

DOI 10.31660/2782-232X-2024-4

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

АСТ

АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

ARCHITECTURE • CONSTRUCTION • TRANSPORT



№ 4
2024

16+

АРХИТЕКТУРА СТРОИТЕЛЬСТВО ТРАНСПОРТ

Научно-информационный журнал

Издается с 2021 года

ARCHITECTURE CONSTRUCTION TRANSPORT

The scientific and information journal

The journal has been published since 2021

№ 4
2024

Цели и задачи

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

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



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

2.1.1 Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)
2.1.2 Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки)
2.1.3 Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение (технические науки)
2.1.4 Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов (технические науки)
2.1.5 Строительные материалы и изделия (технические науки)
2.1.8 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

2.1.9 Строительная механика (технические науки)
2.1.11 Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия (архитектура, технические науки)
2.1.12 Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности (архитектура, технические науки)
2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)
2.5.6 Технология машиностроения (технические науки)
2.9.5 Эксплуатация автомобильного транспорта (технические науки)



Журнал издается с 2021 г.

Периодичность: 4 раза в год

Тираж: 400 экз.

Префикс DOI: 10.31660

Свидетельство о регистрации СМИ: ПИ № ФС77-80657 от 07.04.2021 года выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

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

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

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

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

Копирайт: © Архитектура, строительство, транспорт, 2024

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

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

Цена: свободная

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

Телефон редакции: +7 (3452) 28-37-50

E-mail: ast@tyuiu.ru

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

Верстка: Николок С. А.

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

Дата выхода: 23.12.2024

Aims and Scope

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

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

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

2.1.1 Construction structures, buildings and facilities (engineering sciences)
2.1.2 Bases and foundations, underground structures (engineering sciences)
2.1.3 Heat supply, ventilation, air conditioning, gas supply and illumination (engineering sciences)
2.1.4 Water supply sewerage, construction systems for water resources protection (engineering sciences)
2.1.5 Construction materials and products (engineering sciences)
2.1.8 Design and construction of roads, subways, airfields, bridges and transport tunnels (engineering sciences)
2.1.9 Structural mechanics (engineering sciences)

2.1.11 Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical and architectural heritage (architecture, engineering sciences)
2.1.12 Architecture of buildings and structures. Creative conceptions of architectural activity (architecture, engineering sciences)
2.5.5 Technology and equipment for mechanical, physical and technical processing (engineering sciences)
2.5.6 Machine-building technology (engineering sciences)
2.9.5 Operation of motor transport (engineering sciences)

The journal has been published since 2021

Frequency: 4 times a year

Print run: 400 copies

DOI Prefix: 10.31660

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

Distribution: content is distributed under Creative Commons Attribution 4.0 License

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

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

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

Copyright: © Architecture, Construction, Transport, 2024

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

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

Price: flexible

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

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

E-mail: ast@tyuiu.ru

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

Page layout: Svetlana A. Nikolyuk

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

Published: 23.12.2024

Главный редактор

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

Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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)

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

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

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

Содержание

АРХИТЕКТУРА

О. О. Чайникова
Архитектурный комплекс зданий станции Александровской Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги 8

Л. Г. Дьячкова, Ю. В. Ордынская, К. С. Ильин
Проблема организации торговых нестационарных объектов в городской среде Хабаровска 22

Д. Н. Султанова
Крупнопанельное домостроение в градостроительстве Самарканда (Узбекистан) 35

СТРОИТЕЛЬСТВО

Г. А. Зимакова, Е. А. Каспер, О. С. Бочкарева
Механические свойства цементных композитов, армированных керамическим волокном 44

Е. Г. Матыс, А. А. Шкилева, О. В. Сидоренко
Технико-экономическое обоснование проекта реконструкции станции водоподготовки 55

М. Н. Сабукевич
Преимущества перехода на индивидуальные тепловые пункты в системе городского теплоснабжения 68

С. А. Куюков, П. Ю. Третьяков, А. А. Тестешев, А. В. Замятин, А. А. Жигайлов
Электропроводящий нагреваемый цементобетон на основе графита 77

ТРАНСПОРТ

А. Н. Борисенко
Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов в условиях холодных районов с использованием цифрового двойника автотранспортного предприятия 88

ВЕКТОР НАУКИ

И. Г. Овчинников, И. О. Разов, Н. Б. Кудайбергенов
Симбиоз аддитивных технологий, бионики и фрактального подхода в мостостроении 98

И. А. Чекардовская, С. М. Чекардовский, М. Н. Чекардовский
Совершенствование методики критериальной оценки научных исследований магистров инженерных программ обучения 107

М. С. Остапенко, У. Ш. Холбоева, А. М. Тверяков
Разработка онлайн-приложения для автоматизации построения «дома качества» при проведении QFD-анализа ... 114

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Правила подготовки рукописи 124

Contents

Olesya O. Chainikova
Architectural complex of Alexandrovskaya station,
Saint Petersburg – Warsaw railway 8

**Lyudmila G. Dyachkova, Yulia V. Ordynskaya,
Konstantin S. Ilyin**
Challenges of organizing non-stationary retail structures
in the urban fabric of Khabarovsk 22

Dilshoda N. Sultanova
The role of large-panel system construction
in the urban development of Samarkand, Uzbekistan 35

Galina A. Zimakova, Elena A. Kasper, Olga S. Bochkareva
Mechanical properties of cement composites reinforced
with ceramic fiber 44

Elena G. Matys, Anna A. Shkileva, Olga V. Sidorenko
Feasibility study for the reconstruction
of a water treatment plant 55

Maria N. Sabukevich
Benefits of individual heat points in municipal heat supply 68

**Sergey A. Kuyukov, Peter U. Tretyakov,
Alexander A. Testeshev, Alexey V. Zamyatin,
Alexander A. Zhigailov**
Electrically conductive cement concrete using graphite 77

Alexander N. Borisenko
Enhancement of the maintenance and repair system
for haul trucks in cold regions using a digital twin
of the transportation enterprise 88

Igor G. Ovchinnikov, Igor O. Razov, Nurlan B. Kudaibergenov
Synergy of additive technologies, bionics and fractal
approach in bridge engineering 98

**Irina A. Chekardovskaya, Sergey M. Chekardovsky,
Mikhail N. Chekardovsky**
Improving the criteria-based evaluation assessment
for master's research in engineering programs 107

**Maria S. Ostapenko, Umida S. Kholboeva,
Andrey M. Tveryakov**
Developing an online application for automating
"house of quality" construction for QFD analysis 114

Manuscript preparation guidelines 124

**Архитектура, строительство, транспорт
Architecture, Construction, Transport
2024;(4)**

ARCHITECTURE

CONSTRUCTION

TRANSPORT

VECTOR OF SCIENCE

INFORMATION
FOR AUTHORS

Научная статья / Original research article
УДК 711.01.09
<https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-8-21>

2.1.11 Теория и история архитектуры, реставрация
и реконструкция историко-архитектурного наследия
(архитектура, технические науки)



Архитектурный комплекс зданий станции Александровской Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги

О. О. Чайникова ✉

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

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

✉ restavr2015@gmail.com

Аннотация. Основу работы составляют результаты проведенных автором историко-культурных исследований архитектурного комплекса зданий железнодорожных станций участка от Санкт-Петербурга до Гатчины Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги. В ходе исследования изучена история строительства комплекса зданий станции Александровской в период с 1852 по 1854 гг. под руководством архитектора, титулярного Советника К. А. Скаржинского и ответственного за выполнение работ Э. И. Герстфельда во время строительства первой международной ветки железной дороги царской России, а также их перестройки, разрушения и утраты в 1900-х гг. Исследованием подтвержден принцип типового проектирования объектов железнодорожного хозяйства в части планировочных и объемно-пространственных характеристик. В рамках определения историко-культурных ценностных параметров объекта исследования установлен состав зданий станций исследуемого участка железной дороги, их приоритетность, структурная подчиненность в составе комплекса. Выявлены стилистические особенности и принципы формирования архитектурного комплекса зданий станции Александровской, послужившие основанием для включения комплекса сохранившихся зданий в список выявленных объектов культурного наследия.

Ключевые слова: Петербурго-Варшавская железная дорога, типовый проект станций, архитектурный комплекс железной дороги, историко-культурная ценность

Для цитирования: Чайникова О. О. Архитектурный комплекс зданий станции Александровской Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):8–21. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-8-21>

Architectural complex of Alexandrovskaya station, Saint Petersburg – Warsaw railway

Olesya O. Chainikova ✉

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 3/6 3rd

Krasnoarmeiskaya St., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation

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

✉ restavr2015@gmail.com

Abstract. This study is based on the author's historical and cultural research into the architectural complex of railway stations between Saint Petersburg and Gatchina on the Saint Petersburg–Warsaw Railway. The research

examined the history of Alexandrovskaya station's construction from 1852 to 1854, under the guidance of architect, Titular Counselor K. A. Skardzhinsky and responsible for work execution E. I. Gerstfeld during the construction of Tsarist Russia's first international railway line. It also investigated the station's subsequent reconstruction, destruction, and loss in the early 20th century. The research confirmed the principle of standardized design for railway facilities in terms of planning and spatial characteristics. To determine the historical and cultural value of the research object, the composition of the station buildings along the section of railway under study was established, along with their priority and structural hierarchy within the complex. The study identified the stylistic features and principles that shaped the complex of Alexandrovskaya station, providing the basis for its inclusion on the list of identified cultural heritage sites.

Keywords: Saint Petersburg–Warsaw Railway, standardized design of stations, architectural complex of the railroad, historical and cultural value

For citation: Chainikova O. O. Architectural complex of Alexandrovskaya station, Saint Petersburg – Warsaw railway. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4):8–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-8-21>



1. Введение

Научный контекст исследования базируется на немногочисленных литературных источниках, трудах, изданиях, посвященных общей истории сооружения первых железных дорог и участка Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги от Санкт-Петербурга до Гатчины в царской России в середине XIX века [1–5], строительству станций и зданий вокзалов и их «повторности» [6–9], основным принципам функциональной организации станций [7–9], а также установлению мемориальной ценности и роли станции Александровской в жизни августейшей семьи [10]. Результаты настоящего исследования были использованы автором также при проведении судебной историко-культурной экспертизы с целью определения историко-культурной ценности комплекса зданий станции Александровской в 2023 г.

Комплексное изучение станций железной дороги на протяжении от Санкт-Петербурга до Гатчины до настоящего времени не проводилось, в ходе исследований автором не выявлено.

Развитие малых городов и исторических поселений, историческим ядром которых являются железнодорожные станции, в числе которых значится и станция Александровская в одноименном поселке, определяют актуальность исследования.

История строительства железных дорог в России достаточно широко освещена в литературе, научных исследованиях и берет свое начало со строительства первой царской ветки из Петербурга в Царское Село в 1836–1837 гг. [1–5]. Развитие железнодорожной сети на территории России происходило постепенно и методично.

2. Материалы и методы

Объектом исследования определен архитектурный комплекс зданий станции Александровской на первом участке Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги, проложенном в 1852–1854 гг. и соединившем Санкт-Петербург и Гатчину.

Предметом исследования выступает перечень ценностных параметров комплекса сохранившихся зданий станции Александровской, послуживших основанием для включения комплекса в список выявленных объектов культурного наследия.

Цель исследования – выявление общего и отличительных особенностей в организации комплекса станций на примере станции Александровской, заложенных автором проекта станций железной дороги на участке Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги от Санкт-Петербурга до Гатчины, с последующим определением историко-культурной ценности архитектурного комплекса или отдельных строений.

