих в состав модификатора, на снижение жесткости полимерпесчаного композита. В качестве такой добавки использован высокодисперсный гидроксид кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) [19].

2. Материалы и методы / Materials and methods

С целью оценки элементного химического состава применен метод энергодисперсионного анализа на сканирующем электронном микроскопе JSM-6510A (JEOL Ltd., Япония). Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре ДРОН-7 (НПП «Буревестник», Россия) с медной трубкой. Съемка велась на углах 2θ от 20 до 90°. При расшифровке полученных дифрактограмм использовалась база данных PDF-2 (2011). На основе информации о материалах в данной базе были определены формы элементарных ячеек веществ. Форма и размер частиц были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6510A с использованием токопроводящего скотча и при ускоряющем напряжении 20 кВ. Описание формы частиц проводили по ГОСТ 25849-83².

Образцы после получения представляли собой мелкодисперсную суспензию искомого вещества с водой. Для проведения элементного анализа в электронном сканирующем микроскопе образец не должен быть жидким или сыпучим, так как в камере создается вакуум, и несоблюдение требований может привести к поломке устройства. Было решено высушить образцы в воздушной среде при температуре не более 90 °С. Для этого образцы были помещены в электрическую камерную печь на 2 часа. После высушивания образцы представляли собой белый порошок. Необходимо отметить, что после удаления влаги образуются агломераты, которые разрушаются при легком надавливании.

Жесткость полимерпесчаного композита оценивали при испытании изделия «канализационный люк». Испытания проводили при различных нагрузках от 1 000 до 8 000 Н, действующих на центральную часть образца. Измеряемой величиной являлось перемещение центральной части люка. Размеры люка: диаметр – 580 мм; толщина – 25 мм; диаметр области приложения нагрузки – 150 мм.

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Энергодисперсионный анализ проводили на поверхности агломератов и на мелких частицах. В таблице 1 представлены данные элементного состава, полученные в трех точках и приведенные к среднему арифметическому. Видно, что образцы имеют схожий элементный состав, кроме образца № 3. Вероятно, это связано с различными механизмами приготовления образцов.

Образец № 1

Образец № 1 представляет из себя агломераты, которые в свою очередь легко разрушаются при надавливании с образованием более мелких частиц. Размеры наиболее мелких частиц составляют около 11 мкм (рис. 1а). При этом частицы вещества имеют угловатую форму с наличием криволинейных поверхностей.

² ГОСТ 25849-83 Государственный стандарт Союза ССР. Порошки металлические. Метод определения формы частиц = Metal powders. The method of the determination of particle shape. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200011067> (дата обращения: 15.02.2025).

Таблица 1. Усредненные результаты химического состава агломератов
Table 1. Averaged results of the chemical composition of agglomerates

Номер образца	C	O	Si	Ca
1	12.87	53.80	1.75	31.58
2	23.47	51.14	3.32	22.07
3	16.44	56.91	–	26.65
4	34.93	32.99	–	32.08
5	12.5	60.42	–	27.08

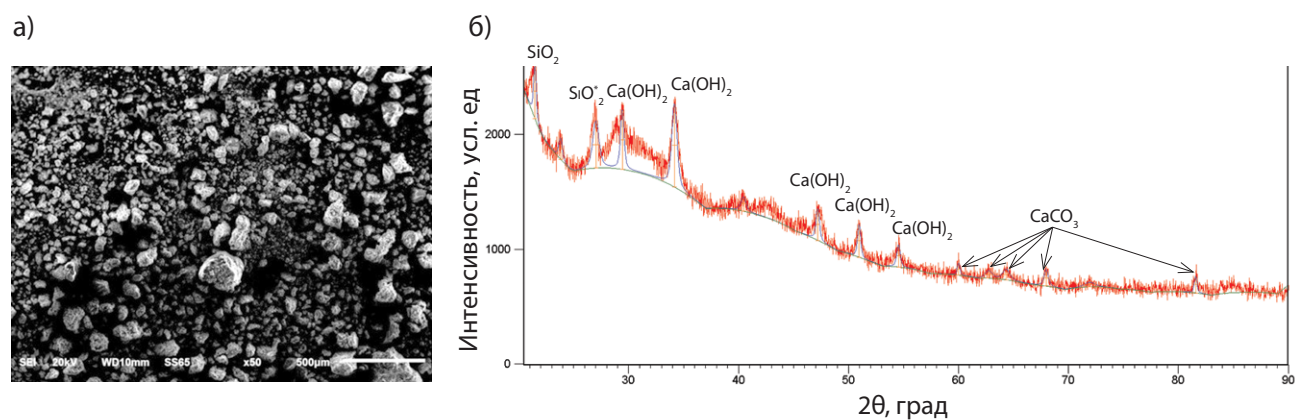


Рис. 1. Образец № 1: а) при увеличении 500 крат; б) дифрактограмма (фото и рисунок авторов)
Fig. 1. Sample No. 1: a) at 500x magnification; b) diffractogram (authors' photo and figure)

Рентгенофазовый анализ приведен на рис. 1б. Видно, что образец состоит из следующих фаз: оксида кремния SiO_2 с кубической решеткой; оксида кремния SiO^*_2 с гексагональной решеткой; гидроксида кальция с гексагональной решеткой; карбоната кальция с ромбоэдрической решеткой.

Образец № 2.

Частицы образца № 2 представлены на рис. 2а. Видно, что преобладают частицы размером около 45 мкм. При этом частицы плохо поддаются измельчению путем надавливания. Форма угловатая с наличием острых углов и граней.

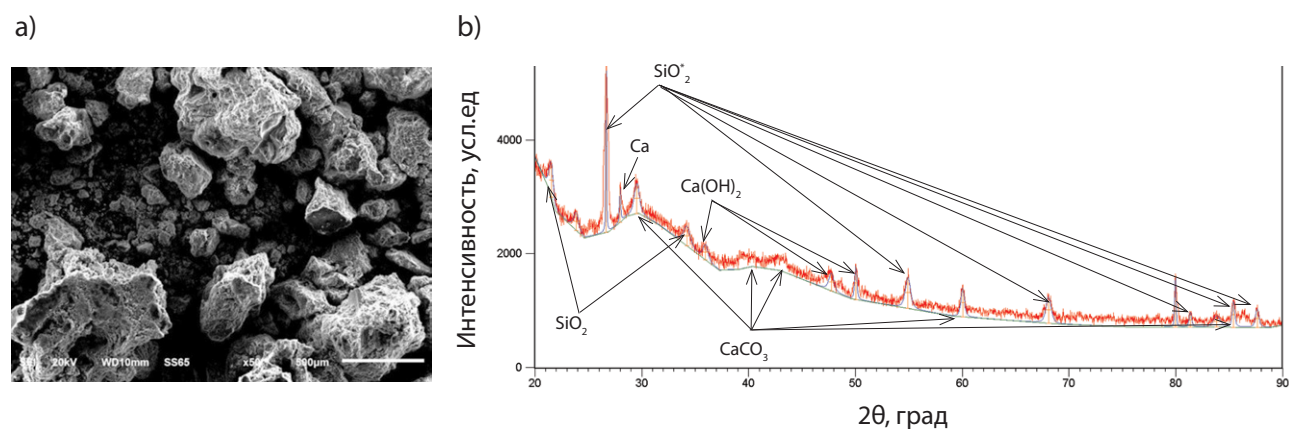


Рис. 2. Образец № 2: а) при увеличении 500 крат; б) дифрактограмма (фото и рисунок авторов)
Fig. 2. Sample No. 2: a) at 500x magnification; b) diffractogram (authors' photo and figure)

Рентгенофазовый анализ образца № 2 приведен на рис. 2b. Образец состоит из следующих фаз: оксид кремния SiO_2^* с гексагональной решеткой; оксид кремния SiO_2 с кубической решеткой; кальций с кубической решеткой; карбонат кальция с ромбоэдрической решеткой; гидроксид кальция с гексагональной решеткой.

Образец № 3

Изображение частиц образца № 3 представлено на рис. 3a. Частицы имеют округлую форму. Присутствуют крупные агломераты, которые при легком надавливании разрушаются с образованием мелких частиц размером 0.5–1 мкм.

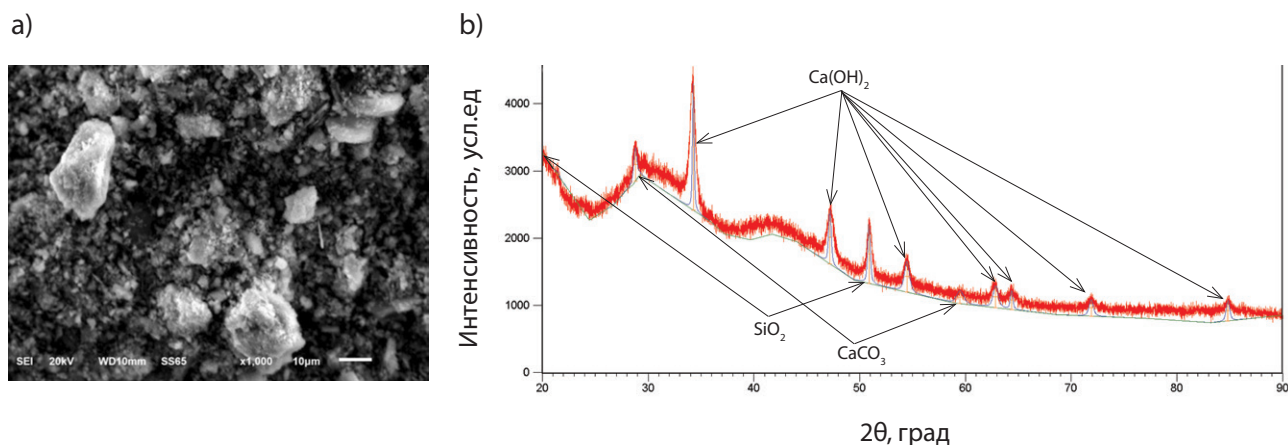


Рис. 3. Образец № 3: a) при увеличении 1000 крат; b) дифрактограмма (фото и рисунок авторов)
Fig. 3. Sample No. 3: a) at 1000x magnification; b) diffractogram (authors' photo and figure)

Рентгенофазовый анализ образца № 3 приведен на рис. 3b. Фазовый состав следующий: оксид кремния SiO_2 с кубической решеткой; карбонат кальция с ромбоэдрической решеткой; гидроксид кальция с гексагональной решеткой.

Образец № 4

Изображение частиц образца № 4 представлено на рис. 4a. Частицы представляют собой чешуйки угловатой формы. Крупные участки – агломераты, которые при легком надавливании разрушаются с образованием мелких частиц размером около 2 мкм.

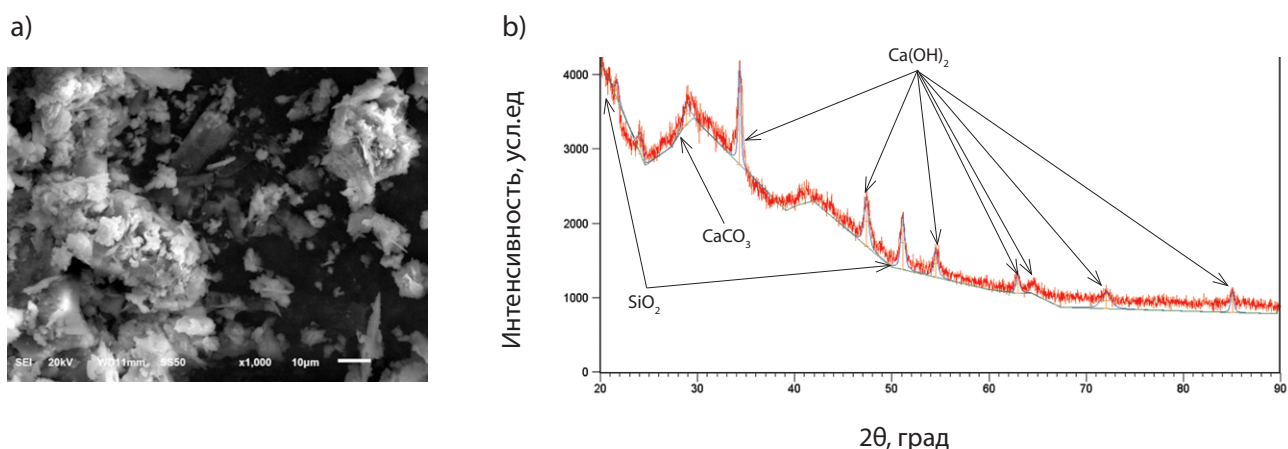


Рис. 4. Образец № 4: a) при увеличении 1000 крат; b) дифрактограмма (фото и рисунок авторов)
Fig. 4. Sample No. 4: a) at 1000x magnification; b) diffractogram (authors' photo and figure)

Рентгенофазовый анализ образца № 4 представлен на рис. 4b. Фазовый состав: SiO_2 с кубической решеткой; карбонат кальция с ромбоэдрической решеткой; гидроксид кальция с гексагональной решеткой. Стоит отметить, что по фазовому составу образец № 4 является наиболее чистым.

Образец 5

Изображение частиц образца № 5 представлено на рис. 5a. Видно, что частички имеют размер около 3 мкм и образуют плотные агломераты, которые с трудом разрушаются с образованием чешуек угловатой формы.

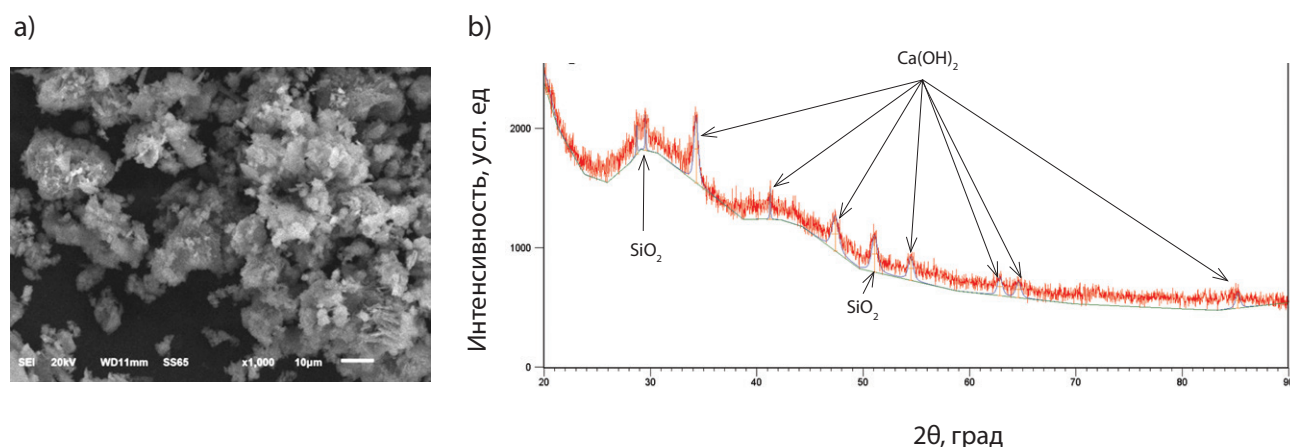


Рис. 5. Образец № 5: а) при увеличении 1000 крат; б) дифрактограмма (фото и рисунок авторов)
Fig. 5. Sample No. 5: a) at 1000x magnification; b) diffractogram (authors' photo and figure)

Рентгенофазовый анализ для образца № 5 представлен на рис. 5b. Фазовый состав: SiO_2 с кубической решеткой; карбонат кальция с ромбоэдрической решеткой; гидроксид кальция с гексагональной решеткой. По фазовому составу образец № 5 схож с образцом № 4, и они являются наиболее чистым по содержанию гидроксида кальция.

Полученные результаты сведены в таблицу 2, из которой видно, что образец № 3 является наиболее мелкодисперсным и его частицы имеют сферическую форму. Данный образец показывает лучшие результаты по уменьшению жесткости полимерпесчаного композита с термопластичными полимерами. Это было доказано в лабораторных условиях и продемонстрировано на изделии «канализационный люк», результаты испытаний представлены на рис. 6. В качестве базового изделия использовался полимерпесчаный композит без добавления пластификатора [20]. Влияние чистоты полученного пластификатора не оценивалось.