Задачи исследования включали:

- изучение истории строительства первого участка Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги и установление основных принципов формирования архитектурного ансамбля, состава и планировочной организации комплекса станций;
- анализ элементов комплекса на примере наиболее сохранившейся в части планировочной структуры и типологического состава станции Александровской;
- установление авторства проектов станции;
- выявление иных ценностных параметров комплекса.

В основе исследования лежит комплексно-научный подход, который включает в себя историко-архивные, библиографические исследования (изучены основные сведения, содержащиеся в архивных и литературных источниках, отчетах железнодорожного общества, исторической проектной документации и исторических фотографиях), а также натурное обследование объекта с целью выявления материалов, содержащих сведения по истории освоения участка, включая перестройки, утраты, реконструкции, проведение ремонтных работ по объекту с применением конкретно-исторического подхода.

Работа основана на предположении, что комплекс станций Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги представляет собой единый архитектурный ансамбль: все элементы типовых строений, рассмотренных на примере станции Александровской, имеют сходные функциональные, пространственно-планировочные, объемные и стилистические характеристики, а также имеют мемориальное значение как сохранившиеся объекты истории царской России.

Выбор на участке вдоль железной дороги от Санкт-Петербурга до Гатчины именно станции Александровской обоснован ее максимальной сохранностью; временные границы исследуемого комплекса определены периодом его строительства (1852–1854 гг.), перестроений и утраты некоторых зданий (1900-е гг.).

3. Результаты и обсуждение

Во время строительства Александровского дворца, в 1790-х гг., появляется деревня, которая с 1800-х гг. упоминается под названием Александровка^{1,2}.

В 1851 г., когда начались работы по изысканиям для проектирования и строительства дороги в Варшавском направлении, ветка железнодорожного полотна проходила вблизи Царского Села, в границах исследуемой территории – станции Александровской.

В 1851 г., вскоре после официального открытия Петербурго-Московской железной дороги, император Николай I издал указ о строительстве железной дороги от Санкт-Петербурга до Варшавы (будущей Санкт-Петербурго-Варшавской дороги). К строительству приступили в мае 1852 г., управлял работами инженер-генерал-майор Эдуард Иванович Герстфельд [11].

В сентябре 1852 г., согласно архивным записям³, утвердили план будущего Царского Села, на котором было обозначено место для строительства станции на Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороге. Авторство разработанного плана не установлено, план не обнаружен.

¹ История поселка «Александровская». Режим доступа: <https://www.xn--80aaahje9addiqgh1alg4v.xn--p1ai/istoriya-posyelka-aleksandrovskaya/> (дата обращения: 12.03.2024).

² Поселок Александровская. Режим доступа: <https://pushkin.spb.ru/encycl/rayoni/aleksandrovskay.html> (дата обращения: 12.03.2024).

³ РГИА СПб. Ф. 354. Оп. 1. Д. 41, письмо от 22.09.1852 г. № 5027.

«Начинаясь в С. Петербурге у Обводного канала, Варшавская железная дорога огибает Пулковскую гору, проходит в 3 вер. от Царского Села, в ½ версте от Гатчины, в ¼ версты от Луги, в 1 версте от Пскова, в ¾ версты от Острова, ниже которого переходит через р. Великую и достигает до г. Динабурга» [11]. Участок «от С. Петербурга до Гатчины устроен в 2 пути; на прочем протяжении, равно как и на ветви к прусской границе, земляное полотно и каменные части мостов построены под два пути. С одиночным рельсовым путем» [11]. Ширина колеи строящейся железной дороги была определена в 5 футов (1 524 мм), позже этот размер станет обязательным для всех российских дорог. Строительство велось одновременно и от Санкт-Петербурга, и от Варшавы, и уже 1 ноября 1853 г. был открыт для движения поездов первый участок железной дороги до Гатчины протяженностью 45 км.

Для наглядного понимания масштаба строительства представлен фрагмент генплана 1858 г. с трассой Петербурго-Варшавской железной дороги, которая на рис. 1 отмечена желтым цветом (другие основные трассы железных дорог царской России также отмечены цветом: синим – Царскосельская, красным – Николаевская (Санкт-Петербург-Московская), фиолетовым – Петергофская железные дороги). На рис. 2 представлен схематический план расположения путей Санкт-Петербургского железнодорожного узла 1910 г., Санкт-Петербург-Варшавская железная дорога обозначена также желтым цветом.

В 1852 г. «Высочайше утвержденный проект станции С.Петербург-Варшавской железной дороги в Царском Селе и Гатчино с разрезом <...>»⁴ был представлен в работу.

К декабрю 1852 г. «проекты на пяти листах сооружений при станциях С.Петербург-Варшавской железной дороги в Царском Селе и Гатчино для составления смет» направлены с приложением описи зданий и строений:

- «1. Общий план станции в Царском Селе и Гатчине.
2. Фасад водоемных домов на станции в Царском Селе и Гатчино с планом и разрезом.



Рис.1. Генеральный план столичного города Санкт-Петербурга (фрагмент). 1858 г.⁵
Fig. 1. Master plan of capital city of Saint Petersburg (fragment). 1858⁵

⁴ РГИА СПб. Ф. 354. Оп. 1. Д. 41, письмо от 29.10.1852 г. № 5546.

⁵ Генеральный план столичного города Санкт-Петербурга. 1858 год. Режим доступа: https://www.aroundspb.ru/karty/367/spb_1858.html (дата обращения: 08.03.2024).

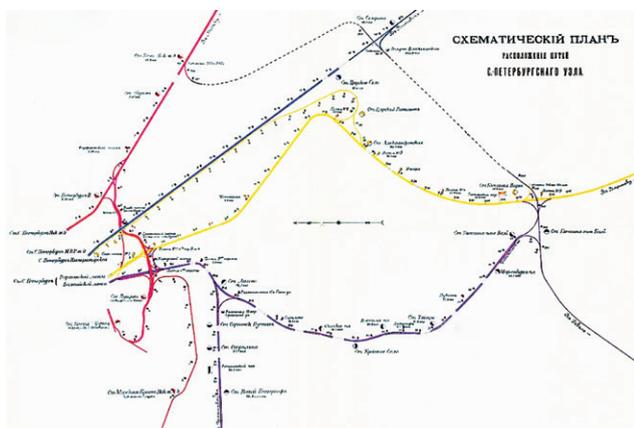


Рис. 2. Схематический план расположения путей Санкт-Петербургского узла (фрагмент). 1910 г.⁶
 Fig. 2. Schematic plan of the Saint Petersburg railway junction (fragment). 1910⁶

В ходе строительства станций осуществлялись изменения и отступления от проекта, так, «осматривая производящиеся работы станционных зданий <...>, (Главкомандующий Клейнмихель) приказал изволить выходы из временных пассажирских домов на платформы в Санкт-Петербурге, Царском Селе и Гатчине устроить на чугунных колоннах»¹⁰. Рапорты архитектора-строителя станций в Санкт-Петербурге, Царском Селе и Гатчино свидетельствуют о том, что как таковой авторский надзор за строительством зданий станций отсутствовал, применялся типовой проект зданий, который уже в ходе работ на месте подвергался корректировкам, уточнениям, дополнениям на личное усмотрение Высочайшего чиновника.

В 1853 г. Высочайше утверждены и направлены в производство планы общего расположения станций, временных строений, фасадов временных пассажирских домов при станциях¹¹.

В помощники архитектору-строителю К. А. Скаржинскому определены «художник архитектуры Горностаев и выпущенные в сем году из Строительного Училища Архитекторскими помощниками с чином Коллежского Секретаря: Сальманович, Куроедов <...>» и др.¹² Архивные данные свидетельствуют о непричастности будущего инженера-архитектора П. О. Сальмоновича к проекту здания станции Александровской, так как планы типового проекта здания станции и проекты других зданий

3. Фасад локомотивного здания и вагонного сарая на сих станциях с планом и разрезом.

4. Фасад сараев для дров на тех же станциях с планом и разрезом.

5. Фасад ретиральных мест с планом и разрезом»⁷.

Перечисленные документы в архивах не обнаружены, авторство не установлено.

В апреле 1853 г. строительство Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги вместе с работами по сооружению станций в Царском Селе и Гатчине перешло от Герстфельда в ведение академика, титулярного советника Скаржинского⁸ («<...> в дополнение <...> к обязанности Вашей относиться будет и устройство водоподъемных зданий как на сих станциях так и равно на станции Санкт-Петербург»⁹).

⁶ Схематический план расположения путей Санкт-Петербургского узла. 1910 г. Режим доступа: <https://www.aroundspb.ru/maps/rroads/1910%20peterburgsk.jpg> (дата обращения: 08.03.2024).

⁷ РГИА СПб. Ф. 354. Оп. 1. Д. 41, письмо от 13.12.1852 г. № 6405.

⁸ РГИА СПб. Ф. 354. Оп. 1. Д. 5.

⁹ РГИА СПб. Ф. 354. Оп. 1. Д. 41.

¹⁰ РГИА СПб. Ф. 354. Оп. 1. Д. 41, рапорт от 02.06.1853 г. № 26.

¹¹ Там же.

¹² РГИА СПб. Ф. 354. Оп. 1. Д. 5, письмо от 27.06.1853 г. № 3546.

и строений станции были Высочайше утверждены в 1852 г. – до привлечения к работам по строительству станции как архитектора Скаржинского, так и «архитекторского помощника» Сальмоновича.

В ряде источников о станции ошибочно указывается, что типовой проект железнодорожной станции выполнен архитектором П. О. Сальмоновичем, но в биографическом словаре зодчих Санкт-Петербурга, а также в иных библиографических изданиях о его участии и тем более авторстве в проекте здания вокзала станции Александровской не упоминается [11–14].

Установление авторства работ являлось сложной задачей для всех поколений. Чаще всего чертежи подписывал инженер, а не архитектор, так как здания были типовыми и выполняли прежде всего техническую функцию [15].

Строительство станции в Царском Селе началось в 1853 г., о чем говорится в донесении: «устройство пассажирского дома начато 20 мая сего года»¹³.

Планировочные решения комплекса станции Александровской по состоянию на 1853 г. с привокзальной площадью, организацией железнодорожных путей, размещением зданий и строений станции были реализованы частично: в части трассировки железнодорожных путей по обе стороны от здания вокзала и расположения зданий станции, в том числе «водоемных зданий», которые изначально проектировались парными и предназначались для снабжения станции водой из Таицкого водопровода¹⁴.

Согласно сведениям из аккуратных рапортов Скаржинского, участок железной дороги от Санкт-Петербурга до Гатчины был устроен практически полностью, со всеми зданиями и строениями к концу 1854 г.

В середине XIX в. нормативы по строительству железнодорожного хозяйства отсутствовали, но тем не менее архитекторы продолжали решать архитектурные и градостроительные задачи. В русском градостроительстве XVIII–XIX вв. широко применялись принципы типизации и повторности, на которых основывалось в том числе строительство придорожных зданий и сооружений крупнейших дорог России. Типовое проектирование ограничивалось только фасадами и имело рекомендательный характер. Благодаря этому некоторые необходимые решения по изменению композиции планов и фасадов казенных зданий принимались прямо на местах.

Первая крупная железнодорожная магистраль России Петербург – Москва, открытая в 1851 г., на своем протяжении имела здания и строения, возведенные с применением «принципов типизации или, скорее, повторности»¹⁵.

Для железной дороги Петербург – Москва архитектор Р. А. Желязевич разработал проекты станций первого, второго, третьего и четвертого классов: «Станции первого и второго классов, близкие по внешнему облику и отличавшиеся длиной <...> и разной обработкой торцов, были поставлены через каждые 78–90 км. В Малой Вишере, Бологом и Твери – станции первого класса, между ними, <...> – станции второго класса. В промежутках между вокзалами первого и второго классов располагались девять станций третьего класса и 16 – четвертого»¹⁶.

¹³ РГИА СПб. Ф. 354. Оп. 1. Д. 5, письмо от 02.06.1853 г. № 1163и.

¹⁴ ЦГИА СПб. Ф. 1205. Оп. 11. Д. 3010.

¹⁵ Ожегов С. С. Типовое и повторное строительство в России в XVIII–XIX веках. Режим доступа: https://books.totalarch.com/typical_and_repeated_construction_in_russia_in_the_18_19_centuries (дата обращения: 13.03.2024).

¹⁶ Проекты зданий и сооружений. Режим доступа: http://om-okt.ru/?page_id=1394 (дата обращения: 12.03.2024).

Декор зданий станции был стилизован и непременно един для всех зданий (в рамках одной станции), но при этом решение «торцевых фасадов придавало вокзалам различный облик, не нарушая типовой архитектурной и конструктивной схемы» [15]. Типовое проектирование зданий железнодорожных станций было общепринятым принципом не только российских железных дорог, но и дорог международного уровня и относилось не только к главным станционным зданиям, но и к служебно-техническим постройкам в составе станции любого класса и к генпланам для станционных комплексов разного класса.

Анализ плана существующего здания станции Александровской и схожего с ним утраченного здания Варшавского вокзала в Гатчине свидетельствуют, что за основу были взяты типовые проекты станционных зданий Николаевской железной дороги, существующих в настоящее время железнодорожных станций Тверь, Клин, Бологое, которые, при сравнении планов, также выявили изменения, внесенные в процессе реализации или эксплуатации (рис. 3).

В результате изучения историко-архивных документов установлено, что и в названии станции Александровской прослеживается принцип «типизации».

В первые годы после постройки здания станции можно было встретить такие варианты названий, как «станция в Царском Селе», «Царскосельская», «Царское Село», «Александровская», и даже двойное – «Царскосельская (Александровская)». Так, на генеральном плане 1853 г.¹⁷ современная станция Александровская названа «Царскосельской», при этом и в районе Царского Села (современный г. Пушкин) по состоянию на 1854 г. также отмечена Царскосельская станция.

В сведениях за 1858 г. из жизни августейших детей имеется упоминание о встрече ими Государя в Гатчине и после «вся царская семья вошла в поезд и направилась на станцию Александровскую», что свидетельствует о статусе станции – обслуживании особ царской семьи. В последующие годы станция упоминается под названием «Александровская», но в описании Высочайшего маршрута в 1866 г. станция неоднократно названа «"Александровка" Варшавской железной дороги».

«В 1879 (по другим сведениям – в 1892-м) станцию переименовывают в Александровскую» [10], что, скорее всего, необходимо читать как окончательно установленное и определенное наименование объекта, с учетом выявленного многообразия ранее встречавшихся его наименований.

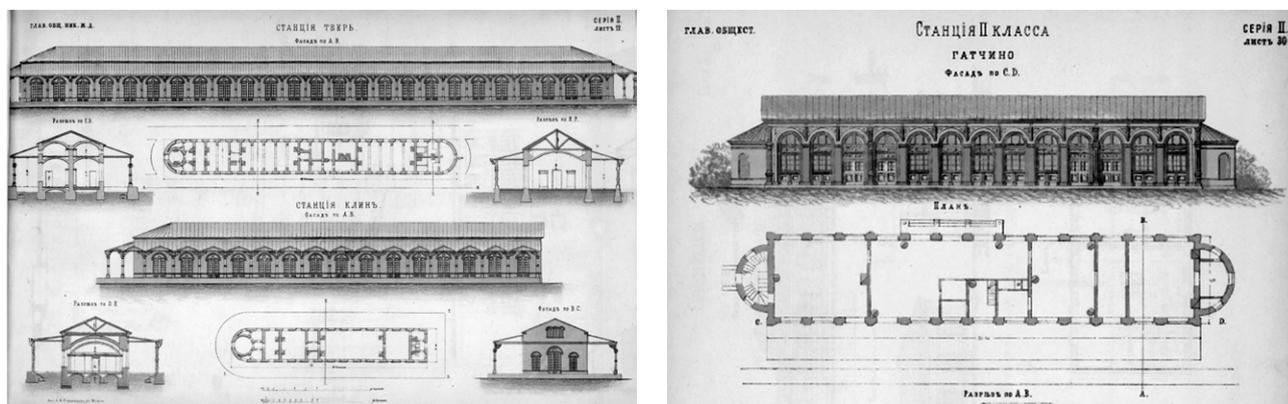


Рис. 3. Типовые проекты станционных зданий Николаевской железной дороги¹⁸
Fig. 3. Standardized designs of station buildings on Nikolaevskaya railway¹⁸

¹⁷ Старые карты. Режим доступа: http://www.etomesto.ru/map-peterburg_genkarta-1854/ (дата обращения: 15.02.2024).

¹⁸ Волгунов И. И. Альбом чертежей общего расположения путей, зданий и мостовых сооружений существующих в России железных дорог. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007536567/ (дата обращения: 15.02.2024).

В конце XIX в. В. К. Симанский пишет: «Александровская – первая станция на варшавской ж. д. ранее называвшаяся "Царское Село" и теперь так переименованная – лежит в 21 в. от столицы, вблизи деревни того-же названия»¹⁹. Такое «задвоение» названий исследуемых ближайших станций Александровской и Царского Села встречается в ряде архивных документов, обе станции имели не просто общественное назначение, но активно использовались августейшей семьей и ее гостями практически равноценно, в зависимости от направления приезжающих/отъезжающих, так как станции удобно расположены на основных железнодорожных направлениях при отправке из Царского Села – места царских резиденций.

Исследование генплана местности, окружающей Царскосельскую Александровскую станцию Варшавской железной дороги, разработанного архитектором А. Ф. Видовым в рамках проекта строительства часовни у станции Александровской (предварительный – 1867 г. и с проработкой – 1868 г.), который был «Высочайше утвержден 17 августа 1868»²⁰, также подтверждает существование здания вокзала станции и пары водоемных зданий по состоянию на 1868 г.

Водоемные здания были обязательными строениями на железнодорожной линии, но возводились они не на каждой станции. Развитие железнодорожного транспорта началось с паровозов, для которых требовались топливо и вода: «Воды в тендере хватало приблизительно на 20 верст пути (1 верста = 1.0668 км) и необходимо было пополнять ее запасы»²¹.

Все станции относились к определенным классам в зависимости от технической необходимости обслуживания железнодорожного транспорта. Так, станции I и II классов были предназначены для замены паровозов. Соответственно, время стоянок увеличивалось. На станции III класса (как правило, располагались между станциями I и II классов, примерно посередине) строились «два каменных двухэтажных дома при каждом из 2-х рельсовых путей, причем в одном помещении для запасного паровоза, а водоснабжение в другом доме; кроме того, два деревянных пассажирских дома, дома для служащих и сараи для дров»²².

Александровский дворец в Царском Селе стал постоянной резиденцией Николая II после февральской революции 1905 г. Здесь принимали послов и иностранных деятелей, праздновали 200-летие Царского Села и 300-летие дома Романовых.

После отречения от престола в 1917 г. (15(2) марта) Николая II правление Романовых закончилось²³. Уже бывшего императора с семьей отправили в Царское Село, где они пробыли с марта по август. Последние дни пребывания в Царском Селе Николай II отразил в своих записях, уже находясь в вагоне поезда, увозящего всех членов августейшей семьи из Царского Села, как оказалось, в последний путь²⁴.

¹⁹ Симанский В. К. Куда ехать на дачу? Петербургские дачные местности в отношении их здоровости. Вып. II. Санкт-Петербург; 1892. 57 с. Режим доступа: https://www.aroundspb.ru/guide/south/sim_varsh.php (дата обращения: 20.02.2024).

²⁰ РГИА СПб. Ф. 350 Оп. 44. Д. 562. Л. 1.

²¹ Кирьянова О. В. Химкинское краеведческое общество. Строительство Санкт-Петербурго-Московской железной дороги (1842–1851 гг.). Режим доступа: <https://kraeved-himki.ru/stroitelstvo-sankt-peterburgo-moskovskoj-zheleznoj-dorogi-1842-1851g-g/> (дата обращения: 13.01.2024).

²² Там же.

²³ Документы по истории убийства царской семьи. Режим доступа: <https://statearchive.ru/docs.html> (дата обращения: 20.02.2024).

²⁴ Императорский маршрут. От Царского Села до Екатеринбурга. Режим доступа: <https://www.culture.ru/s/imperatorskiy-marshrut/> (дата обращения: 17.01.2024).

Исследование исторических планов местности свидетельствует о существовании иных строений станции, например, деревянных сараев и дровяников, утраченных по причине ветхости, часовни и караульного домика, исчезнувших после религиозных гонений.

В изменении облика станции немалую роль сыграла и Великая отечественная война. Немцы превратили Александровку «в мощный укрепленный узел», в 1944 г., согласно сохранившимся фотоматериалам, поселок исчез, а здание вокзала и других зданий станции, на фоне которых запечатлены отважные бойцы 59-го стрелкового полка, были сильно разрушены²⁵. О состоянии здания и территории наглядно свидетельствуют исторические фотографии после боев 1944 г., а также анализ планов здания из технической документации (техпаспорт) (рис. 4–6).

Таким образом, станция претерпела изменения с учетом утраты ряда зданий комплекса станции, объемно-планировочная композиция самого здания станции оказалась нарушена за счет утраты навеса над платформой станции после разрушений 1944 г.

В 1966 г. станцию отреставрировали одновременно с электрификацией железной дороги, сохранив общий вид станционных сооружений²⁶, и тогда же в центральной части был устроен сквозной проход на платформу. Конструктивная система, объемно-пространственная и объемно-планировочная (в капитальных стенах) структура здания были сохранены частично.

Анализ планировочного решения здания вокзала станции Александровской подтверждает, что оно было типовым: «Планировка вокзала была построена по всем канонам, выработанным



Рис. 4. Общий вид комплекса станции Александровской²⁷ (разрушение здания станции (северо-восточный фасад), платформы; полная утрата зеленых насаждений – примечание автора)
Fig. 4. General view of Alexandrovskaya station complex²⁷ (destruction of the station building's northeast facade, platform; complete loss of green spaces – author's note)



Рис. 5. Бой на станции Александровской. 1944²⁸ (разрушение здания станции, платформы; полная утрата зеленых насаждений – примечание автора)
Fig. 5. The battle at Alexandrovskaya station. 1944²⁸ (destruction of the station building, platform; complete loss of green spaces – author's note)

²⁵ Иванченко Н. Ю. Последствия фашистской оккупации на территории Ленинградской области. Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/posledstviya-fashistskoi-okkupatsii-na-territorii-leningradskoi-oblasti> (дата обращения: 15.02.2024).