Таблица 2. Сравнение частиц, входящих в состав модификатора
Table 2. Comparison of particles composing the modifier

№ образца	Минимальный размер частиц, мкм	Форма частиц	Фазовый состав
1	11	Угловатая	SiO_2^* ; SiO_2 ; CaCO_3 ; Ca(OH)_2
2	45	Угловатая с наличием острых углов и граней	SiO_2^* ; SiO_2 ; CaCO_3 ; Ca(OH)_2 ; Ca
3	0.5–1	Округлая	SiO_2 ; CaCO_3 ; Ca(OH)_2
4	2	Чешуйчатая выраженная угловатость	SiO_2 ; CaCO_3 ; Ca(OH)_2
5	3	Чешуйчатая угловатость невыраженная	SiO_2 ; CaCO_3 ; Ca(OH)_2

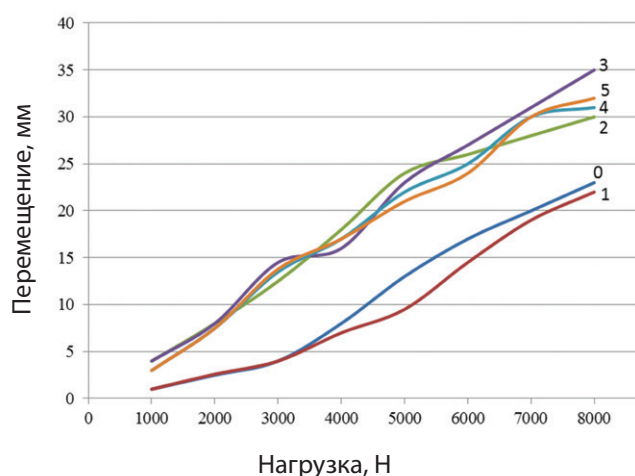


Рис. 6. Зависимость перемещения от приложенной нагрузки: 0 – без добавления пластификатора; 1 – образец № 1; 2 – образец № 2; 3 – образец № 3; 4 – образец № 4; 5 – образец № 5 (получена авторами)
Fig. 6. Dependence of displacement on applied load: 0 – without plasticizer addition; 1 – sample No. 1; 2 – sample No. 2; 3 – sample No. 3; 4 – sample No. 4; 5 – sample No. 5 (obtained by the authors)

4. Заключение / Conclusions

В результате исследования установлено, что при одинаковом химическом составе пластификатора дополнительную роль играет форма и размер частиц. В результате испытания пяти образцов только пластификатор с фазовым составом SiO_2 (кубическая решетка), CaCO_3 (ромбоэдрическая решетка) и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (гексагональная решетка) и частицами сферической формы размером 0.5–1 мкм позволил снизить жесткость полимерпесчаного композита в 4 раза на линейном участке деформации и до 34 % на нелинейном участке. Вероятно, это связано с тем, что сферические частицы модификатора не имеют острых граней и при воздействии внешних разрушающих сил создают меньшие внутренние напряжения.

Планируется использование полученного пластификатора на основе $\text{Ca}(\text{OH})_2$ для изготовления длинномерных изделий из полимернопесчаной смеси методом экструзии. Это позволит расширить ассортимент и увеличить количество выпускаемой продукции, тем самым вовлечь дополнительные объемы пластиковых отходов.

■ **Вклад авторов.** Якубовский Ю. Е.: разработка концепции исследования, изготовление модифицирующих добавок; подготовка статьи и научное редактирование. Кусков К. В.: проведение рентгенофазового исследования, описание полученных результатов; подготовка статьи и научное редактирование. Хызов А. А.: подготовка образцов для исследования, проведение исследований на электронном микроскопе, описание полученных результатов.

Author contributions. Yurij E. Yakubovsky: development of a research concept, production of modifying additives; article preparation and scientific edition. Konstantin V. Kuskov: performing X-ray diffraction analysis, describing the obtained results; article preparation and scientific edition. Anton A. Khyzov: preparing samples for analysis, performing scanning electron microscopy, and describing the obtained results.

Конфликт интересов. Авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Zhang, Y., Duan D., Lei H., Villota E., Ruan R. Jet fuel production from waste plastics via catalytic pyrolysis with activated carbons. *Applied Energy*. 2019;251:113337. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113337>
2. Mangesh V. L., Padmanabhan S., Tamizhdurai P., Ramesh A. Experimental investigation to identify the type of waste plastic pyrolysis oil suitable for conversion to diesel engine fuel. *Journal of Cleaner Production*. 2019;246:119066. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119066>
3. Balpreet Kaur, Raj Kumar Gupta, Haripada Bhunia. Chemically activated nanoporous carbon adsorbents from waste plastic for CO₂ capture: Breakthrough adsorption study. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2019;282:146–158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.03.025>
4. Патрушева Т. Н., Петров С. К., Матвеев П. В., Борцова С. С. Пиролиз как перспективное направление переработки пластиковых отходов для получения энергии. *Химическая технология*. 2021;22(8):355–359. <https://doi.org/10.31044/1684-5811-2021-22-8-355-359>
5. Coates G. W., Getzler Y. D. Y. L. Chemical recycling to monomer for an ideal, circular polymer economy. *Nature Reviews Materials*. 2020;5(7):501–516. <https://doi.org/10.1038/s41578-020-0190-4>
6. Awang N. W. B., Hadiyono M. A. B. R., Abdellatif M. M., Nomura K. Depolymerization of PET with ethanol by homogeneous iron catalysts applied for exclusive chemical recycling of cloth waste. *Industrial Chemistry & Materials*. 2025;(3):49–56. <https://doi.org/10.1039/d4im00081a>
7. Cousins D. S., Suzuki Ya., Murray R. E., Samaniuk J. R., Stebner A. Recycling glass fiber thermoplastic composites from wind turbine blades. *Journal of Cleaner Production*. 2019;209:1252–1263. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.286>
8. Вершков А. В., Донская М. А. Переработка пластиковых отходов в условиях Красноярского края. *Отходы и ресурсы*. 2023;10(1). <https://doi.org/10.15862/31INOR123>
9. Синичук А. Е., Родина Т. А. Использование вторичных гранул полиэтилена в производстве полимерных изделий. *Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки*. 2021;(93):104–107. <https://doi.org/10.22250/jasu.93.23>
10. Куликов В. Ю., Исагулов А. З., Щербакова Е. П., Ковалева Т. В. Исследование свойств полистирола с добавлением вторичных гранул строительного полистирола. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*. 2017;15(4):40–46. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-4-40-46>
11. Чирков Д. Д., Кулаженко Ю. М., Биктимирова О. Е., Шкуро А. Е., Глухих В. В. Физико-механические свойства полимерных композитов с полимерной фазой поливинилхлорида и отходами производства линолеума. *Вестник Технологического университета*. 2023;26(10):69–74. https://doi.org/10.55421/1998-7072_2023_26_10_69
12. Стородубцева Т. Н., Аксомитный А. А., Кузнецов Д. С. Исследование теплофизических свойств древесно-полимер-песчаного композиционного материала. *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2018;6(7):142–145. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36745462>.
13. Профатило И. В. К вопросу использования отходов полимеров при создании полимерпесчаных композиций. *Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника*. 2019;9(1):126–134. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37082082>.
14. Крамаренко А. В., Мавлютов А. Н. Совершенствование состава полимер-песчаной черепицы. *Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник)*. 2018;(1):230–232. URL: <https://id-yug.com/index.php/ru/ntt/archiv/2018/1-2018?id=1036>.
15. Валеева А. Р., Алексеева А. Д., Саерова К. В. Изучение влияния фурфуролового спирта на твердость древесно-полимерного композита. *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2024;(65):191–192. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67316890>.
16. Зимаклова Г. А., Каспер Е. А., Бочкарева О. С. Механические свойства цементных композитов, армированных керамическим волокном. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):44–54. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-44-54>
17. Куюков С. А., Третьяков П. Ю., Тестешев А. А., Замятин А. В., Жигайлов А. А. Электропроводящий нагреваемый цементобетон на основе графита. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):77–87. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-77-87>
18. Хантимиров А. Г., Абдрахманова Л. А., Низамов Р. К., Хозин В. Г. Древесно-полимерные композиты на основе поливинилхлорида, усиленные базальтовой фиброй. *Известия Казанского государственного архи-*

19. *тектурно-строительного университета*. 2022;(3):75–81. https://doi.org/10.52409/20731523_2022_3_75
20. Yakubovskiy Yu. E., Khairullina L. B., Dubrovskiy E. G. Решение вопросов экологической безопасности посредством переработки вторичных термопластов. *Экология и промышленность России*. 2024;28(12):4–7. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-12-4-7>
20. Jakubovski Yu. E., Dubrovsky E. G., Khairullina L. B., Aleksandrov S. V. Composite building materials based on recycled thermoplastic polymers. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2024;113:11311. URL: <https://unistroy.spbstu.ru/article/2024.114.11/>

References

1. Zhang, Y., Duan D., Lei H., Villota E., Ruan R. Jet fuel production from waste plastics via catalytic pyrolysis with activated carbons. *Applied Energy*. 2019;251:113337. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113337>
2. Mangesh V. L., Padmanabhan S., Tamizhdurai P., Ramesh A. Experimental investigation to identify the type of waste plastic pyrolysis oil suitable for conversion to diesel engine fuel. *Journal of Cleaner Production*. 2019;246:119066. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119066>
3. Balpreet Kaur, Raj Kumar Gupta, Haripada Bhunia. Chemically activated nanoporous carbon adsorbents from waste plastic for CO₂ capture: Breakthrough adsorption study. *Microporous and Mesoporous Materials*. 2019;282:146–158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.micromeso.2019.03.025>
4. Patrusheva T. N., Petrov S. K., Matveev P. V., Bortsova S. S. Pyrolysis as advanced processing direction of plastic waste for power generation. *Chemical Technology*. 2021;22(8):355–359. (In Russ.) <https://doi.org/10.31044/1684-5811-2021-22-8-355-359>
5. Coates G. W., Getzler Y. D. Y. L. Chemical recycling to monomer for an ideal, circular polymer economy. *Nature Reviews Materials*. 2020;5(7):501–516. <https://doi.org/10.1038/s41578-020-0190-4>
6. Awang N. W. B., Hadiyono M. A. B. R., Abdellatif M. M., Nomura K. Depolymerization of PET with ethanol by homogeneous iron catalysts applied for exclusive chemical recycling of cloth waste. *Industrial Chemistry & Materials*. 2025;(3):49–56. <https://doi.org/10.1039/d4im00081a>
7. Cousins D. S., Suzuki Ya., Murray R. E., Samaniuk J. R., Stebner A. Recycling glass fiber thermoplastic composites from wind turbine blades. *Journal of Cleaner Production*. 2019;209:1252–1263. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.28>
8. Vershkov A. V., Donskaya M. A. Recycling of plastic waste in the conditions of the krasnoyarsk territory. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*. 2023;(10)1. (In Russ.) <https://doi.org/10.15862/311NOR123>
9. Sinichuk A. E., Rodina T. A. Use of secondary polyethylene granules in the production of polymeric products. *Vestnik Amurskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i ekonomicheskie nauki*. 2021;(93):104–107. (In Russ.) <https://doi.org/10.22250/jasu.93.23>
10. Kulikov V. Yu., Issagulov A. Z., Shcherbakova E. P., Kovaljva T. V. Study of the properties of polystyrene containing secondary granules of expanded polystyrene. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2017;15(4):40–46. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2017-15-4-40-46>
11. Chirkov D. D., Kulazhenko Yu. M., Biktimirova O. E., Shkuro A. E., Glukhikh V. V. Physical and mechanical properties of polymeric composites with a polyvinyl chloride polymeric phase and linoleum production waste. *Herald of Technological University*. 2023;26(10):69–74. (In Russ.) https://doi.org/10.55421/1998-7072_2023_26_10_69
12. Storodubtseva T. N., Aksomitny A. A., Kuznetsov D. S. Study of the thermophysical properties of wood polymer sandy composition material. *Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*. 2018;6(7):142–145. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36745462>
13. Profatilo I. V. To the question on the use of polymer wastes in creating polymer sanding compositions. *Vesnik of Yanka Kupala State University of Grodno. Series 6. Engineering Science*. 2019;9(1):126–134. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37082082>
14. Kramarenko A. V., Mavlyutov A. N. Improvement of structure of polymer-peschanoy of the tile. *Science. Engineering. Technology (polytechnical bulletin)*. 2018;(1):230–232. (In Russ.) URL: <https://id-yug.com/index.php/ru/ntt/archiv/2018/1-2018?id=1036>
15. Valeeva A. R., Alekseeva A. D., Saerova K. V. Study of the effect of furfuryl alcohol on the hardness of a wood-polymer composite. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*. 2024;(65):191–192. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67316890>
16. Zimakova G. A., Kasper E. A., Bochkareva O. S. Mechanical properties of cement composites reinforced with ceramic fiber. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4): 44–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-44-54>

17. Kuyukov S. A., Tretyakov P. U., Testeshev A. A., Zamyatin A. V., Zhigailov A. A. Electrically conductive cement concrete using graphite. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4):77–87. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-77-87>
18. Khantimirov A. G., Abdrakhmanova L. A., Nizamov R. K., Khozin V. G. Wood-polymer composites based on polyvinyl chloride reinforced with basalt fiber. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. (In Russ.) 2022;(3):75–81. https://doi.org/10.52409/20731523_2022_3_75
19. Yakubovsky Yu. E., Khairullina L. B., Dubrovsky E. G. Addressing environmental safety issues through recycling of secondary thermoplastics. *Ecology and Industry of Russia*. 2024;28(12):4–7. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2024-12-4-7>
20. Jakubovski Yu. E., Dubrovsky E. G., Khairullina L. B., Aleksandrov S. V. Composite building materials based on recycled thermoplastic polymers. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2024;113:11311. URL: <https://unistroy.spbstu.ru/article/2024.114.11/>



Информация об авторах

Якубовский Юрий Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры прикладной механики, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, jakubovskijje@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6838-0631>

Кусков Константин Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, kuskovkv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0698-8545>

Хызов Антон Александрович, старший преподаватель кафедры материаловедения и технологии конструкционных материалов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, hyzovaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2869-0128>

Information about the authors

Yurij E. Yakubovsky, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor in the Department of Applied Mechanics, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, jakubovskijje@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6838-0631>

Konstantin V. Kuskov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Materials Science and Technology of Structural Materials, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, kuskovkv@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0698-8545>

Anton A. Khyzov, Senior Lecturer in the Department of Materials Science and Technology of Structural Materials, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, hyzovaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0000-2869-0128>

Получена 10 февраля 2025 г., одобрена 01 апреля 2025 г., принята к публикации 15 апреля 2025 г.
Received 10 February 2025, Approved 01 April 2025, Accepted for publication 15 April 2025

Научная статья / Original research article
УДК 624.21:620.22
DOI: <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-87-98>
EDN: <https://elibrary.ru/ypnqzp>

2.1.8 Проектирование и строительство дорог,
метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных
тоннелей (технические науки)



Механические характеристики композиционного материала, изготовленного методом намотки

С. В. Пиняжин ✉

Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191,
Новосибирск, 630049, Российская Федерация

✉ s.v.pinyazhin@mail.ru



Аннотация. Исследование направлено на решение проблемы повышения долговечности и снижения затрат в мостостроении за счет применения стеклопластиковых труб, изготовленных методом непрерывной намотки. Несмотря на успешное использование полимерных композитов за рубежом, их применение в России ограничено из-за отсутствия нормативной базы и недостаточной изученности механических свойств. Посредством экспериментальных испытаний образцов, вырезанных из стеклопластиковых труб, на растяжение с использованием тензорезисторов и универсальной испытательной машины были получены ключевые характеристики: предел прочности (в среднем 200 МПа), модуль упругости (29.5–37.9 ГПа) и коэффициент Пуассона (0.21–0.27). Установлено, что свойства материала сопоставимы с бетоном и сталью, что подтверждает его пригодность для гибридных конструкций пролетных строений мостов. Выявлены особенности деформационного поведения, включая трещинообразование и изменение модуля упругости, при повторных нагружениях. Результаты исследования могут быть использованы для разработки нормативной базы и проектирования долговечных мостовых конструкций, что открывает перспективы для расширения применения композитов в строительстве.

Ключевые слова: мостовое сооружение, полимерные композиционные материалы, метод непрерывной намотки, стеклопластиковые трубы, механические характеристики композиционного материала

Благодарности. Автор выражает благодарность ООО «Электромаш» (г. Бийск, Российская Федерация) за предоставление материалов и образцов для проведения экспериментальных исследований.

Для цитирования: Пиняжин С. В. Механические характеристики композиционного материала, изготовленного методом намотки. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(2):87–98. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-87-98> EDN: YPNQZP

Mechanical characteristics of composite material manufactured by winding process

Sergey V. Pinyazhin ✉

Siberian Transport University, 191 Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russian Federation

✉ s.v.pinyazhin@mail.ru



Abstract. The study is aimed to increase durability and reduce costs in bridge construction through the use of fiberglass pipes manufactured by the filament winding process. Despite the successful use of fiber reinforced polymers (FRP) abroad, their application in Russia is limited due to the lack of regulatory framework and insufficient study of their mechanical properties. Through experimental tensile testing of fiberglass pipe specimens using strain gauges and a universal testing machine, key characteristics were obtained: tensile

strength (200 MPa on average), elastic modulus (29.5–37.9 GPa), and Poisson's ratio (0.21–0.27). The material properties were found to be comparable to concrete and steel, which confirms its suitability for hybrid bridge superstructures. The peculiarities of the deformation behavior, including cracking and changes in the elastic modulus under repeated loading were revealed. The results of the study can be used to develop a regulatory framework and to design durable bridge structures, opening up perspectives for the expansion of composite applications in construction.

Keywords: bridge structure, fiber reinforced polymers, filament winding, fiberglass pipes, mechanical characteristics of composite material

Acknowledgements. The author expresses his gratitude to LLC "Electromash" (Biysk, Russian Federation) for providing materials and samples for experimental studies.

For citation: Pinyazhin S. V. Mechanical characteristics of composite material manufactured by winding process. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(2):87–98. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-87-98>



1. Введение / Introduction

Современные тенденции развития мостостроения требуют обеспечения надежности, безопасности, грузоподъемности и долговечности сооружений. Конструкции из традиционных материалов (железобетона, стали, бетона) отвечают требованиям надежности и безопасности, но по-прежнему проблемным остается вопрос обеспечения их долговечности. Увеличение сроков службы конструкций может быть достигнуто за счет применения полимерных композиционных материалов (ПКМ), которые устойчивы к воздействиям различных агрессивных сред [1].