²⁶ Волгунов И. И. Альбом чертежей общего расположения путей, зданий и мостовых сооружений существующих в России железных дорог Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007536567/ (дата обращения: 15.02.2024).

²⁷ РГАКФД. Шифр 0-153956 ч/б. Железнодорожная станция Александровка, освобожденная советскими войсками от немцев (панорама). 1944. Александровка станция Режим доступа: <http://photo.rgakfd.ru/photo/162288> (дата обращения: 17.01.2024).

²⁸ Фото с сайта <https://pastvu.com/>. Режим доступа: https://pastvu.com/_p/a/n/h/6/nh6yj93vldryg22aa5.jpg (дата обращения: 13.02.2024).

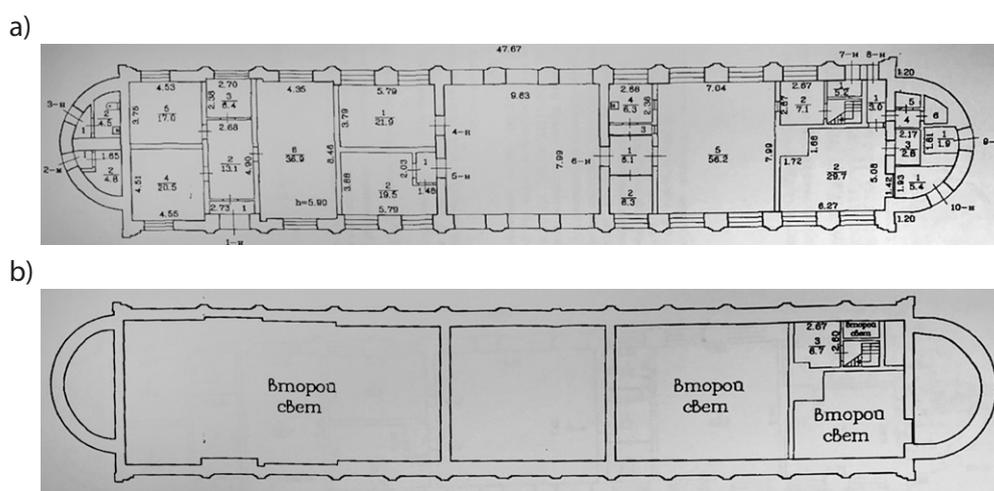


Рис. 6. План здания станции Александровской (технический паспорт): а) первый этаж; б) антресоль
Fig. 6. Plan of the Alexandrovskaya station building (technical passport): a) first floor; b) entresol

для зданий подобной категории: по сторонам центрального вестибюля, где были устроены кассы и контора багажного отделения, находились два зала ожидания для пассажиров разных категорий (к меньшему по размеру залу I-II классов примыкал ресторан); служебные помещения располагались в торцевых ризалитах и на антресолях» [15].

В здании изменено историческое архитектурное решение фасадов: утрачен чугунный навес, установлены решетки и ролл-шторы на окнах, заменены оконные и дверные заполнения, закладки/раскрытия оконных и дверных проемов, устроена громоздкая дымовая шахта на крыше здания, утрачены печные/дымовые трубы, установлено инженерное и дополнительное оборудование с учетом перевода печного отопления на пеллетное. Архитектурный декор фасадов здания сохранился фрагментарно (рис. 6).

Фасады исторического здания содержат элементы классицизма: ложная аркада, объединяющая проемы основного этажа, что характерно для общественных зданий середины XIX в.; высокие арочные окна в 13 световых осей, из которых три центральных выполняют функцию сквозных арочных проходов (организованы в результате поздней реконструкции 1966 г.); в юго-западном крыле здания в 1-й световой оси также устроены дверные проемы в котельную и помещения кафе.

Главный фасад выявляет полихромное решение гладкой штукатурной отделки с декоративными элементами: пилястры заполняют межоконные простенки до опоры арочных пят, которые сверху перевязаны профилированными тягами перспективных арочных проемов, завершает фасад профилированный венчающий карниз (рис. 7, 8).

Фасад асимметричен относительно поперечной оси здания.

Решение по отделке торцевых фасадов здания значительно отличается: фасады оформлены рустованной штукатуркой, фронтоны с профилированным карнизом; фасады полуциркульных объемов – апсид – также отделаны рустованной штукатуркой, завершены фасады профилированным венчающим карнизом.

Результаты натурного обследования выявили несоответствие с планом здания в техническом паспорте, что свидетельствует о произведенных изменениях: существующие оконные проемы северо-восточной апсиды отсутствуют на планах, а два дверных проема, расположенные по центру циркульного фасада, на планах размещены на расстоянии, что свидетельствует о перепланировках и/или перебивке/закладке проемов в капитальных стенах; южный оконный проем, который должен быть на юго-восточной апсиде согласно плану, отсутствует, северный оконный проем на плане обозначен как дверной.



Рис. 7. Общий вид комплекса станции Александровской (фото автора, 26 января 2023 г.)

Fig. 7. General view of Alexandrovskaya station complex (author's photo, January 26, 2023)



Рис. 8. Фасад здания станции Александровской (фото автора, 26 января 2023 г.)

Fig. 8. Facade of Alexandrovskaya station building (author's photo, January 26, 2023)

Объемно-планировочное решение расположенного на исторических планах Т-образного в плане здания (рис. 9) также носит характер типового для зданий железнодорожных станций, встречается в типовых проектах²⁹ и соответствует планировке водоемных зданий.

«Водоемные здания» не связаны с путями, а поэтому расположение их может быть выбрано где угодно. Сюда относятся жилые дома и водоемные здания» [16].

«Парно-симметричное» диагональное расположение зданий относительно железнодорожного пути станции свидетельствует об их прямом отношении к железнодорожному «процессу» станции, актуальному в обоих направлениях движения поездов, а также «правилам» строительства станции третьего класса³⁰. Существующее здание формирует комплекс зданий станции (вокзала) (рис. 9).

Результаты исследования выявляют исторические этапы формирования комплекса зданий станции, их типологический состав и современную градостроительную ситуацию, сведения об авторстве проекта и строителях, а также о роли и «участии» станции в жизни исторических персон, что в совокупности и определяет историко-культурную ценность комплекса.

²⁹ Волгунов И. И. Альбом чертежей общего расположения путей, зданий и мостовых сооружений существующих в России железных дорог. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_007536567/ (дата обращения: 15.02.2024).

³⁰ Кирьянова О. В. Химкинское краеведческое общество. Строительство Санкт-Петербурго-Московской железной дороги (1842-1851г.г.). Режим доступа: <https://kraeved-himki.ru/stroitelstvo-sankt-peterburgo-moskovskoj-zheleznoj-dorogi-1842-1851g-g/>.

4. Заключение

Железнодорожные станции, исторически формирующие поселки, города, составляют историко-культурный потенциал страны. Тщательный анализ и индивидуальный подход к каждому зданию позволяет выявить и определить особенности, ценностные параметры [17], которые могут быть отнесены к предмету охраны объекта и являться основанием для его включения в реестр объектов культурного наследия.

В ходе исследования комплекса зданий железнодорожной станции Александровской определено:

1. Железнодорожная станция Александровская расположена в исторически значимом месте, рядом с Царским Селом, она была построена по Высочайшему указу Николая I и неоднократно упоминается в историко-архивных документах в связи с царской семьей, следовательно, можно говорить об историко-культурной и мемориальной ценности исследуемого объекта.
2. Комплекс зданий был возведен в период с 1852 по 1854 гг. под руководством К. А. Скаржинского и Э. И. Герстфельда в соответствии с типовым проектом, разработанным для всех станций Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги. Однако типовое проектирование носило рекомендательный характер, и на местах принимались решения о необходимых корректировках, не нарушающих общую конструктивную схему: изменении композиции, торцевых фасадов зданий, архитектурного решения принимающих фасадов со стороны платформ – с литыми чугунными навесами-галереями и без них, объемно-планировочного решения при вокзальных площадей и главного фасада здания вокзала и др. Все эти особенности нашли свое отражение и в ходе строительства объекта исследования – станции Александровской. Именно поэтому при общей схожести сохранившиеся станционные комплексы данного периода застройки имеют уникальные отличительные черты.
3. Со времени постройки комплекс зданий станции Александровской претерпел изменения. Весьма значительно изменилась градостроительная ситуация станции в части утраты ряда зданий: одного из двух водяных домов (на противоположной стороне путей), вспомогательных зданий, в том числе деревянных сараев, что, безусловно, привело к реорганизации территории станции. Также утрачена поздняя часовня, которая была построена на станции в едином архитектурном решении с караульным домиком, но отличным от общего архитектурного решения зданий станции, на специально выделенном и отгороженном для этого участке, при этом гармонично дополняя комплекс зданий железнодорожной станции.
Главное здание станции, сильно разрушенное в годы Великой Отечественной войны, в 1966 г. было восстановлено, но изменились историческое архитектурное решение фасадов, внутренняя конструктивная схема. Однако станционный комплекс не утратил своей функциональной ценности и исторического значения.
4. Объемно-пространственное решение территории станции со стороны путей существенно изменилось за счет их расширения, устройства новых платформ, повлекших за собой необходимость возведения воздушного перехода, что привело к неизбежным изменениям органи-



*Рис. 9. Водоемное здание станции Александровской
(фото автора, 26 января 2023 г.)*

*Fig. 9. Alexandrovskaya station water building
(author's photo, January 26, 2023)*

зации пассажирского движения и доступа к платформам. Здание станции утратило изящную, ажурную галерею-навес со стороны исторической платформы, а впоследствии и сама платформа утратила свою функцию, превратившись в прилегающую территорию здания вокзала.

Комплекс зданий железнодорожной станции Александровской, построенный вдоль Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороги в середине XIX в. и сохранившийся до настоящего времени в несколько измененном облике и составе зданий, несмотря на их типовое решение, присущее всем станциям данного периода постройки, по совокупности критериев обладает историко-культурной ценностью, что дает возможность включить их в реестр объектов культурного наследия как ансамбль.

Утраченная часовня и аварийный в настоящее время караульный домик не относятся к комплексу зданий станции, но достойны отдельного исследования с целью установления критериев их ценности и определения категории их значения как объектов архитектурного наследия.



Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. *История железнодорожного транспорта в России. Т. 1. 1836–1917 гг.* Санкт-Петербург; Москва; 1994. 336 с. Режим доступа: <https://djvu.online/file/oAfWhledtxZJZ>.
2. Афонина Г. М. *Краткие сведения о развитии отечественных железных дорог с 1838 по 1990 г.* Москва: 1996. 223 с. Режим доступа: <https://djvu.online/file/2zs4QsO57XRgz>.
3. Виргинский В. С. *Возникновение русских железных дорог и железнодорожный вопрос в России до начала 40-х годов XIX века: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора исторических наук.* Москва: Типолиитография ВАФ. 1949. 31 с. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_005769978/.
4. Соловьева А. М. *Железнодорожный транспорт России во второй половине XIX в.* Москва: Наука; 1975. 315 с.
5. Чарноцкая Л. П. *Железная дорога от А до Я.* Москва: Транспорт; 1990. 208 с. Режим доступа: <https://djvu.online/file/gX9GbdjDyt0ov>.
6. Батырев В. М. *Вокзалы.* Москва: Стройиздат; 1988. 216 с.
7. Карейша С. Д. *Железнодорожные станции, надлежащее их устройство, оборудование, обслуживание и проектирование. Т. 1.* Петроград: Типография П. П. Стойкина; 1917. 120 с.
8. Кульжинский С. Н. *Основные элементы проектирования станций. Ч. 1. Промежуточные (малые) станции и поселки-города при железнодорожных станциях.* Петроград: Редакция специальных изданий; 1922. 220 с.
9. Апатцев В. И., Ефименко Ю. И., Правдин Н. В., Вакуленко С. П., Рыбин П. К. *Железнодорожные станции и узлы.* Москва: Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп.; 2014. 855 с.
10. Башкиров К. С. *Страницы истории поселка Александровская и его окрестностей.* Санкт-Петербург: б. и.; 2021. 287 с.
11. Исаченко В. Г. *Зодчие Санкт-Петербурга: XIX – начало XX века.* Санкт-Петербург: Лениздат; 1998. 1068, [2] с.
12. Золотарева М. В. Выпускник строительного училища Петр Сальмонович. В сб.: *Архитектурный альманах. Вып. 2.* Санкт-Петербург: НП-Принт; 2017. С. 22–33.
13. Сальмонович П. О. Общая конструкция мастерских при железной дороге. *Зодчий.* 1874;11:136–138.
14. Сальмонович П. О. Санкт-Петербургская Варшавская железная дорога. Вокзал в Санкт-Петербурге. *Архитектурный вестник.* 1860;(1):56–59.
15. Щеболева Е. Г. Архитектурные ансамбли станций Северной железной дороги (1860–1910-е годы). В сб.: *Памятники русской архитектуры и монументального искусства XVI – XX вв. Выпуск 7.* Москва: Издательство «Наука»; 2005. С. 427–455.
16. Образцов В. Н. *Станции и узлы. Т. 1.* Москва: Трансжелдориздат; 1935. 315 с.
17. Чайникова О. О. *Воссоздание памятников архитектуры в современной реставрационной практике на примере Санкт-Петербургского региона: диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры.* Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Режим доступа: <https://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/chaynikova-olesya-olegovna>.

References

1. *History of railway transport in Russia. Vol. 1. 1836–1917.* Saint-Petersburg; Moscow; 1994. (In Russ.) Available at: <https://djvu.online/file/oAfWhledtxZJZ>.

2. Afonina G. M. *A summary of the domestic railroads development from 1838 to 1990*. Moscow; 1996. (In Russ.) Available at: <https://djvu.online/file/2zs4QsO57XRgz>.
3. Virginskiy V. S. *The emergence of Russian railroads and the railroad question in Russia until the early 40s of the XIX century: Author's abstract of the dissertation for the degree of Dr. Sci. (History)*. Moscow: Tipolitografiya VAF. 1949. (In Russ.) Available at: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_005769978/.
4. Solov'yeva A. M. *Railway transport of Russia in the second half of the 19 century*. Moscow: Nauka; 1975. (In Russ.)
5. Charnotskaya L. P. *Railroad from A to Z*. Moscow: Transport; 1990. (In Russ.) Available at: <https://djvu.online/file/gX9GbdjDyt0ov>.
6. Batyrev V. M. *Stations*. Moscow: Stroyizdat; 1988. (In Russ.)
7. Kareysha S. D. *Railway stations: proper construction, equipment, maintenance, and design. Vol. 1*. Petrograd: Typographiya P.P. Stoykina; 1917. (In Russ.)
8. Kul'zhinskiy S. N. *Key design aspects of railway stations. Part 1. Intermediate (small) stations and settlements near railway stations*. Petrograd: Redaktsiya spetsial'nykh izdaniy; 1922. (In Russ.)
9. Apattsev V. I., Yefimenko Yu. I., Pravdin N. V., Vakulenko S. P., Rybin P. K. *Railway stations and junctions*. Moscow: Ucheb.-metod. tsentr po obrazovaniyu na zh.-d. transp.; 2014. (In Russ.)
10. Bashkirov K. S. *Pages from the history of Alexandrovskaya and its surroundings*. Saint Petersburg: no publisher; 2021. (In Russ.)
11. Isachenko V. G. *Architects of Saint Petersburg: XIX – beginning of XX century*. Saint Petersburg: Lenizdat; 1998. (In Russ.)
12. Zolotareva M. V. Petr Salmonovich, a graduate of construction school. In: *Arkhitekturnyy al'manakh. Issue 2*. Saint Petersburg: NP-Print; 2017. P. 22–33. (In Russ.)
13. Sal'monovich P. O. General design of workshops at the railroad. *Zodchiy*. 1874;11:136–138. (In Russ.)
14. Sal'monovich P. O. Saint Petersburg – Warsaw railway. The railway station in Saint Petersburg. *Arkhitekturnyy vestnik*. 1860;(1):56–59. (In Russ.)
15. Shcheboleva Ye. G. Architectural ensembles of Northern railway stations (1860–1910s). In: *Monuments of Russian architecture and monumental art of the 16th–20th centuries. Issue 7*. Moscow: Izdatel'stvo "Nauka"; 2005. P. 427–455. (In Russ.)
16. Obraztsov V. N. *Stations and junctions. Vol. 1*. Moscow: Transzheldorizdat; 1935. (In Russ.)
17. Chainikova O. O. *The reconstruction of architectural monuments in contemporary restoration practice: a case study of the Saint Petersburg region: Dissertation for the degree of Cand. Sci. (Architecture)*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Available at: <https://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/chaynikova-olesya-olegovna>.



Информация об авторе

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

Information about the author

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

*Получена 17 апреля 2024 г., одобрена 13 ноября 2024 г., принята к публикации 25 ноября 2024 г.
Received 17 April 2024, Approved 13 November 2024, Accepted for publication 25 November 2024*



Проблема организации торговых нестационарных объектов в городской среде Хабаровска

Л. Г. Дьячкова, Ю. В. Ордынская ✉, К. С. Ильин
Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, 680035, Российская Федерация

✉ Ordynka.y@yandex.ru



Аннотация. На примере г. Хабаровска рассмотрена организация торговых модулей и линейных торговых объектов, формирующих у населения представление о доступности качественных услуг и продуктов. Рассмотрены линейные торговые объекты одной из важнейших транспортных городских артерий – ул. Тихоокеанской, связывающей множество торговых точек как мобильной, так и стационарной торговли. Использование сравнительного, картографического, натурного методов в рамках комплексного подхода позволило определить особенности торговых линейных объектов, проанализировать основные проблемы размещения объектов торговли, планировочные сценарии, варианты архитектурно-пространственной организации нестационарных торговых объектов, моделирующих доступную среду для городского населения. Предложено возможное архитектурное решение для оформления уже существующих уличных торговых модулей (фасад из перфорированных или сетчатых панелей с декорирующими сюжетами или муралами). Рассмотрены проектные предложения по созданию нестационарных торговых объектов, способные улучшить эстетические характеристики торговой инфраструктуры города (один проект – кованые киоски по продаже мороженого – уже реализован в городском пространстве, другой представляет собой разработанную в рамках студенческой работы концепцию торгового комплекса в стиле ярмарочных торговых шатров). Такие решения будут способствовать сохранению региональной идентичности и, в условиях необходимого уплотнения городской застройки, будут являться рациональным планировочным решением.

Ключевые слова: нестационарный торговый объект, архитектурно-планировочное решение, комфортная среда проживания, торговый модуль, киоск, павильон

Благодарности. Авторы исследования признательны руководству ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», предоставившему возможность организации полевых изысканий в соответствии с грантом на выполнение научно-исследовательских работ в рамках реализации Программы развития Тихоокеанского государственного университета на 2021–2030 годы.

Для цитирования: Дьячкова Л. Г., Ордынская Ю. В., Ильин К. С. Проблема организации торговых нестационарных объектов в городской среде Хабаровска. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):22–34. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-22-34>

Challenges of organizing non-stationary retail structures in the urban fabric of Khabarovsk

Lyudmila G. Dyachkova, Yulia V. Ordynskaya ✉, Konstantin S. Ilyin
Pacific National University, 136 Tihookeanskaya St., Khabarovsk, 680035, Russian Federation

✉ Ordynka.y@yandex.ru

Abstract. This study examines the organization of retail modules and linear retail structures in Khabarovsk, that shaping public perception of accessible, high-quality goods and services. The paper considers the linear retail structures along Tikhookeanskaya Street, one of the major transportation artery connecting numerous mobile and stationary retail outlets. Employing a mixed-methods approach – incorporating comparative, cartographic, and field research – allow us to identify main features of linear retail structures, analyze key challenges in retail placement, explore planning scenarios, and examine architectural and spatial arrangements of non-stationary retail outlets that promote accessibility for city residents. The study proposes architectural solutions for existing street retail modules, such as facades made of perforated or mesh panels with decorative designs or murals. It also presents design proposals for non-stationary retail structures to enhance the city's aesthetic appeal. One project – wrought-iron ice cream kiosks – has already been implemented, while another is a student-designed concept for a retail complex inspired by fair marquees. These solutions aim to preserve regional identity and offer a rational planning approach within the context of necessary urban densification.

Keywords: non-stationary retail structure, architectural and planning solution, comfortable living environment, retail module, kiosk, pavilion

Acknowledgements. The authors gratefully acknowledge the support of the administration of the Far Eastern Federal University, which provided the opportunity for field research under a grant for scientific research within the framework of the Development Program of Far Eastern Federal University for 2021–2030.

For citation: Dyachkova L. G., Ordynskaya Yu. V., Ilyin K. S. Challenges of organizing non-stationary retail structures in the urban fabric of Khabarovsk. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4):22–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-22-34>

1. Введение

Исследование организации нестационарных торговых объектов в городской среде обнаруживает исторические особенности их формирования. Данная тема достаточно хорошо освещена в отечественном и зарубежном градостроительстве [1–3]. Тем не менее, изменения в деловой активности населения свидетельствуют о необходимости формирования доступной среды в условиях перенаселения городских территорий, направленного на обеспечение комфортного проживания граждан. Для этого необходимо уточнять типологические характеристики нестационарных торговых объектов, предлагая планировочные и архитектурно-пространственные решения, предусматривающие организацию дополнительных торговых мест в структурах микрорайонов.

Натурное обследование застройки в г. Хабаровске показало, что с ростом деловой активности населения возникает эффект перенаселенности в районах, прилегающих к высшим учебным учреждениям. Сравнительный анализ вариантов расположенных здесь нестационарных торговых объектов позволяет выявить наиболее распространенные архитектурные решения торговых объектов, уточнить их типологические характеристики и предложить решение проблемы организации доступной среды в городе на основании внедрения нестационарных торговых объектов в пространство застройки.

Актуальность данного исследования подтверждается нормативно-правовыми актами^{1, 2} в области градостроительного планирования: в целях обеспечения комфорта проживания населения

¹ Постановление Правительства Хабаровского края от 30.09.2022 г. № 480-пр «Об особенностях разрешительной деятельности в сфере торговли в Хабаровском крае в 2022 году». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/406245202?marker=64U0IK> (дата обращения: 02.09.2024).

² Постановление от 26.02.2024 г. № 832 О внесении изменений в постановление администрации города Хабаровска от 16.12.2015 г. № 4317 «Об утверждении Порядка размещения нестационарных торговых объектов на территории городского округа "Город Хабаровск", Положения о проведении аукциона на право заключения договора на размещение нестационарного торгового объекта на территории городского округа "Город Хабаровск"». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/407130455?ysclid=m46rzvpv8j734418880> (дата обращения: 02.09.2024)

в микрорайонах со сложившейся градостроительной структурой предполагается уплотнение планировочных композиций города с помощью установки нестационарных объектов сферы бытовых услуг. Сравнительный анализ визуальных решений торговых объектов города позволил выделить основные проблемы организации объектов торговой инфраструктуры и определить возможные пути их решения.