Наиболее широко при строительстве мостовых сооружений среди композиционных материалов используются пултрузионные стеклопластиковые профили и элементы, изготовленные методом вакуумной инфузии. Пултрузия очень эффективна в случае применения большого количества однотипных элементов из набора стандартных профилей, но данная технология не позволяет изготавливать профили больших размеров с переменным по длине поперечным сечением [2]. Изготовление изделий методом вакуумной инфузии является очень трудоемким и требует длительной подготовки [3]. Альтернативой вышеперечисленным методам производства элементов конструкций из полимерных композитов может стать намотка, которая эффективно реализуется при изготовлении труб.

Метод непрерывной намотки является весьма перспективным методом изготовления изделий, форма которых определяется вращением произвольных образующих. Существенным преимуществом данного метода в сравнении с вышеупомянутыми считается возможность свободной ориентации армирующих волокон на любом участке изделия. Такая мобильность обеспечивается за счет шести степеней свободы станка для намотки, среди которых: вращение оправки, поперечная раскладка, движение горизонтальной и вертикальной каретки и угол поворота проушины относительно двух осей. Зарубежный опыт применения данной технологии показывает, что намотка является универсальным методом для производства конструкций не только с выпуклой, но и с вогнутой геометрией [4].

На сегодняшний день отечественный опыт применения стеклопластика в качестве несущих элементов мостов очень ограничен. Большая часть разработок в области использования ПКМ касается пешеходных мостов. Известны лишь единичные случаи применения композитов в качестве несущих элементов автодорожных и железнодорожных мостов в России [5–7], и ведутся исследования по расширению области их применения [8–10]. При этом общая мировая тенденция применения пултрузионных профилей и объемных элементов, изготовленных методом вакуумной инфузии, поддерживается и в нашей стране. Композитные трубы хорошо себя зарекомендовали в системе трубо-

проводов. Они эффективно применяются для транспортировки широкого спектра текучих веществ от воды до нефти [11] и эксплуатируются в разнообразных условиях: переменная влажность, высокие температуры, морская вода и т. п. При этом их не принято рассматривать в качестве элементов несущих конструкций. Отечественный опыт показывает, что в определенных случаях трубы могут составить конкуренцию профилям в виде двутавров, швеллеров и уголков, используемым в мостостроении более широко [12]. За рубежом помимо металлических труб в мостостроении находят применение и композитные [13].

Использование труб в качестве несущих элементов конструкций позволит повысить конкурентоспособность материалов в этой области, что положительно отразится на увеличении объемов применения композитов и снижении стоимости материалов и конструкций в целом.

Специалисты СибНИИ мостов Сибирского государственного университета путей сообщения ведут разработки нового пролетного строения с применением трубчатых стеклопластиковых секций. Выбор труб, изготовленных методом намотки, обусловлен высокими механическими характеристиками материала. Применение сборных трубчатых секций, в свою очередь, способствует значительному сокращению сроков монтажа конструкций. Таким образом, конечным продуктом должно стать быстровозводимое и долговечное пролетное строение, ресурсы на эксплуатацию которого будут значительно сокращены.

В качестве конструктивного решения для пролетного строения моста предложена балочная разрезная система со стеклопластиковыми несущими элементами и железобетонной плитой проезжей части, представленная на рис. 1. Конструкция пролетного строения по своей сути схожа с первым в России автодорожным мостом из полимерных композитов, построенным в 2014 г. в Новосибирской области на р. Пашенке [14]. Отличительной особенностью новой конструкции являются стеклопластиковые трубы, которые выполняют те же функции, что и стеклопластиковые решетчатые фермы пролетного строения успешно эксплуатирующегося отечественного моста. Включение железобетонной плиты проезжей части в совместную работу с балками осуществляется посредством гибких стержневых упоров для обеспечения упругого взаимодействия элементов.

Использование стеклопластиковых труб в несущих конструкциях мостовых сооружений в качестве балок пролетных строений или столбов опор возможно только при наличии соответствующих нормативных документов, в которых будут отражены основные требования, предъявляемые к подобного типа конструкциям и механическим характеристикам композиционного материала. На данный момент ни в нормативной, ни в справочной литературе нет исчерпывающих данных о механических характеристиках стеклопластика, изготавливаемого методом намотки. Нормативная база

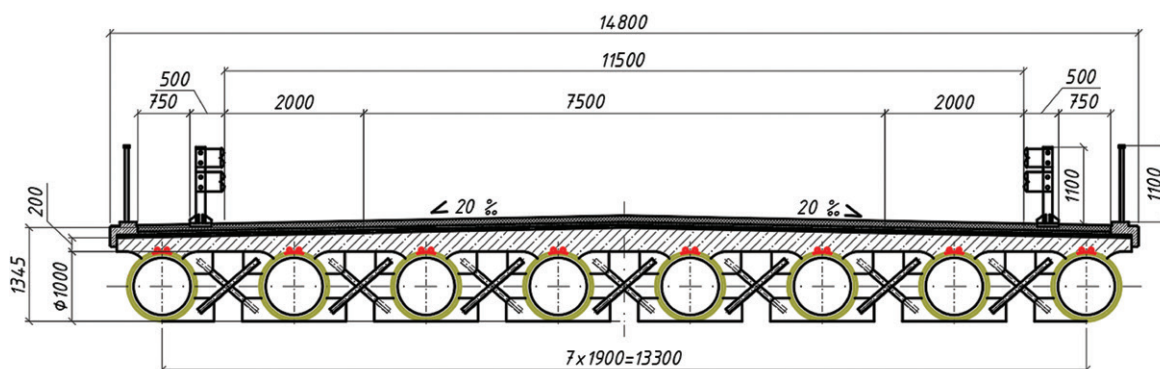


Рис. 1. Принципиальное конструктивное решение пролетного строения с балками из стеклопластиковых труб (рисунок автора)

Fig. 1. Principal structural solution for a span with beams made of fiberglass pipes (author's figure)

ориентирована на регламентирование механических характеристик труб применительно к их использованию в качестве элементов трубопроводов. Поэтому требования к таким важным характеристикам, как модуль упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига и т. п., необходимых для выполнения прочностных расчетов конструкций, в нормативных документах отсутствуют.

Значения этих характеристик зависят от ряда факторов: объемной доли волокон, типа волокон и матрицы, угла укладки волокон и т. п. [15]. К тому же данный материал анизотропен, и это следует учитывать при выполнении расчетов. Но для обоснования возможности и целесообразности использования композитных труб в качестве несущих элементов мостовых конструкций требуется провести большой объем экспериментальных работ по установлению значений необходимых механических характеристик.

Сотрудниками СибНИИ мостов Сибирского государственного университета путей сообщения совместно с ООО «Электромаш» была составлена программа экспериментальных исследований стеклопластиковых образцов, вырезанных из трубы диаметром 1 м, изготовленной методом намотки с дополнительным поперечным обвитием основных армирующих волокон. Целью испытаний являлось установление фактических значений нормальных растягивающих напряжений при разрыве, а также модуля упругости и коэффициента Пуассона при осевом растяжении.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Достижение поставленной цели возможно только при обеспечении надежного измерения деформаций материала в процессе нагружения. При статических испытаниях образцов деформации могут быть зафиксированы по величине перемещения захватов испытательной машины и по данным измерительных приборов, устанавливаемых на материал образца непосредственно в рабочей его части.

Для испытаний была использована универсальная испытательная машина Time WDW300E (TIME Group Inc., Китай), которая осуществляет приложение нагрузки с заданной скоростью и непрерывно фиксирует перемещение захватов. Так как захваты обжимают материал образца, наряду с упругими деформациями имеют место и необратимые деформации – пластическое смятие и проскальзывание. Это хорошо видно на графике, на котором по оси абсцисс отложены перемещения захватов, по оси ординат – нагрузка (рис. 2). Пластические деформации в зоне захватов явно выделяются в нижней половине графика, но утверждать, что они отсутствуют во второй половине, оснований нет. При этом количественно выделить пластические деформации и соотнести их с упругими по данным только перемещений захватов не представляется возможным. Поэтому корректно определить деформативные характеристики материала только по перемещениям захватов невозможно. Фиксацию деформаций следует осуществлять исключительно на рабочем участке образцов с использованием специальных измерительных приборов.

В качестве измерительных приборов были рассмотрены:

- деформометры с электронными индикаторами с рабочей базой 60 мм;
- съемные электронные тензодатчики с рабочей базой 60 мм;
- наклеиваемые тензорезисторы.

Главной отличительной особенностью тензорезисторов является их малая база (5 мм),

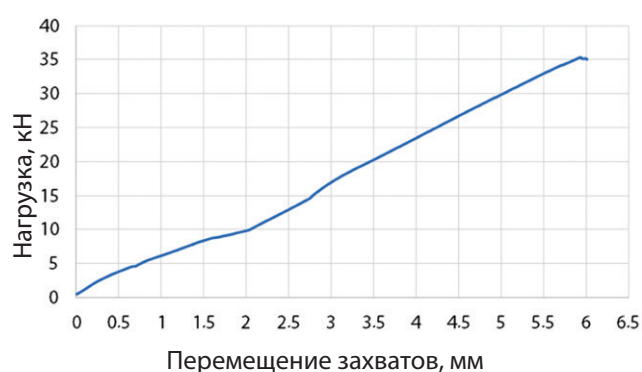


Рис. 2. Диаграмма растяжения контрольного образца (график составлен автором)

Fig. 2. Tensile diagram of the control sample (diagram created by the author)

что позволяет наряду с продольными деформациями фиксировать и поперечные деформации материала. Сбор данных со всех датчиков производился с помощью измерительной системы «Тензор-МС» (СГУПС, Российская Федерация) [16] с частотой 5 Гц. Пример образца с установленными датчиками показан на рис. 3.

Измерение деформаций с помощью деформометров показало, что эти приборы имеют определенные недостатки. Во-первых, деформометры следует прикреплять к образцам посредством клея, чтобы не оказывать механического воздействия на исследуемый материал в рабочей зоне. Во-вторых, жесткость стандартной штанги при базе 60 мм оказывает влияние на показания приборов. Кроме того, необходимо точно позиционировать места закрепления приборов на образце относительно друг друга для минимизации вероятности возникновения изгиба штанги. В-третьих, округлая форма поверхностей образцов, вырезанных из трубы, оказывает влияние на точность размещения деформометров на этих гранях и, как следствие, на результаты измерений.

Использование съемных электронных тензодатчиков, с помощью которых проводили измерения деформаций, также выявило некоторые недостатки. Во-первых, присоединение тензодатчика к исследуемому элементу осуществляется только посредством магнитного взаимодействия, чтобы можно было их применять повторно. Это требует наклейки металлических пластин в рабочей части, что имеет свои недостатки, присущие закреплению деформометров. Во-вторых, не обеспечивается достаточная сила прижатия тензодатчиков к образцам в процессе нагружения, что приводит к их проскальзыванию в момент образования трещин в матрице.

Наклеиваемые тензорезисторы гибкие и имеют базу лишь 5 мм, поэтому обозначенных выше недостатков деформометров и съемных тензодатчиков в ключе решения данной задачи у них нет. К тому же они позволяют наряду с продольными деформациями измерять и поперечные деформации материала. Поэтому по результатам контрольных нагружений образцов наклеиваемые тензорезисторы показали наиболее приемлемые результаты и были приняты для контроля деформаций в рабочей зоне образцов.

a)



b)



Рис. 3. Образец: а) до испытаний; б) после испытаний (фото автора)
Fig. 3. Sample: a) before testing; b) after testing (author's photo)

Измерения посредством наклеиваемых тензорезисторов, реализуемые в измерительном комплексе «Тензор МС», заключаются в следующем. Электрическое сопротивление тензорезисторов, изменяющееся под действием механических деформаций, усиливается и пьезоэлектрическими аналогово-цифровыми преобразователями (АЦП) переводится в цифровой сигнал, который передается в блок сбора данных. По беспроводной связи данные из блока могут в режиме реального времени передаваться на смартфон и воспроизводиться в виде графиков с заданной частотой дискретизации.

При проведении измерений тензорезисторы неизбежно нагреваются на поверхности образца при прохождении электрического сигнала, подаваемого источником питания, вследствие чего появляется систематическая температурная погрешность. Для устранения данной погрешности предусмотрен компенсационный образец, на котором устроен мост Уитстона из тензорезисторов, аналогичных тем, которые устанавливаются на образцы во время испытаний. Принципиальная схема моста Уитстона и компенсационный образец проиллюстрированы на рис. 4.

В качестве базового нормативного документа для проведения испытаний образцов на растяжение был принят ГОСТ Р 54924-2017¹, в соответствии с которым нагружение назначено по схеме «А». Геометрические параметры образца представлены на рис. 5.

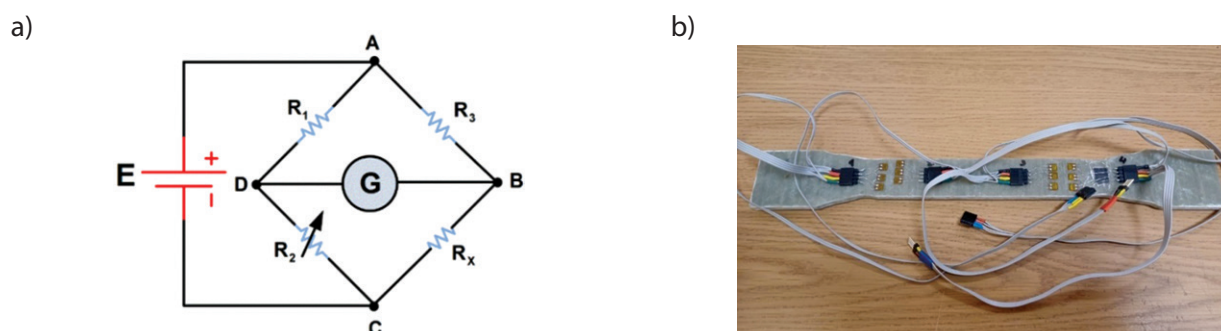


Рис. 4. Мост Уитстона с тензорезисторами для измерительной системы «Тензор МС»: а) принципиальная схема моста Уитстона (схема с сайта²); б) компенсационный образец (фото автора)

Fig. 4. Wheatstone bridge with strain gauges for the "Tensor MS" measuring system: a) schematic diagram of the Wheatstone bridge (scheme from the site²); b) compensation sample (author's photo).

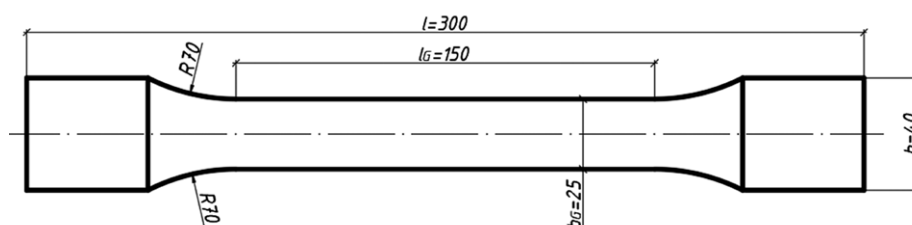


Рис. 5. Геометрические параметры образца для испытаний на растяжение (рисунок автора)

Fig. 5. Geometric parameters of the tensile test sample (author's figure)

¹ ГОСТ Р 54924-2017 (ИСО 8513:2016). Трубы и детали трубопроводов из реактопластов, армированных стекловолокном. Методы определения механических характеристик при осевом растяжении = Glass-reinforced thermosetting plastics pipes and parts of pipelines. Methods for determination of mechanical characteristics under longitudinal tension. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200157211> (дата обращения: 27.01.2025).

² Повный А. Применение моста Уитстона для измерения неэлектрических величин. URL: <https://elektrik.info/main/school/1594-primeneniye-mosta-uitstona-izmereniye-neelektricheskikh-velichin.html> (дата обращения: 27.01.2025).

Испытания выполнены на пяти образцах в универсальной испытательной машине. Образцы вырезаны из стеклопластиковой трубы с объемной долей армирующих волокон 0.75 и матрицей из эпоксидной смолы.

При производстве труб армирующие волокна укладывались по прямой и обратной проходке с углами намотки соответственно 5° и 85° и дополнительным поперечным обвитием, ориентированным вдоль продольной оси труб. Фотоиллюстрация образца № 1 во время проведения испытаний приведена на рис. 6. В ходе испытаний осуществлялся контроль продольных и поперечных деформаций образцов по двум широким граням.



Рис. 6. Испытание образца № 1 на осевое растяжение (фото автора)

Fig. 6. Axial tensile test of sample No. 1 (author's photo)

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

В ходе испытаний было установлено, что тензорезисторы не позволяют обеспечить измерение деформаций образцов на всем периоде загрузки. Из-за того, что деформирование стеклопластика сопровождается образованием трещин, нарушается целостность прикрепления тензорезистора к образцу непосредственно под ним. В среднем тензорезисторы выдерживали деформации от нагрузки порядка 40 % предельного усилия. Эти данные позволили определить деформативные характеристики материала, необходимые для выполнения предварительных расчетов.

По результатам испытаний пяти образцов были получены значения предельной нагрузки в момент разрушения и относительных продольных и поперечных деформаций материала в рабочей части образцов.