Степень изученности проблемы. Размещение всех типов торговых объектов в среде города, а также методология организации системы центров торгового обслуживания рассмотрены авторами на основании исследований [1–3], свидетельствующих о многообразии путей решения задач формирования доступной, комфортной среды в населенных пунктах РФ в соответствии с нормативно-правовым обеспечением градостроительной политики в регионах. Перенаселенность в городской среде обязывает разработчиков планировочных решений учитывать неравномерную концентрацию населения, определяемую перемещением центров деловой активности по территории застройки, и формирование соответствующих данному процессу потребностей граждан в обеспечении доступной среды, в том числе торговыми объектами. Опыт отечественных и зарубежных исследователей в области архитектуры и градостроительства позволил авторам сформулировать пути решения проблемы организации торговой среды с использованием нестационарных торговых объектов [1–3].

С. М. Копычина-Лоренс в своем исследовании рассматривает формирование дизайн-среды уличной торговли на примере г. Калининграда в общем контексте формирования городского пространства, автором подробно изучены особенности мобильной городской торговли, дан краткий исторический обзор европейского опыта [4]. Особенность пространственной организации торговых точек рассмотрена в исследовании И. А. Потапова и К. Э. Аксенова [5–7]. Интересен опыт российских и зарубежных исследований, анализирующих опыт маркетинга в розничной торговле, который имеет ключевое значение в успешной деятельности ритейла [8, 9].

Новизна исследования обусловлена анализом путей решения проблем формирования торговой среды г. Хабаровска на основании реконструкции или создания проектных предложений, направленных на обеспечение потребностей населения в доступной комфортной среде проживания с помощью нестационарных торговых объектов.

2. Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассматривались нестационарные торговые объекты в городской среде – торговая застройка в границах ул. Шелеста – Тихоокеанской – Трехгорной. Предметом исследования являлись особенности организации линейных нестационарных торговых объектов в городской среде. Цель исследования: определить планировочные сценарии и варианты архитектурно-пространственной организации нестационарных торговых объектов в г. Хабаровске для обеспечения доступной среды для городского населения. Методология комплексного подхода обусловила методы исследования: сравнительный, картографический, натурный, метод 3D-моделирования.

3. Результаты и обсуждение

Исследуя региональную программу градостроительного моделирования³, где идет речь о необходимости обеспечения граждан доступной средой на территории застройки, можно проанализи-

³ Постановление от 30 декабря 2015 г. № 491-пр «Об утверждении государственной программы Хабаровского края "Доступная среда"» и признании утратившими силу отдельных постановлений Правительства Хабаровского края (с изменениями на 29 марта 2024 г.). Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/465329590> (дата обращения: 22.08.2024).

зировать проектные предложения, направленные на дополнение существующих планировочных решений, связанных с уплотнением застройки и перемещением центров деловой активности населения в городской черте.

Одним из наиболее популярных решений проблемы обеспечения горожан необходимыми благами можно назвать создание дополнительных торговых мест за счет внедрения нестационарных торговых объектов в инфраструктуру микрорайонов, поскольку уплотнение спальных территорий, формируемых по окружности от новых центров притяжения населения, не всегда позволяет размещать локальные точки обслуживания в существующей застройке [12]. Обращая внимание на возможности уличной торговли, представленной малыми помещениями с витринами или переоборудованными для организации продаж помещениями первых этажей жилых зданий, следует отметить, что продаются таким способом чаще всего продукты питания [13], поскольку все остальное можно приобрести онлайн.

Интерес в данном случае вызывает явное разделение создаваемых нестационарных торговых объектов по двум основаниям:

- места для реализации частными продавцами излишков сельскохозяйственной продукции (в большей части как рыночные линейные объекты – столы под навесами);
- торговые модули (отапливаемые, охлаждаемые, вентилируемые и др.), представляющие региональные франшизы востребованных пекарен, малых кондитерских, фермерских и других предприятий, формирующих представление у жителей микрорайона о доступности качественных продуктов.

Торговые объекты муниципального подчинения обычно ассоциируются с крытыми рынками, иногда разделенными по составу реализуемого ассортимента на кабинеты, магазины, модули и т. д., но в любом случае – объединенными в линейные торговые объекты. Значение в такой ситуации имеют и способы финансирования строящихся торговых объектов, поскольку государство, даже на уровне муниципалитета, редко выступает в роли единственного инвестора подобных проектов [14, 15]. Чаще всего финансовая ответственность разделена между государством и частным инвестором / конкретным предприятием, старающимся реализовать товары населению.

Тем не менее, архитектурно-пространственные решения торговых нестационарных объектов достаточно четко позволяют понять, кто является заказчиком. Так, возведение торговых модулей чаще финансируется частными предпринимателями и представляет собой франшизу. Как правило, это предприятия круглосуточного обслуживания:

- выпечка и реализация населению хлебобулочных изделий (и мелкого сопутствующего ассортимента);
- аптечное дело (безрецептурная фармация);
- кафетерии (приготовление и продажа пищевых продуктов).

Участие государства, в том числе и муниципальных представителей, заинтересованных в продвижении нестационарных торговых объектов в городе, определяется по планировочным решениям открытых рынков для населения, территориям ярмарок выходного дня и т. д.

Анализ нормативно-правовой базы⁴, материалов и источников по теме исследования [11, 12] подтвердил факт отсутствия единых требований к внешнему виду нестационарных торговых объек-

⁴ Федеральный закон от 28.12.2009 г. № 381-ФЗ «Об основах государственного регулирования торговой деятельности в Российской Федерации». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902192509?ysclid=m46t1fk1j9595023636> (дата обращения: 03.09.2024).

тов до недавнего времени. В 2022 г. руководством города был принят Перечень типовых решений⁵, однако его положения носили рекомендательный характер, что позволяло перекаладывать ответственность за организацию торговых точек на их владельцев. В 2022 г. для объектов торговли, возводимых в г. Хабаровске, было утверждено требование о введении единого стилевого решения для торговых модулей (киосков, ларьков и др.). Тем не менее, ситуация остается проблемной, поскольку прекратить действие договора с владельцем старой торговой точки по причине того, что павильон не отвечает современным требованиям, оказалось невозможным. Договоры, согласно новому правилу, продлеваются автоматически, без аукциона и торгов (с 2015 г.)⁶. Данная особенность нормативно-правового регулирования организации нестационарных торговых объектов в г. Хабаровске отчасти объясняет трудности, до сих пор возникающие с унификацией элементов торговой структуры города.

Особенности линейных торговых объектов в городской среде

Используя классификацию торговых объектов, предложенную А. В. Хриченковым [16], авторы выбрали для исследования участок торговой застройки в г. Хабаровске в границах ул. Шелеста – Тихоокеанской – Трехгорной (рис. 1). Выбор обоснован тем, что данный участок сформировался исторически и представляет собой «ядерно-сетевую модель обслуживания» населения [8, 9].

Типологические характеристики данной модели позволяют утверждать, что ее основными узлами являются торговые объекты малого формата, обычно используемые в зонах с повышенным по-

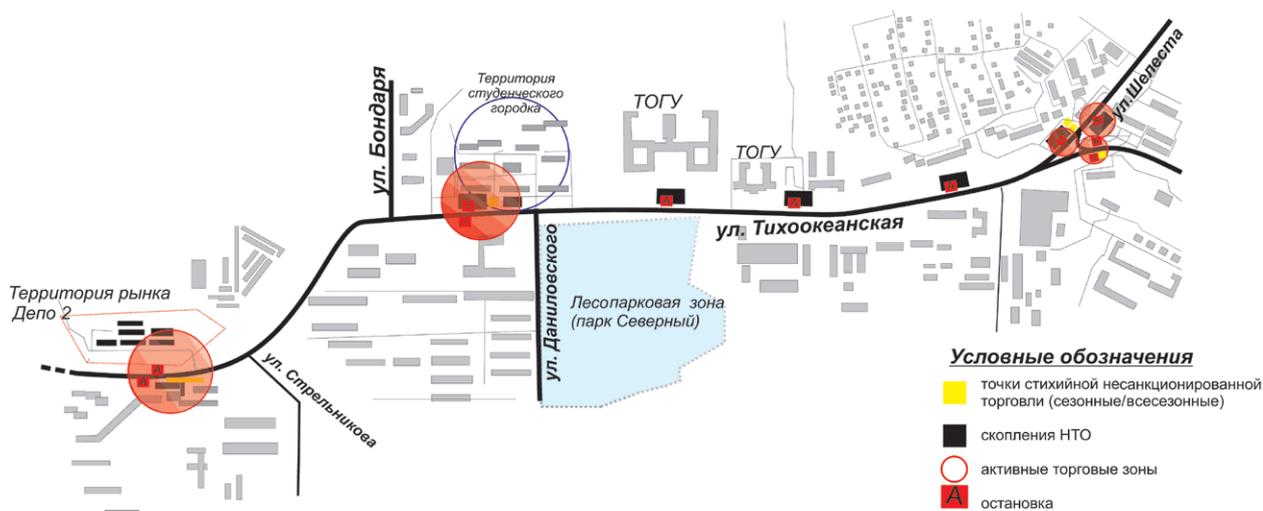


Рис. 1. Схема расположения основных торговых зон в границах улиц Шелеста – Тихоокеанской – Трехгорной (составлена авторами)

Fig. 1. Diagram of main retail locations within the Shelesta – Tikhookeanskaya – Trekhgornaya streets boundaries (authors' diagram)

⁵ Постановление Администрации города Хабаровска от 30 сентября 2022 г. № 3544 «Об утверждении Перечня типовых решений внешнего вида нестационарных торговых объектов (киосков, павильонов) для размещения на территории городского округа "Город Хабаровск"». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/406245199?ysclid=m46szdfn9k190295932> (дата обращения: 01.09.2024).

⁶ Единый стиль для киосков и ларьков утвердили в Хабаровске. Режим доступа: <https://khabarovsktv.ru/news/edinyy-stil-dlya-kioskov-i-larkov-utverdili-v-habarovske?ysclid=m2jowuh6av383445965> (дата обращения: 01.09.2024).

сетительским трафиком, поскольку их связки позволяют формировать целостные градостроительные образования местного значения, обладающие системными признаками⁷.

Такие модели успешно используются для обеспечения торговых потребностей населения в планировочных районах города, поскольку территориальная схема размещения композиции малых торговых объектов соответствует Стратегии развития торговли до 2025 года⁸, сохраняя в каждом конкретном случае самобытность, региональную специфику градостроительных решений застройки. Учитывая основную цель Стратегии – создание комфортной потребительской среды, – можно говорить, что документ является необходимым: в нем делается акцент на предоставлении гражданам (потребителям) возможности в пределах шаговой доступности приобрести, исходя из своих финансовых возможностей, нужный товар. Также, согласно Стратегии, все форматы торговли имеют право на существование и свою исключительность.

Крупные торговые форматы более независимы в процессе обеспечения нужд населения (согласно Федеральному закону № 381-ФЗ), и, в соответствии с практикой организации доступности услуг инфраструктуры, размещаются в новых городских центрах, возможно, отдаленных от сформировавшихся⁹. Это приводит к изменению пользовательских маршрутов и определяет посетительский трафик выходного дня.

Анализ архитектурно-пространственных и планировочных решений организации торговых мест на исследуемой территории обнаруживает наличие всех типов торговых мест: киосков, павильонов, сезонных палаток, открытых рядов и торговых галерей, представленных однотипными линейными торговыми объектами (рис. 2), мобильной торговли (автомобильные лавки и несанкционированные продажи сезонных продуктов из частных автотранспортных средств). Основные проблемы размещения торговых объектов, выявленные в ходе натурного обследования, можно описать следующим образом:

- отсутствие элементов благоустройства (отсутствие светотехнического оснащения торговых мест в ночное время и урн);
- обслуживание посетителей из автомобиля, находящегося на проезжей части [17];
- использование металлических профилей для сохранности витрин, которые, как правило, обезличивают торговую застройку, но являются необходимыми для обеспечения безопасности;
- отсутствие обеспечения доступа для маломобильных групп населения, граждан с ОВЗ;
- отсутствие специальных площадок для торговых объектов;
- частичное или полное разрушение площадок/мест расположения объектов торговли;
- коррозия/нарушение декоративного слоя наружной отделки торгового объекта, что ведет к негативным изменениям в характере художественного решения торгового объекта и снижает его визуальную привлекательность для населения.

⁷ Хриченков А. В. Архитектурно-пространственная организация объектов торгового обслуживания местного значения (на примере г. Екатеринбурга): Диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры. Екатеринбург; 2016, Режим доступа: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/79739?mode=full&ysclid=m1xb2fhtje95674212> (дата обращения: 17.08.2024).

⁸ Опубликована стратегия развития торговли РФ до 2025 года. Режим доступа: https://news.rambler.ru/other/42814417/?utm_content=news_media&utm_medium=read_more&utm_source=copylink (дата обращения: 10.08.2024).

⁹ 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*. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054209?ysclid=m46whrzgcr473622032> (дата обращения: 03.09.2024).



Рис. 2. Планировочные решения организации НТО в Хабаровске (фото авторов):

- a) торговая галерея на остановке «Депо-2»;
- b) павильоны торговых сетей вдоль пешеходной части улицы;
- c) открытый рынок сельскохозяйственных продуктов, расположенный на проезжей части ул. Тихоокеанской;
- d) торговый ряд на остановке общественного транспорта, ул. Тихоокеанская;
- e) типичный вид НТО в жилых районах торговых точек малого формата

Fig. 2. Planning solutions for non-stationary retail in Khabarovsk (authors' photos): a) shopping gallery at the Depot-2 stop; b) retail chain pavilions along the pedestrian street; c) open-air farmers market in the roadway of Tikhookeanskaya street; d) retail stalls at a bus stop on Tikhookeanskaya street; e) typical non-stationary retail in residential areas

Исследование показало, что все типы торговых мест, перечисленные выше, являются востребованными населением. А значимым фактором является неизменность местоположения торговых объектов для покупателя (формирование привычки покупать те или иные товары в постоянных местах).

Анализ нормативно-правового обеспечения и входящих в него рекомендаций, определяющих особенности проектных предложений по оформлению размещаемых на территории городского округа нестационарных торговых объектов, показал, что требования, предъявляемые к торговым объектам, можно соблюдать с учетом региональных законодательных положений – постановления администрации г. Хабаровска от 30 сентября 2022 г. № 3544. Это позволит избежать произвольной трактовки нормативных актов и самостоятельно определяемых ограничений со стороны государственных служащих. В рамках постановления есть рекомендации сохранять авторские предложения в области проектов и создавать запоминающиеся архитектурно-дизайнерские решения торговых мест, однако это не гарантирует, что все предложения проектировщиков, заказчиков или представителей бизнеса будут приняты.

В настоящее время актуален минимальный перечень требований, определяющих развитие торговой инфраструктуры. Как правило, они направлены на предотвращение застройки территорий неудачными торговыми объектами. Тогда как, согласно Стратегии развития торговли до 2025 года, торговая деятельность понимается как эволюционный процесс, требующий всесторонней комплексной оценки. Минимизация требований к образному решению торговых точек приводит к функциональному подходу в проектных решениях и сдерживает полет фантазии проектировщиков, что препятствует развитию торговых пространств, особенно в районах с большим количеством ветхой застройки.



Рис. 3. Металлический модуль для мобильных торговых точек малого формата, ул. Карла Маркса, Хабаровск (фото авторов)
Fig. 3. Metal module for small-format mobile retail units, Karl Marx Street, Khabarovsk (authors' photo)



Рис. 4. Пример неудачного соседства торговых точек, представленных разнотипными модулями, Хабаровск (фото авторов)
Fig. 4. Inharmonious arrangement of differently designed retail modules in Khabarovsk (authors' photo)

Администрация г. Хабаровска предпринимала попытки определить единое решение в части оформления мобильных и малоформатных торговых точек. Следует заметить, что в результате работы надзорных органов в области архитектуры и градостроительства, в соответствии с постановлением администрации города Хабаровска от 30 сентября 2022 г., появился ряд решений, органично вписавшихся в историческую застройку центральной части города. Например, киоски по продаже мороженого (модули), выполненные в технике ковки металла (рис. 3). Это решение оживило улицы города, но эффект разрушился из-за соседства с неудачными проектными решениями торговых точек – палаток, тентов (рис. 4).

В целях преодоления проблем, изложенных выше, необходимы:

- работа с существующими торговыми объектами в актуальной застройке и преобразование до эстетически удовлетворительного уровня киосков и малых павильонов, наполняющих городское пространство [18, 19];
- создание новых торговых объектов в предполагаемых планировочных решениях при освоении новых территорий городской застройки [20].

Для решения проблемы с архитектурным оформлением киосков, малых павильонов и других торговых объектов в уже существующей застройке предлагается закрыть реальные фасады визуаль-но выравнивающим, объединяющим их накладным фасадом из перфорированных или сетчатых панелей, которые создадут экран, улучшающий эстетическое восприятие объектов (рис. 5).



Рис. 5. Вариант до и после отделки (рисунок авторов)
Fig. 5. Before and after renovation (authors' drawing)

Перфопанели, изготавливаемые на заказ, в зависимости от степени перфорирования способны пропускать достаточно света и быть сравнительно легкими. Возможно перед установкой перфопанелей нанести на них необходимые декорирующие сюжеты или муралы [21–23].

Для выбора художественного решения следует объявить конкурс на разработку экономичной, модульной, облегченной системы для экранирования торговых объектов. Оно должно учитывать производственные возможности региона и включать разработку нескольких типов панелей в разных ценовых категориях с вариативностью дизайна. Монтаж панелей также необходимо предусмотреть в нескольких вариантах – как отдельно стоящий каркас или как навесной, устанавливаемый непосредственно на фасад торгового объекта. Создание в данном случае типового, но лаконичного и вариативного решения позволит визуально упорядочить торговую среду, понизив уровень ее визуального шума.

В случае использования проектных предложений, предусматривающих формирование новых нестационарных торговых объектов, интерес представляет ряд выпускных квалификационных работ студентов Тихоокеанского государственного университета г. Хабаровска, соответствующих направлению обучения 07.03.03 «Дизайн архитектурной среды» (профиль «Проектирование городской среды»), представляющих варианты возведения или реконструкции торгового объекта и организацию его среды.

В качестве удачного примера можно рассмотреть проект «Организация торгово-общественного пространства ул. Тихоокеанская – Трехгорная г. Хабаровск» (автор – Ю. Бобрякова, руководитель Ю. В. Ордынская). Эффективным способом качественного решения проектной задачи стало предложение уникального многофункционального торгового комплекса, составленного малыми нестационарными торговыми объектами на площадке для сетевых представителей, индивидуальных предпринимателей, держателей личного подсобного хозяйства и т. д. В этом случае планировочное решение предусматривает несколько торговых зон, собираемых в соответствии с особенностями ассортимента.

В проекте представлены чертежи торговых павильонов, стоек островного типа. Главным составляющим элементом оборудования служит навес, повторяющий образ классических торговых шатров, что весьма актуально. Радиальная форма павильона позволяет экономить пространство выделенной для строительства территории и ассоциативно вызывает у посетителей воспоминания о народных гуляниях, ярмарках и других позитивно осмысливаемых градостроительных проектах (рис. 6, 7).



Рис. 6. Проектное предложение общественно-торговой зоны рынка Депо-2
(выполнила Ю. Бобрякова, руководитель Ю. В. Ордынская)

Fig. 6. Retail area design proposal for Depot-2 market (by Yu. Bobryakova, supervised by Yu. V. Ordynskaya)

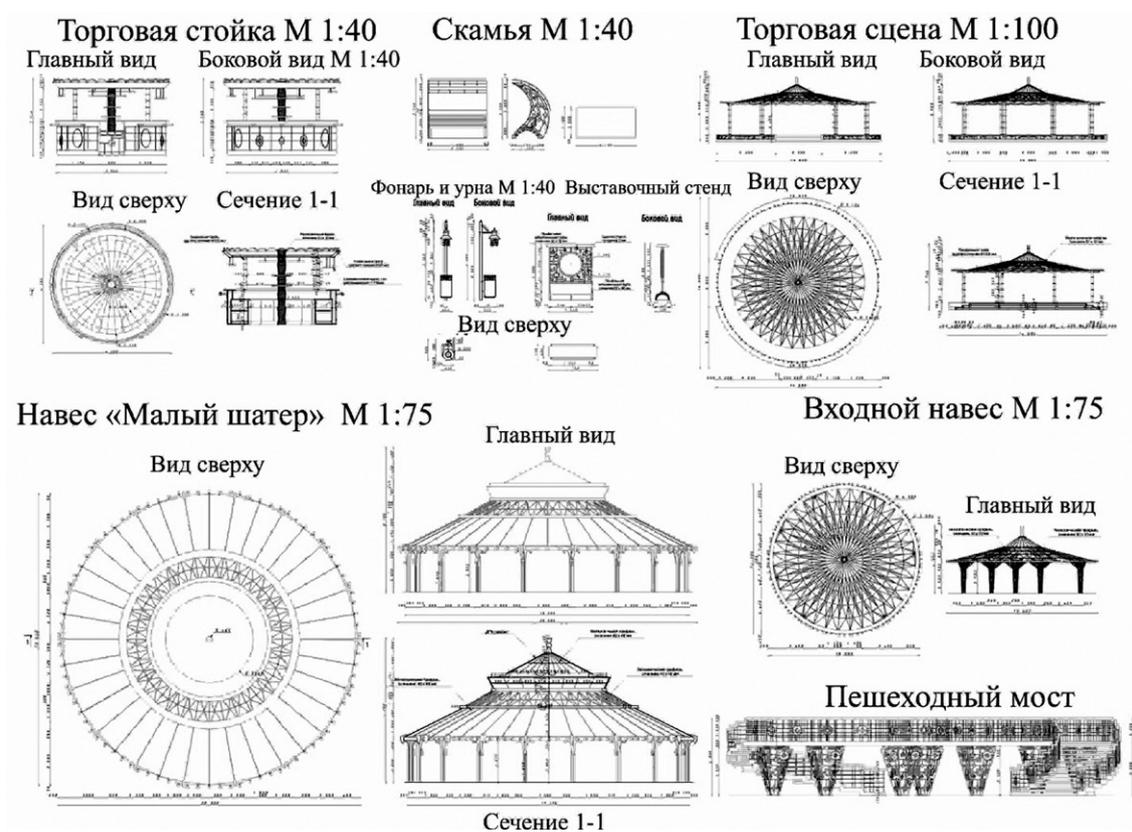


Рис. 7. Схемы авторских разработок торговых объектов/оборудования (выполнила Ю. Бобрякова)
Fig. 7. Designs for retail facilities/equipment (by Yu. Bobryakova)

4. Заключение

Таким образом, сравнивая предложенные варианты, можно видеть, как поиск универсального решения проблемы создания и размещения нестационарных торговых объектов в городской среде определяет создание малых торговых точек, используемых для обеспечения потребностей граждан в благоустроенной, доступной среде, и требует внимания представителей власти и разработчиков архитектурно-градостроительных сценариев к возможностям градостроительного моделирования взаимодействия с населением.