Значения предела прочности образцов определены по формуле:

$$\sigma_{pm} = \frac{F_{pm}}{A_0}, \quad (1)$$

где F_{pm} – максимальная растягивающая нагрузка, Н;

A_0 – площадь поперечного сечения испытываемой части образца до испытаний, мм².

Значения модуля упругости материала образцов определены по формуле:

$$E = \frac{F_2 - F_1}{A_0 \cdot \left(\frac{\Delta \epsilon_{внут.}^{np} + \Delta \epsilon_{нар.}^{np}}{2} \right)}, \quad (2)$$

где F_2 – нагрузка, соответствующая относительному удлинению 0.3 %, Н;

F_1 – нагрузка, соответствующая относительному удлинению 0.1 %, Н;

$\Delta \epsilon_{внут.}^{np}$ – приращение продольной относительной деформации образца, измеряемое на внутренней грани образца системой «Тензор МС»;

$\Delta \epsilon_{нар.}^{np}$ – приращение относительной деформации образца, измеряемое на наружной грани образца системой «Тензор МС».

Значения коэффициента Пуассона для материала образцов определены по формуле:

$$\mu = \frac{\Delta \varepsilon_{\text{внут.}}^{\text{nn}} + \Delta \varepsilon_{\text{нар.}}^{\text{nn}}}{\Delta \varepsilon_{\text{внут.}}^{\text{np}} + \Delta \varepsilon_{\text{нар.}}^{\text{np}}}, \quad (3)$$

где $\Delta \varepsilon_{\text{внут.}}^{\text{np}}$ – приращение поперечной относительной деформации образца, измеряемое на внутренней грани образца системой «Тензор МС»;

$\Delta \varepsilon_{\text{нар.}}^{\text{nn}}$ – приращение поперечной относительной деформации образца, измеряемое на наружной грани образца системой «Тензор МС».

Сводные значения механических характеристик материала испытанных образцов, определенные по данным испытаний на растяжение, приведены в таблице 1.

Результаты, приведенные в таблице 1, показывают, что максимальные напряжения в образце составляют не менее 200 МПа. Значение модуля упругости сопоставимы со значениями для бетона класса В25...В45, применяющегося в мостостроении. Значение коэффициента Пуассона в среднем составляет порядка 0.25 (при его значении 0.2 для бетона и 0.3 для стали). Таким образом, характер объемного деформирования стеклопластика под нагрузкой схож с традиционными строительными материалами. Его применение в гибридных по материалу конструкциях, особенно совместно с бетоном, вполне обоснованно.

Таблица 1. Механические характеристики
стеклопластика при растяжении вдоль волокон
Table 1. Mechanical characteristics of fiberglass
in tension along the fibers

№ образца	Предел прочности $\sigma_{\text{с}}$, МПа	Модуль упругости E , ГПа	Коэффициент Пуассона
1	205.2	37.9	0.21
2	202.4	36.6	0.23
3	202.9	34.3	0.25
4	239.4	29.5	0.27
5	206.2	30.9	0.26

Сравнение полученных значений механических характеристик на растяжение с изделиями из пультрузионных профилей показывает, что изделия, изготовленные намоткой, имеют определенные преимущества. Согласно СТО 39790001.03-2007³, значение среднего сопротивления пультрузионного стеклопластика СППС-240 при продольном растяжении – 240 МПа. Средняя прочность стеклопластиковых образцов, изготовленных намоткой, на 20 % ниже. Однако стоит отметить, что данные образцы вырезаны из цельного изделия (трубы), следовательно, они не имеют дополнительного запаса прочности от жесткого пространственного каркаса из волокон, который есть в трубах, изготовленных методом намотки. При этом средний модуль упругости у стеклопластика (33.8 МПа), изготовленного намоткой, на 47 % выше, чем у пультрузионного изделия СППС-240. Значения коэффициента Пуассона у обоих типов стеклопластика практически равны (для СППС-240 – 0.23). В настоящее время автором проводятся исследования механических характеристик образцов, вырезанных из стеклопластиковой трубы, на сжатие и изгиб.

Разброс значений предела прочности обусловлен неровной формой некоторых образцов и в большей степени характеристиками самого материала. В целом образцы соответствовали требованиям ГОСТ Р 54924-2017 в части отклонений в геометрических размерах по длине рабочей части,

³ СТО 39790001.03-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Пешеходные мосты и путепроводы. Конструкции дорожно-строительные из композиционных материалов Технические требования, методы испытаний и контроля. URL: <https://informproekt.ru/docs/1304127978/> (дата обращения: 25.01.2025).

но были близки к критическим значениям. Отклонение размеров образцов по длине рабочей части от среднего значения не может оказывать значимого влияния на характеристики упругого деформирования материала. Ввиду значительного разброса значений модуля упругости и коэффициента Пуассона можно сделать вывод, что технология изготовления трубы, из которой были получены образцы для испытаний, требует корректировки.

В целом же испытания показали, что реализованный при испытаниях подход позволяет получать значения модуля упругости и коэффициента Пуассона стеклопластика, изготовленного методом непрерывной намотки, при растяжении материала. Однако данный подход требует доработки для возможности контроля деформаций материала в рабочей части образцов до момента полного их разрушения. Влияние дополнительного поперечного обвития основных армирующих волокон при испытании образцов не выявлено. Возможной причиной этого может быть непосредственное нарушение его целостности ввиду вырезания образцов из трубы. Так как обвитие захватывает несколько основных нитей, его влияние должно быть более заметным в объеме, а не в малых образцах, где оно скорее проявляется как отдельные рубленые волокна.

В ходе непрерывного измерения деформаций образцов в процессе нагружения по данным перемещения захватов были выявлены площадки перегиба деформаций. Для получения качественной картины деформирования образцов были построены графики деформирования до момента разрушения для всех испытанных образцов, и такие площадки были зафиксированы на каждом из них. Для получения полной картины поведения стеклопластика при растяжении один из образцов был подвергнут разгрузке и двум повторными нагружениям. Разгрузка производилась на уровне 80 % от среднего предельного значения, полученного по результатам испытаний предыдущих образцов. Таким образом, получена диаграмма деформирования образца с двумя циклами *загружение – разгрузка* и последующим доведением до разрушения (рис. 7).

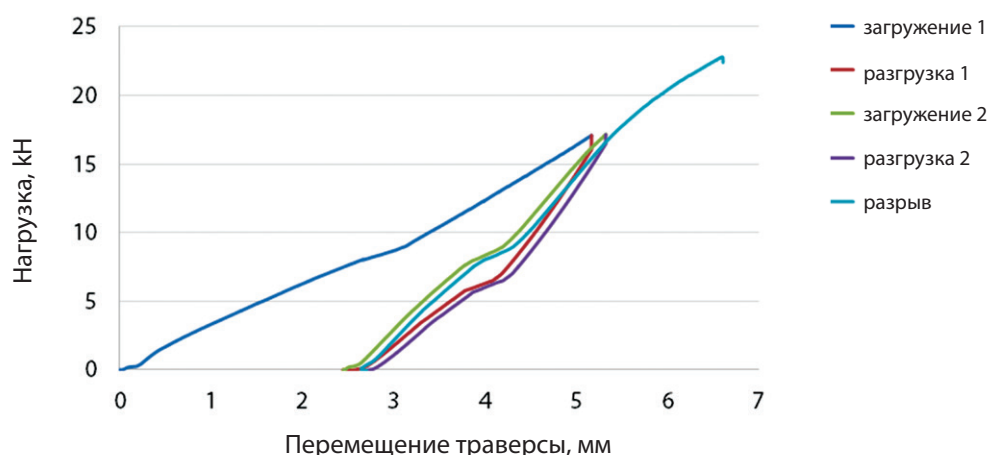


Рис. 7. Диаграмма деформирования образца при растяжении с нагружением и разгрузкой
(график составлен автором)

Fig. 7. Deformation diagram of the sample in tension with loading and unloading (diagram created by the author)

На диаграмме хорошо видно, что при повторном нагружении модуль упругости материала меняется. Это свидетельствует о выключении определенного процента матрицы из общей работы на восприятие растягивающих деформаций из-за появления в ней трещин. Чем выше будет уровень нагружения образца перед последующей разгрузкой, тем больше будут остаточные деформации. Однако для установления величины этих деформаций необходимо обеспечить измерение деформаций непосредственно в рабочей зоне образцов во всем диапазоне нагружения. Картина деформаций,

полученная по перемещениям захватов, позволяет лишь получить качественную картину, но не количественный результат.

Возможной причиной появления характерной точки перегиба на диаграмме деформирования является трещинообразование (нарушение сплошности) в матрице образца, способствующее резкому кратковременному скачку деформаций. Но характерная площадка перегиба имеет одинаковые параметры как при загрузке образца, так и при его разгрузке, а также повторяется при последующем нагружении. Это может свидетельствовать об ошибке фиксации перемещений захватов или о сложном характере деформирования образцов, обусловленном в том числе внутренней структурой материала.

4. Заключение / Conclusions

1. По результатам выполненных работ были получены значения механических характеристик (предел прочности – в среднем 200 МПа, модуль упругости – от 29.5 до 37.9 ГПа, коэффициент Пуассона – от 0.21 до 0.27), подтверждающие целесообразность использования стеклопластиковых труб, изготавливаемых методом намотки, в несущих элементах пролетных строений мостовых сооружений, в том числе включенных в совместную работу с элементами из других материалов (бетона, стали). Полученные данные позволяют выполнить первоначальные расчетные исследования для обоснования нового конструктивного решения для мостового сооружения с несущими элементами из композитных труб.
2. Экспериментальные исследования были проведены на образцах, вырезанных из трубы. Таким образом, целостность пространственного каркаса, который образуют основные армирующие волокна внутри матрицы совместно с дополнительным поперечным обвитием, была нарушена. Поэтому можно ожидать, что цельные секции труб будут иметь более высокие значения прочностных и жесткостных характеристик, чем вырезанные образцы. Подтверждение данной гипотезы является целью дальнейших исследований, направленных на расширение области применения полимерных композитов в мостостроении и увеличение номенклатуры их использования.
3. Выявленный характер деформирования материала при повторных нагружениях указывает на необходимость проведения дополнительных исследований в этом направлении. Хорошо видно, что связь между нагрузкой и деформациями сильно зависит от накопленных в матрице трещин, а значит, модуль упругости материала при статическом нагружении и динамическом могут быть отличными, что, например, характерно для бетона.

Дальнейшему совершенствованию подлежат приборная база и технология контроля деформаций непосредственно в рабочей зоне образцов, испытываемых на растяжение, на всем протяжении нагружения вплоть до разрушения. Это позволит определить параметры площадки перегиба деформаций и установить причину ее появления.



Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Татлыева Г. З., Закиров М. А., Осипова Л. Э. Оценка коррозионной стойкости композиционных материалов на базе смол Norpol Dion. *Вестник Казанского технологического университета*. 2012;15(11):235–239. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ozovol>.
2. Попов С. Н., Ушаков А. Е., Кленин Ю. Г. Перспективы расширения возможностей применения пултрузионных стеклопластиков в строительстве в северных климатических условиях. В сб.: *Физико-технические*

- проблемы добычи, транспорта и переработки органического сырья в условиях холодного климата. 2024. С. 225–227. <https://doi.org/10.24412/cl-37255-2024-1-225-227>
3. Хуанг Чун-Пинь. Моделирование процессов вакуумной инфузии в производстве крупногабаритных композитных конструкций. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2021;(3):172–185. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2021-3-172-185>
 4. Früh N., Knippers J. Multi-stage filament winding: Integrative design and fabrication method for fibre-reinforced composite components of complex geometries. *Composite Structures*. 2021;268:113969. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113969>
 5. Иванов А. Н., Яшнов А. Н. Экспериментальные исследования пролетного строения из полимерного композиционного материала. *Вестник Тихоокеанского государственного университета*. 2014;(4):61–70. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=teqrfd>.
 6. Овчинников И. И., Овчинников И. Г., Чесноков Г. В., Михалдыкин Е. С. О проблеме расчета трубобетонных конструкций с оболочкой из разных материалов. Часть 3. Опыт применения полимерных композитных материалов в мостостроении. *Наукоедение*. 2015;7(5):151. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/27TVN515.pdf>.
 7. Ушаков А. Е., Монастырев Е. А., Ермаков В. М., Егоров М. А., Мухина М. А., Кленин Ю. Г. (и др.) Результаты испытаний первого в мире железнодорожного моста с пролетным строением из композиционных материалов. *Путь и путевое хозяйство*. 2021;(10):13–15.
 8. Иванов А. Н., Кожевников В. С. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в пролетных строениях железнодорожных мостов. *Химия. Экология. Урбанистика*. 2020;3:94–98. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xidmrw>.
 9. Уткин В. А., Иванов А. Н., Мартынов А. В. Пролетное строение с мостовым настилом из пултрузионного профиля. Российская Федерация. Патент № 2735317C1. 16 декабря 2019. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2735317C1_20201030.
 10. Яшнов А. Н., Иванов А. Н. Струнные пролетные строения для магнитолевитационного транспорта. *Инновационные транспортные системы и технологии*. 2021;7(3):158–168. <https://doi.org/10.17816/transsyst202173158-168>
 11. Николаев А. К., Козйо Веласкес А. Л. Моделирование процесса разрушения стеклопластиковой трубы. *Записки Горного института*. 2017;223:93–98. <https://doi.org/10.18454/PMI.2017.1.93>
 12. Пыринов Б. В., Козьмин Н. А. Сталежелезобетонный автодорожный мост с балками из металлических труб. В сб.: *Совершенствование конструктивных решений пешеходных и автодорожных мостов в условиях Сибирского региона*. Новосибирск: Наука; 2012. С. 101–105.
 13. Zhao L., Burgueno R., La Rovere H., Seible F., Karbhari V. *Preliminary evaluation of the hybrid tube bridge system*. California; 2000. URL: <https://trid.trb.org/View/673592>
 14. Иванов А. Н., Кузьменков П. Ю. Мониторинг технического состояния автодорожного моста через реку Пашенку. *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения*. 2016;(2):20–27. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26737924>.
 15. Николаев А. К., Лутов В. А. Технология производства композиционных труб методом намотки для нефтегазовой отрасли. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015;(8-2):50–54. URL: <https://research-journal.org/wp-content/uploads/2015/09/8-2-39.pdf#page=50>.
 16. Яшнов А. Н., Снежков И. И. Развитие систем диагностики и мониторинга мостов. *Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения*. 2020;(3):6–13. URL: <https://elibrary.ru/kyabvu>.

References

1. Tatlyyeva G. Z., Zakirov M. A., Osipova L. E. Evaluation of corrosion resistance of composite materials based on Norpol Dion resins. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012;15(11):235–239. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ozovol>.
2. Popov S. N., Ushakov A. Ye., Klenin Yu. G. Prospects for expanding the possibilities of application of pultrusion fiberglass plastics in construction in northern climatic conditions. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy dobychi, transporta i pererabotki organicheskogo syr'ya v usloviyakh kholodnogo klimata*. 2024. P. 225–227. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/cl-37255-2024-1-225-227>
3. Jyun-Ping Huang. Modeling of the vacuum infusion processes in the manufacturing of the large polymeric composite structures. *Izvestiya SFEDU. Engineering Sciences*. 2021; (In Russ.). 2021;(3):172–185. <https://doi.org/10.18522/2311-3103-2021-3-172-185>

4. Fröh N., Knippers J. Multi-stage filament winding: Integrative design and fabrication method for fibre-reinforced composite components of complex geometries. *Composite Structures*. 2021;268:113969. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.113969>
5. Ivanov A. N., Yashnov A. N. Experimental research of the superstructure from the polymer composite materials. *Bulletin of Pacific National University*. 2014;(4):61–70. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=teqrfd>.
6. Ovchinnikov I. I., Ovchinnikov I. G., Chesnokov G. V., Mikhaldykin Ye. S. On the problem of calculation of pipe-concrete structures with a shell made of different materials. Part 3. Experience of application of polymer composite materials in bridge construction. *Naukovedenie*. 2015;7(5):151. (In Russ.) URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/27TVN515.pdf>.
7. Ushakov A. Ye., Monastirev Ye. A., Yermakov V. M., Yegorov M. A., Mukhina M. A., Klenin Yu. G. (at al.) Test results of the world's first railroad bridge with composite materials span. *Railway Track and Facilities*. 2021;(10):13–15.
8. Ivanov A. N., Kozhevnikov V. S. Problems of application of polymeric composite materials in superstructure of railway bridges. *Khimiya. Ekologiya. Urbanistika*. 2020;3:94–98. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xidmrw>.
9. Utkin V. A., Ivanov A. I., Martynov A. V. *Span with bridge flooring made of pultrusion profile*. Russian Federation. Patent No. 2735317C1. 16 December 2019. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2735317C1_20201030.
10. Yashnov A. N., Ivanov A. N. String superstructures for maglev transport. *Modern transportation systems and technologies*. 2021;7(3):158–168. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/transsyst202173158-168>
11. Nikolaev A. K., Coello Velazquez A. L. Modelling of fiberglass pipe destruction process. *Journal of Mining Institute*. 2017;223:93–98. <https://doi.org/10.18454/PMI.2017.1.93>
12. Pyrinov B. V., Koz'min N. A. Steel reinforced concrete road bridge with metal pipe girders. In: *Sovershenstvovaniye konstruktivnykh resheniy peshekhodnykh i avtodorozhnykh mostov v usloviyakh Sibirskogo regiona*. Novosibirsk: Nauka; 2012. P. 101–105. (In Russ.)
13. Zhao L., Burgueno R., La Rovere H., Seible F., Karbhari V. *Preliminary evaluation of the hybrid tube bridge system*. California; 2000. URL: <https://trid.trb.org/View/673592>
14. Ivanov A. N., Kuzmenkov P. Yu. Monitoring the technical state of a road bridge across the Pashenka river. *Siberian Transport University Bulletin*. 2016;(2):20–27. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26737924>.
15. Nikolaev A. K., Lutov V. A. Production technology composite pipes by winding for oil and gas industry. *International Research Journal*. 2015;(8-2):50–54. (In Russ.) URL: <https://research-journal.org/wp-content/uploads/2015/09/8-2-39.pdf#page=50>.
16. Yashnov A. N., Snezhkov I. I. Development of diagnostics and monitoring systems for bridges. *Siberian Transport University Bulletin*. 2020;(3):6–13. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/kyabvu>.



Информация об авторе

Пиняжин Сергей Викторович, аспирант кафедры мостов, инженер Сибирского научно-исследовательского института мостов, Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск, Российская Федерация, s.v.pinyazhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5436-2558>

Information about the author

Sergey V. Pinyazhin, Postgraduate in the Department of Bridge, Engineer in the Siberian Research Institute of Bridges, Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation, s.v.pinyazhin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5436-2558>

Получена 19 февраля 2025 г., одобрена 25 марта 2025 г., принята к публикации 30 мая 2025 г.

Received 19 February 2025, Approved 25 March 2025, Accepted for publication 30 May 2025



Моделирование вероятности отказов автомобилей по наработке в цикле технического обслуживания

А. В. Сарбей ✉

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

✉ sanya.sarbey@mail.ru



Аннотация. Техническое обслуживание автомобилей автотранспортного предприятия, находящихся на гарантийном обслуживании, зачастую проводится с использованием собственных производственных мощностей предприятия. В силу влияния разных факторов фактические наработки между техническими обслуживаниями значительно отличаются от нормативных. Существующие методы не позволяют корректно определить изменение вероятности отказа группы автомобилей, поскольку фактическая наработка цикла технического обслуживания является величиной стохастической. Предложен метод оценки качества технического обслуживания автомобилей, основанный на отношении приращений вероятности отказа до и после обслуживающих мероприятий с учетом особенностей их эксплуатации. В основе исследования заложен аксиоматический метод, согласно которому интенсивность отказов снижается после обслуживания и возрастает по мере увеличения наработки. В качестве гипотезы исследования выдвинуто предположение, что качество технического обслуживания можно оценить по отношению плотностей вероятности отказа на участках перед проведением обслуживания и после (первый участок – наработка на 0...7.5 тыс. км, второй участок – наработка на 7.5...15.0 тыс. км). Собранные и обработанные данные об отказах автомобилей в фактических периодичностях технического обслуживания двух структурных подразделений градообразующего предприятия г. Сургут. Разработанные математические модели статистически значимы с вероятностью 0.99. Полученные значения разработанного показателя качества: 1.947 для первого и 1.731 для второго предприятия, – свидетельствуют о том, что система обеспечения работоспособности исследуемых предприятий организована качественно. Планируется провести оценку качества технического обслуживания автомобилей разных марок с целью получения более широко спектра значений и их последующей интерпретации.

Ключевые слова: качество технического обслуживания, цикл технического обслуживания, вероятность отказа, фактическая наработка, надежность автомобилей

Для цитирования: Сарбей А. В. Моделирование вероятности отказов автомобилей по наработке в цикле технического обслуживания. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(2):99–108. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-99-108> EDN: YTCWKY

Modeling the probability of vehicle failures by operating time within a maintenance cycle

Alexander V. Sarbey ✉

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

✉ sanya.sarbey@mail.ru

Abstract. Motor transport enterprises often conduct maintenance of vehicles under warranty service using their own facilities. Due to the influence of various factors, the actual operating time between maintenance operations often deviates significantly from the normative ones. Existing methods do not allow accurately determining the change in failure probability for a vehicle group, because the actual operating time at the completion of the maintenance cycle is a stochastic value. This paper proposes a method for evaluating vehicle maintenance quality, based on the ratio of failure probability increments before and after maintenance, taking into account the specific operational characteristics of the vehicles. The research employs an axiomatic method: the failure rate decreases after maintenance and increases with accumulated operating time. The research hypothesis posits that maintenance quality can be assessed by the ratio of failure probability densities in sections before and after maintenance (first section: operating time 0 to 7.5 thousand km; second section: operating time 7.5 to 15.0 thousand km). Data on vehicle failures during actual maintenance intervals were collected and processed for two structural divisions of a city-forming enterprise in Surgut. The developed mathematical models are statistically significant with a probability of 0.99. The resulting values of the developed quality indicator – 1.947 for the first enterprise and 1.731 for the second enterprise – indicate that the system for ensuring the operational reliability of the investigated enterprises is effectively organized. Further work is planned to evaluate the maintenance quality across different car brands to obtain a broader spectrum of values and facilitate their subsequent interpretation.

Keywords: maintenance quality, maintenance cycle, failure probability, actual operating time, vehicle reliability

For citation: Sarbey A. V. Modeling the probability of vehicle failures by operating time within a maintenance cycle. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(2):99–108. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-99-108>

1. Введение / Introduction

Эффективность автомобильного транспорта обеспечивается надежностью [1]. Надежность является комплексным свойством, которое включает следующие составляющие: безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость и долговечность. Один из факторов, влияющих на надежность автомобилей, – качественно выполненное техническое обслуживание (ТО) [2]. ТО является важным компонентом системы обеспечения работоспособности автомобилей [3, 4, 5], его цель – предупредить отказы и отдалить момент, когда элементы автомобиля достигнут предельного состояния.

В современных производственных условиях с появлением стандартов и методологий управления качеством на автотранспортных предприятиях (АТП) применяются системные подходы обеспечения качества продукции или услуг [6]. Под качеством ТО понимается степень соответствия выполняемых технологических операций установленным стандартам и требованиям.

Проблеме качества ТО посвящено значительное количество исследований. В работе [7] представлены результаты количественной оценки критериев предприятий фирменного автосервиса, отражающих удовлетворенность потребителей в качестве услуг. На примере производственно-сервисных систем рассмотрены состав и структура комплексного показателя качества, который учитывает удовлетворенность потребителей, финансовую устойчивость и соответствие корпоративным требованиям [8].

Зарубежными учеными на основе предиктивного обслуживания (PdM) проведен эксперимент по контролю технического состояния и оценке качества обслуживания оборудования [9, 10]. В отечественных исследованиях [11, 12] особое внимание уделяется предиктивному обслуживанию железнодорожного транспорта.

В работе [13] предлагается методика учета человеческого фактора при определении качества ремонта и обслуживания оборудования нефтегазодобывающих компаний. Качество ТО в источнике [14] оценивается полнотой и затраченным временем выполнения технологических операций посредством контроля материалов видеofиксации.

Авторами исследования [15] при управлении качеством ТО предприятия принята система обобщающих показателей подсистемы обслуживания производства: ритмичность, непрерывность, надежность, пропорциональность, параллельность и прямоочность.

Эффективность эксплуатации автотранспортных средств, по мнению исследователей [16], достигается определением оптимальных параметров системы входного контроля качества запасных частей, используемых при выполнении ТО и ремонта.

Контроль качества ТО и ремонта автомобилей в работах [17, 18] оценивается полнотой выполнения технологических операций посредством использования искусственных нейронных сетей. В программе для ЭВМ [19] по контролю ТО автомобилей эффективность системы ТО и ремонта оценивается коэффициентом использования рабочего времени работников.

В работе [20] качество ТО автомобилей, находящихся на гарантийном обслуживании, наработка циклов ТО которых постоянна, оценивается по интегральному показателю качества.

Проведенные исследования внесли значительный вклад в совершенствование системы ТО и ремонта, и, в частности, методов оценки качества ТО автомобилей. Результаты исследований позволили определить причины отказов, выявить недостатки в организации и реализации работ по ТО.

Однако можно выделить основной аспект, который не учтен в вышеперечисленных работах. При эксплуатации автомобилей АТП, находящихся на гарантийном обслуживании, очередное ТО проводится не в дилерском центре, а на производственных площадях АТП. Данный факт и ряд ранее выявленных факторов, таких как, например, средняя длина рейса, технологическая дисциплина, пропускная способность зоны ТО, существенно влияют на изменение фактической наработки между проводимыми ТО, которая значительно отличается от нормативной. В этом случае определить изменение вероятности отказа в цикле ТО группы автомобилей с разными наработками между ТО по существующим методам не представляется возможным по причине того, что к моменту наработки L часть автомобилей завершили циклы ТО и в дальнейшем автомобили и циклы ТО учитывать не требуется. К тому же анализ отказов показал, что в циклах ТО возникает два и более отказов элементов автомобиля. В итоге определение вероятности отказа без корректирующих мер способствует возникновению существенных неточностей.

Важным этапом совершенствования системы обеспечения работоспособности автомобилей является проведение мероприятий по оценке качества ТО. Таким образом, цель исследования заключается в том, чтобы численно оценить качество ТО автомобилей, основываясь на изменении вероятности отказа по наработке в цикле ТО.

Задачи исследования:

- разработать концепцию, позволяющую численно оценить качество ТО автомобилей в цикле ТО;
- выполнить сбор и обработку фактических периодичностей ТО и наработок на отказ в циклах ТО;
- разработать показатель, оценивающий качество ТО автомобилей с учетом особенностей эксплуатации.

Объектом исследования являлся процесс формирования вероятности отказа автомобилей по наработке в цикле ТО с учетом особенностей эксплуатации.

Предметом исследования являлись закономерности формирования вероятности отказа автомобилей по наработке в цикле ТО с учетом особенностей эксплуатации.

Научная новизна заключается в формировании вероятности отказа автомобилей по наработке в цикле ТО и разработке показателя качества ТО с учетом особенностей эксплуатации.

2. Материалы и методы / Materials and methods

Концепция исследования заключается в формулировке аксиом и следствий, на основе которых разрабатывается рабочая гипотеза.

Аксиомы:

- после проведения ТО интенсивность изменения параметров технического состояния снижается, что приводит к снижению плотности вероятности отказа;
- с увеличением наработки после каждого ТО плотность вероятности отказа увеличивается.

Следствия:

- при выполнении качественного ТО наблюдается существенное изменение плотности вероятности отказа на разных участках цикла ТО;
- сравнение плотностей вероятности отказа на начальном участке наработки после ТО и на участке наработки перед последующим ТО позволяет численно оценить эффект от ТО.

Соответственно, учитывая нормативное значение периодичности ТО, регламентированное заводом изготовителем, цикл ТО делится на два равных участка, и каждый описывается следующими линейными функциями:

$$F(L_i)_{\text{уч.1}} = k_1 \cdot L_i + b_1; \quad (1)$$

$$F(L_i)_{\text{уч.2}} = k_2 \cdot L_i + b_2. \quad (2)$$

где k_1, k_2 и b_1, b_2 – эмпирические коэффициенты в уравнениях линейной регрессии участка 1 (после ТО) и участка 2 (перед ТО);

L_i – наработка на отказ, тыс. км.

Следовательно, выдвинута гипотеза о том, что качество ТО можно оценить по показателю Q_{EV} путем отношения коэффициентов уравнений линейной регрессии k_1, k_2 , которые по физическому смыслу аналогичны плотности вероятности отказа $f(L)$:

$$Q_{EV} = \frac{k_2}{k_1}. \quad (3)$$

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Экспериментальная часть

Выдвинутую гипотезу необходимо подтвердить путем проведения пассивного натурного эксперимента. В качестве примера сформированы данные по однотипным автомобилям УАЗ Патриот, эксплуатируемым в двух структурных подразделениях градообразующего предприятия г. Сургута. Данные структурные подразделения обозначим как «предприятие № 1» и «предприятие № 2». Численность автомобильного парка A_c составляет 25 единиц у предприятия № 1 и 20 единиц у предприятия № 2. На предприятиях № 1 и № 2 выполнено соответственно 159 и 95 ТО, перечень операций которых соответствует установленному перечню сервисной книжки автомобиля. В каждом из циклов ТО возникло m отказов. Общее количество отказов, возникших по причине некачественного ТО, на первом и втором предприятии составляет 265 и 105 соответственно.

Поскольку отказы автомобилей возникли в интервалах ТО с разными наработками, то для корректного формирования вероятности отказа $F(L_i)$ в цикле ТО необходимо наработку на отказ L_i фактической периодичности L_{TO}^{ϕ} привести к нормативной периодичности L_{TO}^H , умножив на относительный коэффициент K :

$$K = \frac{L_{TO}^H}{L_{TO}^{\phi}}. \quad (4)$$

В совокупности с выявленными особенностями, характерными для специфики функционирования и обслуживания автомобилей, вероятность отказа по наработке в цикле ТО предлагается определять по следующей формуле:

$$F(L_i) = \frac{m(L_i)}{(A_c \cdot N_{\text{цТО}}) - N_{\text{цТО}}(L_i) - A_c(L_i)}. \quad (5)$$

Например, к моменту наработки 9 085 км по $A_c = 11$ проведено $N_{цТО} = 14$ ТО при накопленном количестве отказов в циклах ТО $m(L) = 150$. Следовательно, вероятность отказа автомобилей предприятия № 1 к моменту наработки 9 085 километров будет равна $F(L) = 0.038$. Графическая интерпретация вычислений представлена на рис. 1.

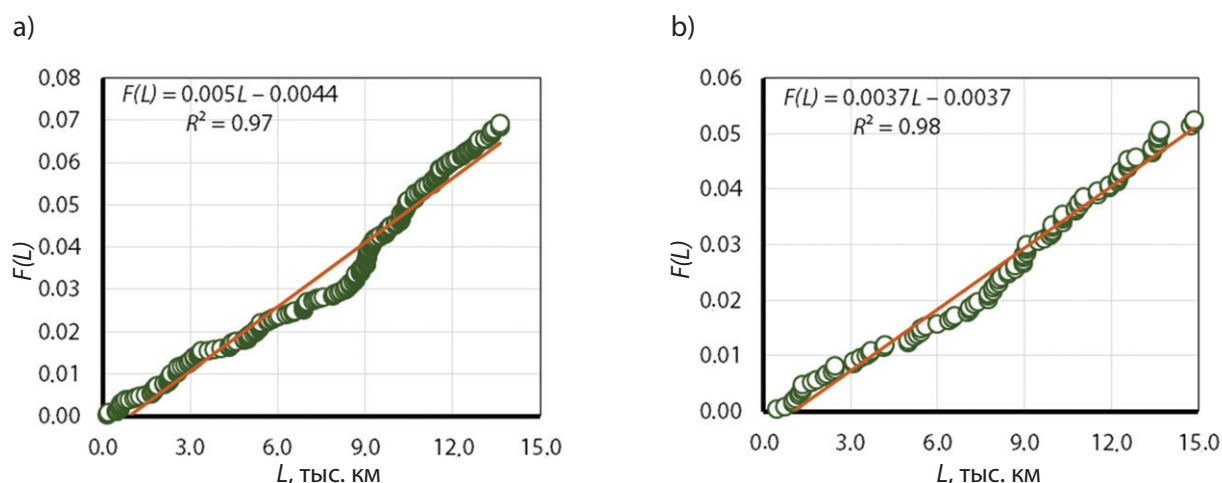


Рис. 1. Влияние наработки на вероятность отказа в циклах ТО на предприятиях № 1 (a) и № 2 (b)
Fig. 1. Effect of operating time on failure probability in maintenance cycles at enterprises No. 1 (a) and No. 2 (b)

Таким образом, в пределах нормативного значения периодичности ТО для группы автомобилей УАЗ Патриот ($L_{ТО}^H = 15.0$ тыс. км) двух АТП построены модели влияния наработки на вероятность отказа цикла ТО в условиях вариации фактической периодичности.

Стоит отметить, что начало отсчета каждого цикла ТО начинается после завершения предыдущего. Нормативная периодичность делится на два равных участка. Результаты представлены на рис. 2.

В соответствии с концепцией исследования каждый цикл ТО делится на два равных участка. Нарботка первых участков – 0...7.5 тыс. км, а вторых – 7.5...15.0 тыс. км. Каждый участок аппроксимируется линейной функцией. Высокое значение коэффициента детерминации и простота получения производной линейной функции, которая по физическому смыслу аналогична плотности вероятности отказа $f(L)$, свидетельствуют о высокой степени согласования модели с эмпирическими данными, что подтверждает обоснованность выбранного подхода.

Интерпретация результатов

Для подтверждения выдвинутой гипотезы необходимо линейные тренды построить в координатах «наработка – отклонение вероятности отказа от тренда». Результаты по циклам ТО представлены на рис. 3.

Графическая интерпретация полученных моделей позволяет наглядно продемонстрировать изменение вероятности отказа по наработке в цикле ТО. В результате анализа моделей установлены следующие закономерности: в первом участке (0...7.5 тыс. км) интенсивность возникновения отказов снижается, что свидетельствует о положительном эффекте, достигаемом в результате проведения ТО. Однако по мере увеличения наработки (участок 7.5...15.0 тыс. км) прослеживается обратная тенденция: интенсивность возникновения отказов возрастает, что свидетельствует о снижении эксплуатационной надежности к моменту очередного планового ТО.

Математические модели аппроксимируются квадратичной функцией. Для предприятий № 1 и № 2 коэффициенты корреляции равны 0.82 и 0.81 соответственно, а t -критерий Стьюдента больше табличного значения с вероятностью 0.99.

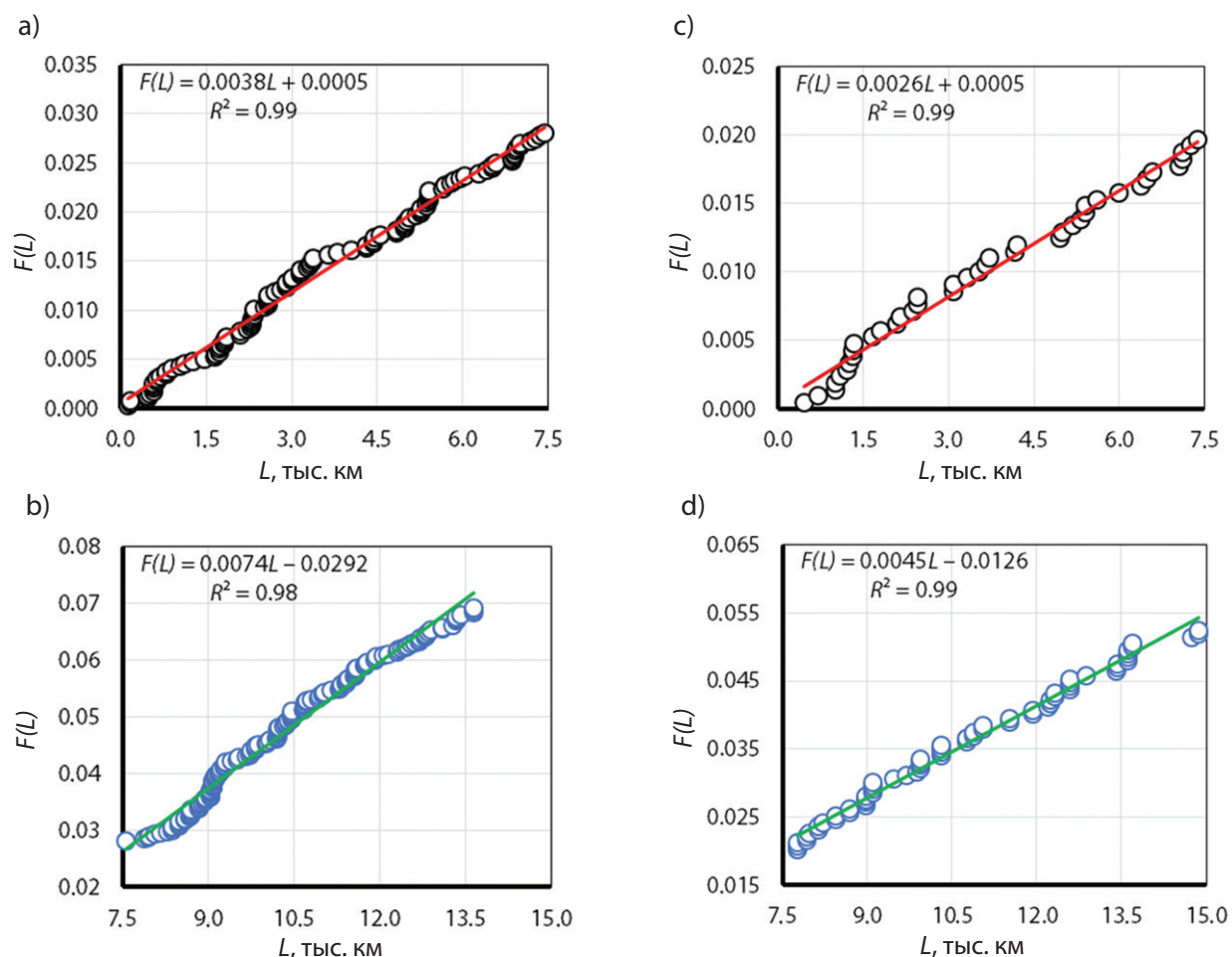


Рис. 2. Влияние наработки на вероятность отказа первых участков на предприятиях № 1 (а) и № 2 (б) и вторых участков на предприятиях № 1 (с) и № 2 (д) циклов ТО
Fig. 2. Effect of operating time on failure probability in the first sections at enterprises No. 1 (a) and No. 2 (b) and in the second sections at enterprises No. 1 (c) and No. 2 (d) during maintenance cycles

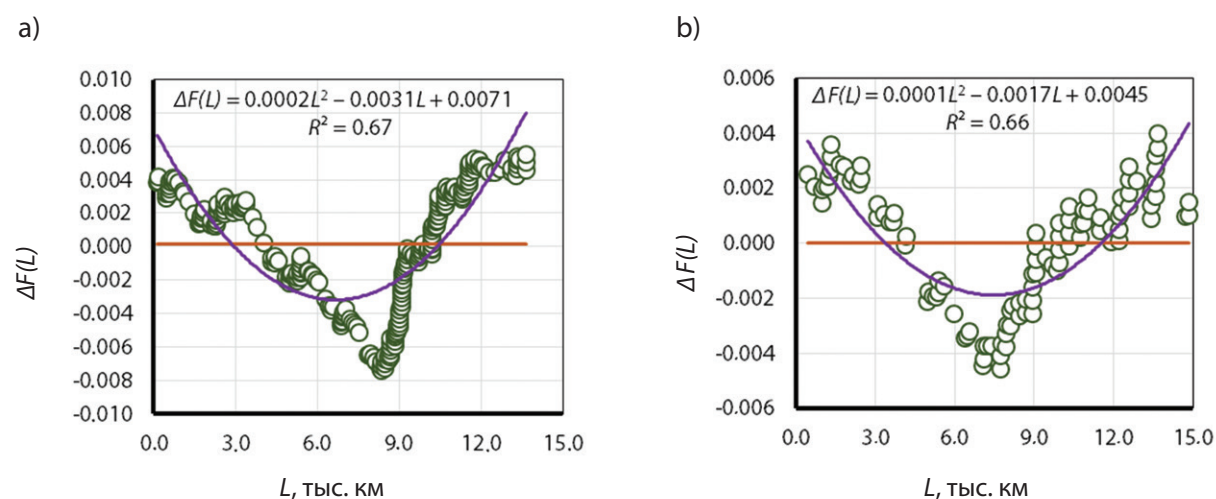


Рис. 3. Отклонение вероятности отказа от тренда в циклах ТО на предприятиях № 1 (а) и № 2 (б)
Fig. 3. Deviation of the failure probability from the trend during maintenance cycles at enterprises No. 1 (a) and No. 2 (b)

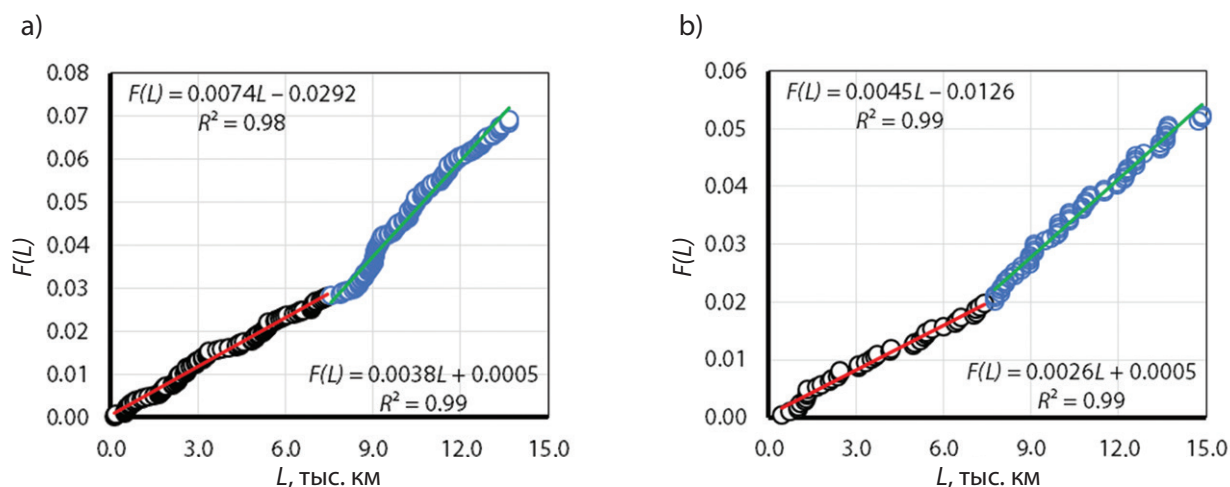


Рис. 4. Изменение вероятности отказа по наработке в циклах ТО на предприятиях № 1 (а) и № 2 (б)
Fig. 4. Variation of failure probability as a function of operating time within maintenance cycles at enterprises No. 1 (a) and No. 2 (b)

На основе полученных результатов, представленных на рис. 4, показатели качества ТО для предприятия № 1 и № 2 соответственно равны:

$$Q_{EV(1)} = \frac{0.0074}{0.0038} = 1.947;$$

$$Q_{EV(2)} = \frac{0.0045}{0.0026} = 1.731.$$

Показатель качества ТО автомобилей предприятия № 1 $Q_{EV(1)}$, равный отношению плотностей вероятности отказа второго участка к участку первому, составляет 1.947. Показатель качества ТО автомобилей предприятия № 2 $Q_{EV(2)}$ равен 1.731. В рассматриваемых примерах плотности вероятности отказов участков после ТО (0...7.5 тыс. км) в 1.947 и 1.731 раз меньше плотностей вероятности отказов участков перед ТО (7.5...15.0 тыс. км), что свидетельствует о качественно организованной системе обеспечения работоспособности двух предприятий. Кроме того, учитывая ранее установленные закономерности, можно предположить, что при значениях показателя качества $Q_{EV} < 1$ эффективность системы обеспечения работоспособности автомобилей АТП будет низкая. Следовательно, логическим продолжением практической реализации исследования является оценка качества ТО автомобилей разных марок с целью получения более широко спектра значений Q_{EV} и их последующей интерпретации.

Таким образом, реализация задач исследования позволяет численно оценить качество ТО автомобилей по отношению приращений вероятностей отказа в участках до и после ТО.

4. Заключение / Conclusions

По результатам исследования сформулированы следующие выводы:

1. Установлено, что после проведения ТО плотность вероятности отказа снижается, но с увеличением наработки она снова растет.
2. В цикле ТО предприятия № 1 коэффициент уравнения линейной регрессии второго участка больше коэффициента уравнения линейной регрессии первого участка в 1.947 раз, а у предприятия № 2 – в 1.731 раз. Полученные значения показателя качества ТО указывают на высокий уровень организации системы обеспечения работоспособности на обоих предприятиях.

3. Путем отношения коэффициентов уравнений линейной регрессии можно численно оценить эффект, достигаемый в результате проведения ТО. Более высокие значения показателя качества указывают на высокое качество обслуживающих мероприятий, тогда как меньшие значения могут свидетельствовать о низкой эффективности ТО.
4. Для практического использования полученных результатов необходимо выполнить аналогичные исследования для автомобилей других марок и моделей, а также разработать методику интерпретации полученных значений показателя качества Q_{EV} .



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

Список литературы

1. Бузин В. А., Захаров Н. С., Александров А. Э. Организация технического обслуживания с учетом вариации интенсивности эксплуатации автомобилей. *Транспорт Урала*. 2023;(2):60–65. <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-2-60-65>
2. Криков А. М., Иванов Н. М., Немцев А. Е., Бердникова Р. Г., Федоров А. Г. Информационное сопровождение технического обслуживания и технического диагностирования тракторов и грузовых автомобилей. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2020;(2):168–177. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43127772>.
3. Сапоженков Н. О., Попцов В. В., Немков М. В. Повышение технической готовности пожарных автомобилей на основе анализа фактических. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2024;(12):183–186. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=79488297>.
4. Зарубин В. П. Повышение работоспособности трансмиссий пожарных автомобилей с помощью применения смазочных композиций, содержащих порошок искусственного серпентина. *Проблемы технической безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов*. 2020;(9):39–46. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46445335>.
5. Самсонов А. Н., Тончева Н. Н., Егоров В. П., Иванов М. Ю. К вопросу о техническом обслуживании и ремонте автомобилей. В сб.: *Современное состояние и перспективы развития науки, техники и образования: сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Чебоксары, 06 апреля 2018 г.* Чебоксары, 2018. С. 145–148. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34915807>.
6. Булатов С. В. Влияние квалификации персонала на качество услуг на станциях технического обслуживания автомобилей. *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2022;(2):5–11. <https://doi.org/10.15593/24111678/2022.02.01>
7. Козловский В. Н., Вакулич Е. А., Шахов Н. Р. Алгоритм оценки качества производственно-сервисной системы высокотехнологичного предприятия. Часть 1. *Методы менеджмента качества*. 2021;(7):38–45. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46242773>.
8. Никульшин С. В., Заглада Р. Ю. Совершенствование методики оценки качества услуг по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей в системе автосервиса. В сб.: *Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сборник научных трудов по материалам 82-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 30 января – 01 февраля 2024 г.* Москва, 2024. С. 150–157. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61882701>.
9. Wo Jae Lee, Haiyue Wu, Huitaek Yun, Hunjun Kim, Martin B. G. Jun, John W. Sutherland. Predictive maintenance of machine tool systems using artificial intelligence techniques applied to machine condition data. *Procedia CIRP*. 2019;80:506–511. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.019>
10. Kane A. P., Kore A. S., Khandale A. N., Nigade S. S., Joshi P. P. Predictive maintenance using machine learning. *Machine Learning*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.09402>
11. Булохова Т. А., Толмачева К. П. Повышение качества эксплуатации электропоездов за счет совершенствования организации работы по мониторингу и диагностики локомотивов на базе МСУД. *Молодая наука Сибири*. 2022;(2):340–347. URL: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/720>.
12. Булохова Т. А., Толмачева К. П. Предиктивная диагностика как фактор повышения эффективности работы локомотивного парка на Восточном полигоне. *Молодая наука Сибири*. 2023;(2):426–432. URL: <https://ojs.irgups.ru/index.php/mns/article/view/1177>.

13. Талтыкин В. С. Методика учета человеческого фактора в математической модели определения качества ремонта и обслуживания оборудования нефтедобывающих компаний. *Бурение и нефть*. 2018;(1):38–42. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32259978>.
14. Мальцев Д. В., Репецкий Д. С. Контроль производственного персонала при выполнении работ технического обслуживания автомобилей. *Мир транспорта*. 2020;18(6):238–247. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247>
15. Бекетова О. Н., Фролов А. Л., Арифуллин М. В. Оценка эффективности функционирования и управления качеством технического обслуживания предприятия. В сб.: *Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сборник статей XXXI Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 февраля 2023 г.* Пенза, 2023. С. 70–73. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50285598>.
16. Бондаренко Е. В., Дрючин Д. А., Булатов С. В. Оценка целесообразности организации входного контроля качества запасных частей в условиях автотранспортного предприятия. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2021;(2):71–78. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2021-2-71>
17. Козин Е. С., Ракитин В. А. Контроль качества производства технического обслуживания и ремонта автомобилей с использованием искусственного интеллекта. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2023;(12):297–300. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59886547>.
18. Захаров Н. С., Козин Е. С. Контроль выполнения технологического процесса обслуживания и ремонта автомобилей с использованием нейронных сетей. *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*. 2023;(4):43–51. <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2023-4-43-51>
19. Зиганшин А. А., Зиганшин Р. А., Штанов Ю. Н., Захаров Н. С. *Software of Control Maintenance of Auto: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024614675* Российская Федерация: заявл. № 2024612787 от 09.02.2024; опублик. 28.02.2024. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=64587278>.
20. Makarova A. N., Zakharov N., Abakumov G., Elesin S. Assessment of car engineering servicing quality based on failure information. *MATEC Web of Conferences*. 2021;341:00038. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134100038>

References

1. Buzin V. A., Zakharov N. S., Alexandrov A. E. Organization of technical maintenance taking into account variations of vehicle operation intensity. *Transport of the Urals*. 2023;(2):60–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.20291/1815-9400-2023-2-60-65>
2. Krikov A. M., Ivanov N. M., Nemtsev A. E., Berdnikova R. G., Fedorov A. G. Information support of maintenance operations and technical diagnostics of tractors and trucks. *Vestnik of Omsk SAU*. 2020;(2):168–177. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43127772>.
3. Sapozhenkov N. O., Poptsov V. V., Nemkov M. V. Improving the technical readiness of fire trucks based on the analysis of actual failures. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2024;(12):183–186. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=79488297>.
4. Zarubin V. P. To increase the efficiency of transmission of fire engines through the use of lubricant compositions containing the powder of the artificial serpentine. *Problems of technosphere safety: proceedings of the international scientific and practical conference of young scientists and specialists*. 2020;(9):39–46. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46445335>.
5. Samsonov A. N., Toncheva N. N., Egorov V. P., Ivanov M. Yu. To the question of maintenance and repair of cars. In: *Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya nauki, tekhniki i obrazovaniya: sbornik nauchnykh trudov po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Cheboksary, 06 April, 2018*. Cheboksary, 2018. P. 145–148. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34915807>.
6. Bulatov S. V. The influence of personnel qualifications on the quality of services at car service stations. *Transport. Transport facilities. Ecology*. 2022;(2):5–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.15593/24111678/2022.02.01>
7. Kozlovskiy V. N., Vakulich E. A., Shakhov N. R. An algorithm for assessing the production service system quality of a high technological enterprise. Part 1. *Methods of Quality Management*. 2021;(7):38–45. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46242773>.
8. Nikulshin, S. V., Zaglada R. Yu. Improvement of the quality assessment methodology of the car maintenance and repair services in the car service system. In: *Aktual'nyye voprosy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: sbornik nauchnykh trudov po materialam 82-oy nauchno-*

- metodicheskoy i nauchno-issledovatel'skoy konferentsii MADI, Moscow, 30 January – 01 February, 2024. Moscow, 2024. P. 150–157. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61882701>.*
9. Wo Jae Lee, Haiyue Wu, Huitaek Yun, Hunjun Kim, Martin B. G. Jun, John W. Sutherland. Predictive maintenance of machine tool systems using artificial intelligence techniques applied to machine condition data. *Procedia CIRP*. 2019;80:506–511. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2018.12.019>
 10. Kane A. P., Kore A. S., Khandale A. N., Nigade S. S., Joshi P. P. Predictive maintenance using machine learning. *Machine Learning*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.09402>
 11. Bulokhova T. A., Tolmacheva K. P. Improving the quality of operation of electric locomotives by improving the organization of work on monitoring and diagnostics of locomotives based on MSUD. *Young Science of Siberia*. 2022;(2):340–347. (In Russ.) URL: <https://ojs.ircgups.ru/index.php/mns/article/view/720>.
 12. Bulokhova T. A., Tolmacheva K. P. Predictive diagnostics as a factor of the locomotive fleet efficiency increase at the Eastern range. *Young science of Siberia*. 2023;(2):426–432. (In Russ.) URL: <https://ojs.ircgups.ru/index.php/mns/article/view/1177>.
 13. Taltykin V. S. Method of accounting for human factors in the mathematical model of determining the quality of repair and maintenance of equipment of oil companies. *Bureniye i neft' = Drilling and oil*. 2018;(1):38–42. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32259978>.
 14. Maltsev D. V., Repetsky D. S. Control of production personnel when performing vehicle maintenance. *World of Transport*. 2020;18(6):238–247. <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2020-18-6-238-247>
 15. Beketova O. N., Frolov A. L., Arifullin M. V. Evaluation of the effectiveness of the functioning and quality management of the maintenance of the enterprise. In: *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya: aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sbornik statey XXXI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Penza, 20 February, 2023*. Penza, 2023. P. 70–73. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50285598>.
 16. Bondarenko E. V., Dryuchin D. A., Bulatov S. V. Evaluation of the feasibility of organizing incoming quality control of spare parts in a motor transport enterprise. *Intellect. Innovations. Investments*. 2021;(2):71–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2021-2-71>
 17. Kozin E. C., Rakitin V. A. Quality control of car maintenance and repair production using artificial intelligence. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2023;(12):297–300. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=59886547>.
 18. Zaharov N. S., Kozin E. S. Control of the technological process of car maintenance and repair using neural networks. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*. 2023;(4):43–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.20291/2079-0392-2023-4-43-51>
 19. Ziganshin A. A., Ziganshin R. A., Shtanov Y. N., Zakharov N. S. *Software of Control Maintenance of Auto: Certificate of state registration of computer programme No. 2024614675 Russian Federation: applied No. 2024612787 from 09.02.2024: published on 28.02.2024*. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=64587278>.
 20. Makarova A. N., Zakharov N., Abakumov G., Elesin S. Assessment of car engineering servicing quality based on failure information. *MATEC Web of Conferences*. 2021;341:00038. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202134100038>



Информация об авторе

Сарбей Александр Владимирович, аспирант кафедры эксплуатации автомобильного транспорта, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, sanya.sarbey@mail.ru

Information about the author

Alexander V. Sarbey, Postgraduate in the Department of Automobile Transport Operation, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, sanya.sarbey@mail.ru

Получена 12 марта 2025 г., одобрена 22 мая 2025 г., принята к публикации 30 мая 2025 г.

Received 12 March 2025, Approved 22 May 2025, Accepted for publication 30 May 2025



Влияние периодичности технического обслуживания на ресурс двигателей внутреннего сгорания

Н. С. Захаров¹, Н. О. Сапоженков¹ ✉, В. П. Назаров²

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

² Югорский государственный университет, ул. Чехова, 16, Ханты-Мансийск, 628012, Российская Федерация

✉ sapozhenkovno@tyuiu.ru

Аннотация. Ресурс тепловых двигателей транспортных и транспортно-технологических машин определяет эффективность широкого спектра технологических операций, поэтому обеспечение качества технического обслуживания с учетом условий и интенсивности эксплуатации техники – актуальная задача. Исследования сфокусированы на анализе 10-летнего опыта эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в транспортных подразделениях нефтегазодобывающих предприятий. На примере двигателей ЯМЗ-238 показано, что одной из основных причин снижения пробега до капитального ремонта является несвоевременное проведение технического обслуживания, коэффициент вариации периодичности которого превышает 0.5. Доведение этого значения до 0.1 повышает интегральные показатели безотказности функционирования и коэффициента технической готовности парка на 15 %, поэтому потенциальный резерв надежности двигателей может быть реализован на основе разработанного комплекса мероприятий по совершенствованию организации системы технического обслуживания в транспортных подразделениях нефтегазодобычи.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, унификация в технике, рекомендации заводов-изготовителей, наработки на отказ, периодичность технического обслуживания

Благодарности. Исследование выполнено за счет средств гранта НО «Благотворительный фонд «ЛУКОЙЛ».

Для цитирования: Захаров Н. С., Сапоженков Н. О., Назаров В. П. Влияние периодичности технического обслуживания на ресурс двигателей внутреннего сгорания. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2025;5(2):109–117. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-109-117> EDN: HPWCYK

The impact of maintenance frequency on the service life of internal combustion engines

Nickolay S. Zakharov¹, Nikolay O. Sapozhenkov¹ ✉, Vladimir P. Nazarov²

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

² Yugra University, 16 Chekhov St., Khanty-Mansiysk, 628012, Russian Federation

✉ sapozhenkovno@tyuiu.ru

Abstract. The service life of thermal engines in transportation and transport-technology machinery determines the efficiency of a wide range of technological operations. Therefore, ensuring high-quality

maintenance, considering the operating conditions and intensity of use, is a critical task. This research focuses on analyzing ten years of experience with internal combustion engines in transport divisions of oil and gas production companies. Using the YaMZ-238 engine as an example, it is shown that one of the primary reasons for the reduced mileage before overhaul is untimely maintenance, where the coefficient of variation in maintenance frequency exceeds 0.5. Reducing this value to 0.1 increases the integrated operational reliability and the technical readiness rate of the vehicle fleet by 15 per cent. Consequently, the potential reliability of the engines can be realized through a comprehensive set of measures designed to improve the organization of the maintenance system within the transport divisions of oil and gas production companies.

Keywords: internal combustion engine, unification in engineering, manufacturer's recommendations, time between failures, maintenance frequency

Acknowledgements. This research was supported by a grant from the NPO "LUKOIL Charity Fund".

For citation: Zakharov N. S., Sapozhenkov N. O., Nazarov V. P. The impact of maintenance frequency on the service life of internal combustion engines. *Architecture, Construction, Transport*. 2025;5(2):109–117. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2025-2-109-117>



1. Введение / Introduction

Доля специальной техники, транспортных и транспортно-технологических машин в структуре парка нефтедобывающих компаний превышает 60 % [1]. Данное обстоятельство существенно осложняет организацию системы планово-предупредительного технического обслуживания, так как эксплуатация такой техники осуществляется в суровых климатических условиях при отсутствии качественных дорог и в значительной удаленности от центров технического обслуживания [2, 3]. Многообразие используемых марок техники в сочетании с особенностями выполняемых задач приводит к значительным отступлениям от регламентов и нормативов периодичности технического обслуживания, что существенно повышает риск возникновения отказов. Вопросам повышения надежности двигателей внутреннего сгорания техники в сфере нефтегазодобычи посвящено немало фундаментальных работ отечественных [3–5] и зарубежных ученых [6–8]. Авторы указывают, что эксплуатационный потенциал двигателей существенно зависит от совершенства конструкции, условий эксплуатации и качества технического обслуживания. В инструкциях по эксплуатации также отмечается, что ресурс зависит от периодичности, технологии и состава технических операций в рамках утвержденной планово-предупредительной системы поддержания работоспособности. В качестве решения, в частности, предлагается использование однотипных силовых агрегатов в структуре технологического транспорта [6, 7], что позволяет оптимизировать эксплуатационные расходы за счет унификации запасных частей, сокращения необходимой технологической оснастки и снижения затрат на оборудование производственно-технических баз. Вместе с тем разнообразие условий и режимов эксплуатации приводит к отклонениям от установленных интервалов технического обслуживания [8–10], негативно влияя на надежность и сокращает срок службы техники [11–13]. Поэтому для полноценной реализации показателей надежности необходимо учитывать фактический опыт эксплуатации с применением апробированных методов анализа, оптимизации и масштабирования полученных данных [14–16].

Таким образом, обеспечение надежности двигателей внутреннего сгорания для организации непрерывного функционирования техники с учетом показателей эффективности, производительности и безопасности является актуальной задачей, влияющей на себестоимость непрерывных технологических процессов в нефтегазодобывающей отрасли. Выявление ключевых причин снижения ресурса является основой для совершенствования системы технического обслуживания, предотвращения большинства отказов и своевременной адаптации к конструктивным изменениям новых моделей. В связи с этим соотношение значений фактических показателей эксплуатации с рекоменда-

циями заводов-изготовителей на основе анализа наработок до капитального ремонта служит одним из наиболее эффективных инструментов оценки резервов повышения надежности для разработки практических рекомендаций по совершенствованию методов организации технического обслуживания на автотранспортных предприятиях. В этой связи целью исследования являлся анализ показателей эксплуатации парка транспортных и транспортно-технологических машин для разработки мероприятий по повышению ресурса двигателей внутреннего сгорания на объектах нефтегазодобычи.

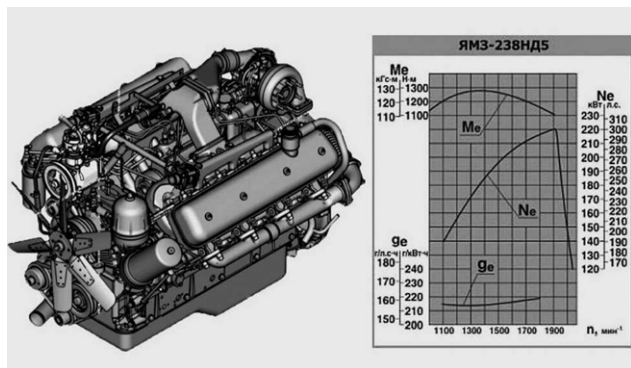


Рис. 1. Индикаторная диаграмма мощности и крутящего момента ЯМЗ-238НД5 (фото из открытых источников)

Fig. 1. Power and torque indicator diagram for YaMZ-238ND5 (photo from open sources)

Для оценки надежности были проанализированы данные по эксплуатации седельных тягачей МАЗ на инфраструктурных объектах нефтегазодобывающей отрасли. Выбор обусловлен интенсивной эксплуатацией данных грузовых автомобилей в несколько смен со среднегодовой наработкой более 100 тыс. км и регулярным техническим обслуживанием, что повышает достоверность полученных данных и позволяет применять их для исследования других типов транспортных средств с аналогичными двигателями. В качестве силового агрегата при комплектации такой техники используются двигатели ЯМЗ-238. Благодаря своей универсальности, прогрессивным техническим характеристикам, доступности запасных частей, конкурентной сто-

имости и наличию развитой сети технической поддержки завода-изготовителя данные двигатели широко используются в различных отраслях промышленности и транспорта с начала производства в 1960 г. (рис. 1).

Производитель предлагает различные комплектации двигателей, учитывающие специфические требования предприятий-изготовителей конечной техники. Каждая модификация проектируется в строгом соответствии с техническими заданиями и актуальными нормативными документами по эксплуатации, что позволяет использовать результаты исследования для повышения надежности силовых агрегатов в конструкции грузовых автомобилей, тракторов и других видов технологического транспорта [13].

2. Материалы и методы / Materials and methods

В ходе исследования были проанализированы данные по техническому обслуживанию и ремонту двигателей внутреннего сгорания в транспортных подразделениях организаций, занимающихся разработкой, строительством и обслуживанием нефтегазовых месторождений, за период более 10 лет. Полученная информация обрабатывалась с применением средств Microsoft Excel для определения технологически совместимых групп и формирования корректных датасетов с учетом условий и интенсивности эксплуатации.

На основании этого построены гистограммы плотности вероятности распределения наработок до технического обслуживания и капитального ремонта, по коэффициенту вариации которых приняты решения по совершенствованию методов обеспечения работоспособности, разработан комплекс организационно-технических мероприятий и определены резервы повышения надежности для обеспечения заданных показателей технической готовности парка.

Методология исследования основана на концепции формирования качества автомобильной техники [1], системном подходе и апробированных методах анализа данных [2–4].

3. Результаты и обсуждение / Results and discussion

Стратегия повышения надежности двигателей внутреннего сгорания реализуется через инструменты планово-предупредительной системы обслуживания. Данный подход позволяет определить приоритетные направления оптимизации на основе анализа фактических интервалов и отклонений реальной периодичности обслуживания от нормативной. Количественная оценка эксплуатационных показателей посредством коэффициента вариации позволяет объективно оценить своевременность и качество технического обслуживания путем анализа статистической изменчивости исследуемых параметров относительно средних значений в массиве экспериментальных данных.

Для рационального использования временных и материальных ресурсов при проведении технического обслуживания применяются методы унификации, это позволяет минимизировать излишнее разнообразие через оптимизацию количественных показателей, масштабов производства, технических характеристик и эксплуатационных параметров промышленного оборудования. Методология унификации активно используется при формировании технического парка нефтегазодобывающих предприятий, основой служат грузовые автомобили повышенной проходимости, на которые устанавливается специализированное оборудование (рис. 2).

Эффективность унификации измеряется коэффициентом доли унифицированных компонентов в общей номенклатуре деталей, его значение показывает соответствие процессов модернизации и адаптации техники к изменяющимся условиям эксплуатации, поэтому силовые установки стандартизированы и обеспечивают не только движение, но и работу дополнительного оборудования через механизмы отбора мощности. Это позволяет расширить перечень выполняемых задач для организации транспортного обеспечения процессов нефтегазодобычи [1], среди которых выделяют:

- техническую поддержку с применением вездеходной техники для перемещения и эксплуатации специального оборудования;
- реализацию срочных и плановых грузовых перевозок;
- обеспечение мобильности персонала;
- выполнение земляных и дорожно-строительных операций;
- организацию погрузочно-разгрузочных работ;
- снабжение удаленных производственных объектов необходимыми материалами.

Анализ статистики отказов и ресурсных показателей таких двигателей позволяет объективно корректировать периодичность технических воздействий в рамках системы технического обслуживания, что положительно отражается на эффективности эксплуатации. Параметры выполнения транспортной работы техники существенно отличаются, поэтому для корректной интерпретации полученных данных информация собиралась по однотипному технологическому транспорту, что повысило достоверность расчетов наработок до капитального ремонта. В результате исследования эксплуатационных характеристик репрезентативной выборки, включающей 70 силовых установок, документально зафиксировано, что средний пробег до капитального ремонта достигает 11.9 тыс. мото-часов при статистически значимом коэффициенте вариации равном 0.149. Комплексное изучение интервалов между техническими

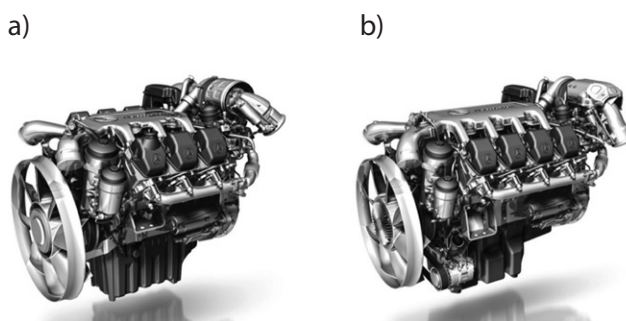


Рис. 2. Унификация дизельных двигателей внутреннего сгорания на примере автомобиля Mercedes Actros: а) двигатель V6 модели 501LA; б) двигатель V8 модели 502LA (фото из открытых источников)

Fig. 2. Unification of diesel internal combustion engines: the Mercedes Actros example: a) V6 Engine Model 501LA; b) V8 Engine Model 502LA (photo from open sources)

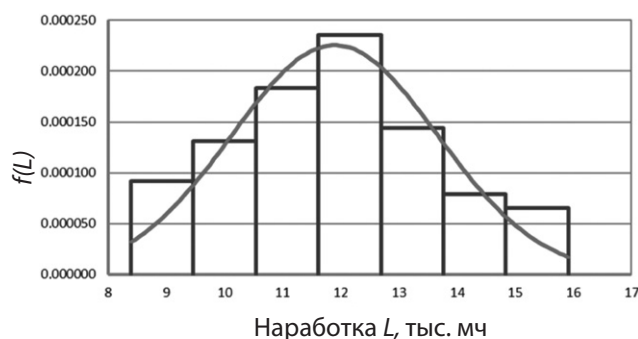


Рис. 3. Нарботка до капитального ремонта ЯМЗ-238 (график составлен авторами)
Fig. 3. Time to overhaul for YaMZ-238 engine (graph compiled by the authors)

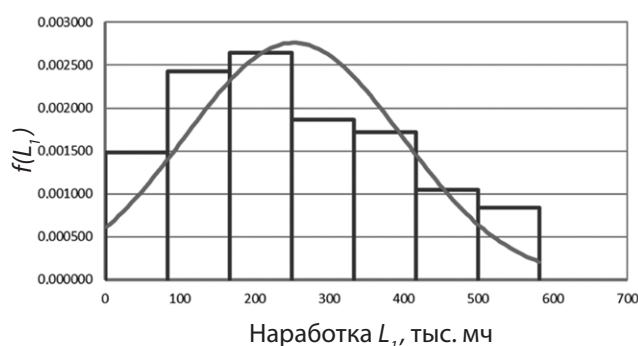


Рис. 4. Нарботка до ТО-1 ЯМЗ-238 (график составлен авторами)
Fig. 4. Operating hours to maintenance No. 1 for YaMZ-238 engine (graph compiled by the authors)

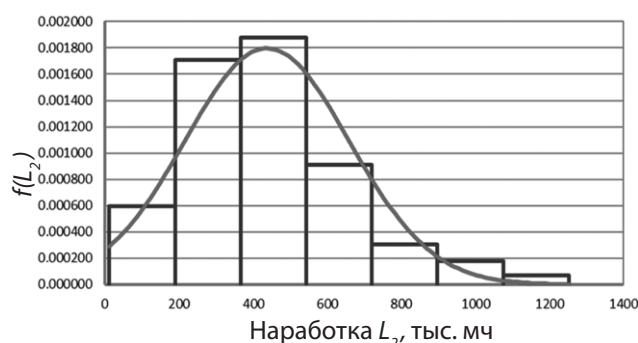


Рис. 5. Нарботка до ТО-2 ЯМЗ-238 (график составлен авторами)
Fig. 5. Operating hours to maintenance No. 2 for YaMZ-238 engine (graph compiled by the authors)

обслуживаниями для двигателей ЯМЗ-238, реализованное в соответствии с методологическим подходом, описанным в источнике [2], позволило установить следующие закономерности (рис. 3).

Математико-статистическая обработка массива эмпирических данных свидетельствует о том, что среднестатистический временной промежуток до осуществления регламентных работ в рамках ТО-1 составляет 218.3 мото-часа при коэффициенте вариации 0.57. Наблюдаемая существенная дивергенция относительно нормативно установленных параметров периодичности технического сервиса обусловила необходимость проведения углубленного аналитического исследования данных по фактической периодичности регламентного обслуживания (рис. 4).

Расчеты показали, что средняя наработка до ТО-2 составляет 437 мото-часов с коэффициентом вариации 0.51, что свидетельствует о существенном отклонении фактической периодичности технического обслуживания от нормативной (рис. 5).

В соответствии с официальной технической документацией, ресурс двигателей ЯМЗ-238 до первого капитального ремонта находится в диапазоне от 10 до 24 тыс. мото-часов эксплуатации и зависит от специфики конкретной модификации, условий и интенсивности эксплуатации. Применительно к первой категории эксплуатации базовый нормативный показатель установлен на уровне 20 тыс. мото-часов. При этом, принимая во внимание технические рекомендации производителя автомобилей МАЗ для четвертой категории эксплуатации, данный параметр скорректирован до 14 тыс. мото-часов. Эмпирические данные эксплуатационных наблюдений демонстрируют, что фактический ресурс силовых агрегатов ЯМЗ-238 не достигает декларируемых производителем значений, причем зафиксированный коэффициент вариации менее 0.15 является индикатором интенсивного использования седельных тягачей в режиме магистральных грузоперевозок, пре-

имущественно по дорожным покрытиям без твердого основания, что подтверждает достоверность полученных результатов.

Доминирующим фактором расхождения между фактическими и нормативными показателями наработки идентифицировано несоблюдение регламентированных интервалов технического обслуживания. Документально зафиксированы следующие фактические интервалы:

- ТО-1: 8.73 тыс. км (эквивалентно 218.3 мото-часам);
- ТО-2: 17.5 тыс. км (эквивалентно 437 мото-часам).

При этом нормативные значения, установленные для четвертой категории эксплуатации:

- ТО-1: 5.6 тыс. км (эквивалентно 140 мото-часам);
- ТО-2: 16.8 тыс. км (эквивалентно 420 мото-часам).

Производитель регламентирует допустимые отклонения от нормативной периодичности обслуживания в следующих пределах:

- ТО-1: 500 км (эквивалентно 12.5 мото-часам);
- ТО-2: 1 000 км (эквивалентно 25 мото-часам).

Резерв повышения надежности силовых агрегатов ЯМЗ-238 может быть эффективно реализован посредством строгого соблюдения установленного интервала ТО-1, который равен 140 мото-часам. Накопленный эксплуатационный опыт и ранее выполненные исследования [2–5] подтверждают, что снижение коэффициента вариации до значения 0.1 создает предпосылки для повышения интегральных показателей безотказности функционирования и коэффициента технической готовности парка транспортных и транспортно-технологических машин более чем на 15 %. Следовательно, детерминирующим фактором повышения эксплуатационной надежности двигателей ЯМЗ-238 является разработка и внедрение комплекса организационно-технических мероприятий, обеспечивающих строгое соблюдение регламентированной периодичности технического обслуживания ТО-1 и ТО-2.

4. Заключение / Conclusions

Проведенный комплексный анализ эксплуатационных показателей двигателей ЯМЗ-238 до капитального ремонта при использовании на седельных тягачах позволил установить, что фактический ресурс не достигает установленных нормативных значений с коэффициентом вариации наработок на отказ менее 0.15. Характер и частота возникновения неисправностей указывают на существенные возможности улучшения показателей надежности через совершенствование системы технического обслуживания. Статистический анализ собранных данных позволяет выделить следующие ключевые направления оптимизации:

- внедрение научно обоснованных нормативов периодичности технического обслуживания для предотвращения выявленных отказов на основании системы профилактических проверок технического состояния в рамках планового обслуживания;
- разработка модели прогнозирования трудозатрат на текущий ремонт автопарка с учетом растущей наработки для эффективного планирования загрузки ремонтных площадей и формирования оптимального запаса комплектующих, расходных материалов и специального инструмента для проведения ремонтных работ;
- совершенствование системы планирования финансовых затрат для поддержания работоспособности автопарка и осуществление своевременной корректировки сроков эксплуатации с учетом выявленных значимых факторов влияния.

Результаты исследования показали, что ключевой причиной несоответствия реального ресурса двигателей заявленным нормативам является нарушение сроков проведения ТО-1 и ТО-2, что подтверждается коэффициентом вариации наработок постановки на техническое обслуживание более 0.5. Следовательно, повышение надежности двигателей ЯМЗ-238 может быть достигнуто путем разработки и внедрения комплекса мер, обеспечивающих строгое соблюдение установленных интервалов обслуживания и корректирования периодичности ТО-1 до 140 мото-часов наработки.



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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Захаров Н. С., Некрасов В. И., Базанов А. В., Бауэр В. И., Бояркина Е. Ф., Вохмин Д. М. (и др.). *Сервис транспортных, технологических машин и оборудования в нефтегазодобыче*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2019.
2. Захаров Н. С. *Моделирование процессов изменения качества автомобилей*. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет; 1999. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21266500>.
3. Захаров Н. С., Сапоженков Н. О. Моделирование процессов формирования уровня заряженности автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период. *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*. 2016;(3):232–237.
4. Кузнецов Е. С. *Управление технической эксплуатацией автомобилей*. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Транспорт; 1990.
5. Великанов Н. Л., Наумов В. А. Моделирование и анализ внешних скоростных характеристик дизелей при проектировании. *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2024;(1):19–22. URL: <https://sciup.org/148328239>.
6. Srinivaas A., Sakthivel N. R., Nair B. B. Machine Learning Approaches for Fault Detection in Internal Combustion Engines: A Review and Experimental Investigation. *Informatics*. 2025;12(1):25. <https://doi.org/10.3390/informatics12010025>
7. Santonocito D., Brusca S. Analytical and numerical methods for the identification of torsional oscillations and forcing in internal combustion engines. *Engineering Proceedings*. 2025;85(1):3. <https://doi.org/10.3390/engproc2025085003>
8. Liss M., Martynyuk V., Martinod R. Dynamic analysis of an internal combustion engine made in downsizing technology. *MATEC Web of Conferences*. 2024;391:01009. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439101009>.
9. Борисенко А. Н. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов в условиях холодных районов с использованием цифрового двойника автотранспортного предприятия. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):88–97. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-88-97>.
10. Бондарева Г. И., Темасова Г. Н., Вергазова Ю. Г., Леонов Д. О. Элементы мониторинга затрат на контроль при ремонте дизелей ЯМЗ. В сб.: *Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей VIII международной научной конференции, Казань, 2021*. Казань: Конверт; 2021. С. 8–11. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46582904>.
11. Иовлев Г. А., Голдина И. И. Износ: определение, практическое значение для организации технического обслуживания и ремонта. *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2021;(1):31–39. URL: https://vestnik.pstu.ru/obgtrans/archives/?id=&folder_id=9987.
12. Дунаев А. В., Ломовских А. Е., Пустовой И. Ф., Саяпин А. С. Апробированное совершенствование сервиса автотракторных двигателей. *Технический сервис машин*. 2021;(1):24–33. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-1-24-33>
13. Родионов Ю. В., Баглаев А. А., Свиридов А. А., Север А. В., Хохлов И. Г., Кубасов В. Г. Повышение эксплуатационных показателей дизельного двигателя внутреннего сгорания. *Наука в центральной России*. 2024;68(2):33–46. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-33-46>
14. Андросов П. В. Специфика эксплуатации в условиях Крайнего Севера технологических машин и оборудования. *Теория и практика науки*. 2022;(8):28–36.
15. Курносов А. Ф., Гуськов Ю. А. Концептуальная модель диагностической системы для оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2023;17(4):185–196.
16. Холхужаев Э. М. Производственно-логистическое планирование технического обслуживания и ремонта автомобилей. *Вестник науки*. 2022;3(3):145–149. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48109210>.

References

1. Zakharov N. S., Nekrasov V. I., Bazanov A. V., Bauer V. I., Boyarkina Ye. F., Vokhmin D. M. [et al.]. *Service of transport, technological machines and equipment in oil and gas production*. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2019. (In Russ.)

2. Zakharov N. S. *Simulation of processes of change in quality cars*. Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University; 1999. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21266500>.
3. Zakharov N. S., Sapozhenkov N. O. Modelling of formation car batteries level of charge in winter. *Modern Technologies. System Analysis. Modeling*. 2016;(3):232–237. (In Russ.)
4. Kuznetsov Ye. S. *Management of technical operation of vehicles*. 2nd edition, revised. Moscow: Transport; 1990. (In Russ.)
5. Velikanov N. L., Naumov V. A. Modeling and analysis of external high-speed characteristics of diesel engines in the design. *Technico-tehnologicheskie problemy servisa*. 2024;(1):19–22. (In Russ.) URL: <https://sciup.org/148328239>.
6. Srinivaas A., Sakthivel N. R., Nair B. B. Machine Learning Approaches for Fault Detection in Internal Combustion Engines: A Review and Experimental Investigation. *Informatics*. 2025;12(1):25. <https://doi.org/10.3390/informatics12010025>
7. Santonocito D., Brusca S. Analytical and numerical methods for the identification of torsional oscillations and forcing in internal combustion engines. *Engineering Proceedings*. 2025;85(1):3. <https://doi.org/10.3390/engproc2025085003>
8. Liss M., Martynyuk V., Martinod R. Dynamic analysis of an internal combustion engine made in downsizing technology. *MATEC Web of Conferences*. 2024;391:01009. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202439101009>.
9. Borisenko A. N. Enhancement of the maintenance and repair system for haul trucks in cold regions using a digital twin of the transportation enterprise. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4):88–97. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-88-97>
10. Bondareva G. I., Temasova G. N., Vergazova YU. G., Leonov D. O. Elements of monitoring costs for control during repair of YAMZ diesel engines. In: *Priority areas of innovation activity in industry: collection of scientific articles of the VIII international scientific conference, Kazan, 2021*. Kazan: Konvert; 2021. P. 8–11. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46582904>.
11. Iovlev G. A., Goldina I. I. Wear: definition, practical importance for the arrangement of maintenance and repair. *Transport. Transport Facilities. Ecology*. 2021;(1):31–39. (In Russ.) URL: https://vestnik.pstu.ru/obgtrans/archives/?id=&folder_id=9987.
12. Dunaev A. V., Lomovskikh A. E., Pustovoy I. F., Sayapin A. S. Approbated improvement of the service of automotive engines. *Machinery Technical Service*. 2021;(1):24–33. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-1-24-33>
13. Rodionov Yu., Baglaev A., Sviridov A., Sever A., Khokhlov I., Kubasov V. Increasing the performance indicators of a diesel internal combustion engine. *Science in the Central Russia*. 2024;68(2):33–46. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-33-46>
14. Androsova P. V. Specifics of operation in the conditions of the far north of technological machines and equipment. *Teoriya i praktika sovremennoy nauki*. 2022;(8):28–36. (In Russ.)
15. Kurnosov A. F., Guskov Yu. A. Conceptual model of a diagnostic system for assessing technical condition of internal combustion engine. *Far East agrarian herald*. 2023;17(4):185–196. (In Russ.)
16. Kholkhuzhaev E. M. Production and logistics planning of car maintenance & repair. *Science Bulletin*. 2022;3(3):145–149. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48109210>.



Информация об авторах

Захаров Николай Степанович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, zakharovns@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8415-0505>

Сапоженков Николай Олегович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры сервиса автомобилей и технологических машин, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, sapozhenkovno@tyuiu.ru

Назаров Владимир Павлович, канд. техн. наук, доцент, доцент высшей инженеринговой школы, Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Российская Федерация, vpnazarov72@yandex.ru

Information about the authors

Nikolay S. Zakharov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Head in the Department of Automative Service and Technological Machinery, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, zakharovns@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8415-0505>

Nikolay O. Sapozhenkov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Automative Service and Technological Machinery, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, sapozhenkovno@tyuiu.ru

Vladimir P. Nazarov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Higher Engineering School, Yugra University, Khanty-Mansiysk, Russian Federation, vpnazarov72@yandex.ru

*Получена 20 декабря 2024 г., одобрена 24 марта 2025 г., принята к публикации 30 мая 2025 г.
Received 20 December 2024, Approved 24 March 2025, Accepted for publication 30 May 2025*

Правила подготовки рукописи

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

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

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

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

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

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

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

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

- аффилиацию автора;
- аннотацию (130–180 слов);
- ключевые слова (5–7 слов и (или) словосочетаний);
- благодарности (информация о грантовой поддержке, при которой было реализовано исследование, а также благодарность в адрес других ученых и/или предприятий, оказавших содействие в реализации исследования);
- основной текст статьи;
- вклад авторов;
- конфликт интересов;
- список литературы (не менее 20 источников);
- сведения об авторах: полные Ф.И.О., должность, ученая степень, звание, место работы, e-mail, ORCID.

6. Структура основного текста статьи должна включать следующие рубрики, согласно стандарту IMRAD:

- **Введение.** Включает актуальность исследования, обзор литературы по теме исследования, постановку проблемы, формулирование цели и задач исследования.
- **Материалы и методы / Методы.** Данный раздел включает детальное описание методов и схемы экспериментов/наблюдений, позволяющих воспроизвести их результаты, пользуясь только текстом статьи; материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений.
- **Результаты и обсуждение.** Результаты рекомендуется представлять преимущественно в виде таблиц, графиков и иных наглядных формах. Этот раздел включает анализ полученных результатов, их интерпретацию, сравнение с результатами других авторов.
- **Заключение.** Подводятся итоги научного исследования. Заключение содержит выводы, кратко формулирующие основные научные результаты статьи. Выводы должны логически соответствовать поставленным в начале статьи задачам, содержать краткие итоги разделов статьи без повторения формулировок, приведенных в них.

7. Рукопись, допущенная к публикации, проходит принятый редакцией процесс допечатной подготовки, включающий редактирование, корректуру, верстку.

8. Рукописи, не удовлетворяющие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются.

9. Плата за опубликование рукописей **не взимается**.

10. С полным перечнем требований можно ознакомиться на сайте журнала ast.tyuiu.ru.

Перепечатка материалов или их фрагментов возможна только с письменного разрешения редакции. Ссылка на научно-информационный журнал «Архитектура, строительство, транспорт» **обязательна!**

Manuscript preparation guidelines

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Reprinting of materials or their fragments is possible only with the written permission of the publisher. A link to the scientific and reference journal "Architecture, Construction, Transport" **is required!**

АСТ

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

Уважаемые авторы и читатели!

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

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



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

Подписной индекс
журнала 79619

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