Исследование показало несоответствие внешнего облика малых торговых точек/павильонов современной городской среде, особенно это заметно в спальных районах города. При размещении не учитывается органичность соединения торговых павильонов (как стационарных, так и мобильных) с существующим дизайн-кодом общей окружающей застройки. Отмечена успешная попытка упорядочить вид НТО на центральной улице согласно общему городскому облику.

Существует явная необходимость принимать на муниципальном уровне решения по:

- уже существующим объектам (приводить к гармоничному единообразию путем лаконичного и однотипного перекрытия фасадов, но с возможностью для предпринимателей вносить индивидуальные решения в общий облик павильонов);
- строительству новых НТО (в качестве вариантов могут рассматриваться как уже удачно реализованные проекты, например, кованые ларьки для мороженого, так и другие успешные проекты Хабаровска и других городов);
- проведению открытых городских конкурсов, рассмотрению студенческих работ по направлению «Дизайн городской среды».



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. Журавская Т. Н. «Китайский» торговый центр vs. «китайский» рынок: что изменилось со времени запрета на торговлю иностранцев на розничных рынках (на примере Амурской области). *Полития*. 2012;(4):104–123. <https://doi.org/10.30570/2078-5089-2012-67-4-104-123>
2. Вэй Л., Ван М. Практические исследования экспериментальной зоны свободной торговли Фуцзянь в Китае. *Проблемы Дальнего Востока*. 2022;(1):127–138. <https://doi.org/10.31857/S013128120018509-0>
3. Аксенов К. Э. Трансформация пространственной организации ритейла в постсоветском метрополисе 1989–2023. Чебоксары: Среда; 2024. 260 с. <https://doi.org/10.31483/a-10601>
4. Копычина-Лоренс С. М. Некоторые аспекты дизайн среды общедоступных городских пространств. *Globus*. 2020;(2):4–7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44064306>.
5. Потапов И. А. Трансформация пространственной организации розничной торговли в Архангельске. *Арктика и Север*. 2024;(56):273–290. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.56.273>
6. Аксенов К. Э. Цифровая трансформация и пространственная организация непищевого ритейла в российском городе. *Известия Русского географического общества*. 2022;154(4):22–38. <https://doi.org/10.31857/S0869607122040024>
7. Аксенов К. Э., Красковская О. В., Ренни Ф. М. Пространственная организация новых форм онлайн-торговли продуктами питания и готовой едой в крупном российском городе. *Балтийский Регион*. 2022;14(3):28–48. <https://doi.org/10.5922/2079-8555-2022-3-2>
8. Constantinides E. The marketing mix revisited: Towards the 21st century marketing. *Journal of Marketing Management*. 2006;22(3):407–438. <https://doi.org/10.1362/026725706776861190>
9. Хулуев Н. М. Маркетинг в розничной торговле. *Бизнес-образование в экономике знаний*. 2018;(2):84–86. Режим доступа: <https://bibs-science.ru/articles/ar728.pdf>.
10. Хриченков А. В. *Архитектурно-пространственная организация объектов торгового обслуживания местного значения*. Екатеринбург: Уральский университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; 2019. 124 с. Режим доступа: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/71150>.
11. Кузьмин Е. В., Лучкова В. И. Архитектурно-планировочные проблемы торговых объектов малого бизнеса в городе Хабаровске. В сб.: *Новые идеи нового века: Материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ*. Т. 2. Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет; 2019. С. 141–147. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37382964>.
12. Эйриян Г. Н. Использование публичных земель или земельных участков для размещения нестационарных торговых объектов. *Вестник Пермского университета. Юридические науки*. 2023;(60):215–230. <https://doi.org/10.17072/1995-4190-2023-60-215-230>
13. Миронов В. Д., Кривенкова М. В. Проблема правового регулирования использования части нежилого помещения для установки вендингового аппарата. *Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация*. 2020;(1):192–199. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42802158>.
14. Поправко О. Е. Проблема размещения нестационарных торговых объектов. *Молодой ученый*. 2024;(9):261–263. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/508/111552/>.
15. Паладьев М. А. Коллизии законодательства о нестационарной торговле. *Юридический вестник Самарского университета*. 2021;7(3):102–105. <https://doi.org/10.18287/2542-047X-2021-7-3-102-106>
16. Лин М. Т., Урбах А. И. *Архитектура городских пешеходных пространств*. Москва: Стройиздат; 1990. 198 с.
17. Шауфлер В. Г., Хриченков А. В. Зоны влияния городских центров повседневного и периодического обслуживания. *Академический вестник УралНИИПроект РААСН*. 2012;(1):3–6. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17666951>.
18. Вербицкая Ю. О. Обеспеченность нестационарными торговыми объектами как гарантия разнообразия услуг на озелененных территориях. *Российское право: образование, практика, наука*. 2021;(6):65–70. https://doi.org/10.34076/2410_2709_2021_6_65
19. Переверзева Н. В., Санок С. И. Мировые тенденции в организации торговых зон центральных районов городов. *Академический вестник УралНИИПроект РААСН*. 2017;(4):22–28. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32682235>.

20. Гейл Я. *Города для людей*. Москва: Альпина Паблицер; 2012. 276 с. Режим доступа: <https://djvu.online/file/a0iPAxjX63A0a?ysclid=m48dvkfqfd177113369>.
21. Каракова Т. В. Стилевое решение нестационарных объектов торговли в формировании уникального образа города. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2015;17(1):762–764. Режим доступа: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_1_14_17.pdf.
22. Вильчинская-Бутенко М. Э. Режимы визуализации урбанистического искусства: стрит-арт vs паблик-арт. *Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение*. 2022;(47):18–34. <https://doi.org/10.17223/22220836/47/2>
23. Золотуха Е. В., Живица В. В. Синтез архитектуры и граффити как прием преобразования облика городской среды. *Строительство и техногенная безопасность*. 2023;(28):5–12. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-arhitektury-i-graffiti-kak-priyom-preobrazheniya-oblika-gorodskoy-sredy/viewer>.
24. Сафронов К. Э., Сафронов Э. А. Доступность как градостроительная проблема. *Academia. Архитектура и строительство*. 2009;(3):74–77. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/dostupnost-kak-gradostroitel'naya-problema/viewer>.

References

1. Zhuravskaya T. N. "Chinese" shopping center vs. "Chinese" market: what changed after ban on foreign traders in retail markets (case of the Amur region). *Politeia*. 2012;(4):104–123. <https://doi.org/10.30570/2078-5089-2012-67-4-104-123>
2. Wei L., Wang M. A study on the pilot experiment of Fujian pilot free trade zone. *Far Eastern Studies*. 2022;(1):127–138. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S013128120018509-0>
3. Aksenov K. E. *Transformation of spatial organization of retail in the post-Soviet metropolis 1989-2023*. Cheboksary: Sreda; 2024. (In Russ.) <https://doi.org/10.31483/a-10601>
4. Копычина-Лоренс С. М. Some aspects of public urban space design. *Globus*. 2020;(2):4–7. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44064306>.
5. Potapov I. A. Transformation of the spatial organization of retail trade in Arkhangelsk. *Arctic and North*. 2024;(56):273–290. (In Russ.) <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2024.56.273>
6. Aksenov K. E. Impact of digital transformation on the spatial organization of nonfood retail in a Russian city. *Regional Research of Russia*. 2023;13(3):524–533. <https://doi.org/10.1134/S2079970523700910>
7. Axenov K. E., Kraskovskaya O. V., Renni F. M. Spatial organization of the new forms of e-grocery and ready-made food trade in a large Russian city. *Baltic region*. 2022;14(3):28–48. <https://doi.org/10.5922/2079-8555-2022-3-2>
8. Constantinides E. The marketing mix revisited: Towards the 21st century marketing. *Journal of Marketing Management*. 2006;22(3):407–438. <https://doi.org/10.1362/026725706776861190>
9. Khuluev N. M. Marketing in retail. *Business education in the knowledge economy*. 2018;(2):84–86. (In Russ.) Available at: <https://bibs-science.ru/articles/ar728.pdf>.
10. Khrichenkov A. V. *Architectural and spatial organization of local retail facilities*. Yekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin; 2019. Available at: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/71150>.
11. Kuzmin E. V., Luchkova V. I. Architectural-planning problems of small business trading objects in Khabarovsk city. In: *New Ideas of the New Century: Proceedings of the International Scientific Conference, Faculty of Architecture and Design, Pacific National University. Vol. 2*. Khabarovsk: Pacific National University; 2019. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37382964>.
12. Eyrian G. N. The use of public lands or land plots for the placement of non-stationary retail facilities. *Perm University Herald. Juridical Sciences*. 2023;(60):215–230. <https://doi.org/10.17072/1995-4190-2023-60-215-230>
13. Mironov V. D., Krivenkova M. V. The problem of legal regulation of the use of non-residential premises for the installation of vending machines. *Social-economic and technical systems: research, design and optimization*. 2020;(1):192–199. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42802158>.
14. Popravko O. E. The problem of locating non-stationary retail units. *Young Scientist*. 2024;(9):261–263. (In Russ.) Available at: <https://moluch.ru/archive/508/111552/>.
15. Paladyev M. A. Conflict of legislation on non-stationary trade. *Juridical Journal of Samara University*. 2021;7(3):102–105. (In Russ.) <https://doi.org/10.18287/2542-047X-2021-7-3-102-106>
16. Lin M. T., Urbakh A. I. *Urban pedestrian space design*. Moscow: Stroyizdat; 1990. (In Russ.)
17. Schaufler V. G., Khrichenkov A. V. Influence zones of the city local amenities service centers. *Akademicheskij Vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2012;(1):3–6. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17666951>.
18. Verbitskaya Yu. O. Provision of temporary retail facilities as a guarantee of a variety of services in green areas. *Russian Law: Education, Practice, Research*. 2021;(6):65–70. (In Russ.) https://doi.org/10.34076/2410_2709_2021_6_65

19. Pereverzeva N. V., Sanok S. I. World trends in organization of commercial zones in centralnyj areas of cities. *Akademicheskij Vestnik UralNIiproekt RAASN*. 2017;(4):22–28. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32682235>.
20. Gehl J. *Cities for people*. Washington, Covelo, London: Island Press; 2010. Available at: <https://archive.org/details/cities-for-people-jan-gehl/page/n3/mode/2up>.
21. Karakova T. V. Style differentiation of composite and spatial environment of embankment of the city district Samara. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2015;17(1):762–764. (In Russ.) Available at: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2015/2015_1_14_17.pdf.
22. Vilchinskaya-Butenko M. E. Modes of visualization of urban art: street art vs public art. *Tomsk State University Journal of Cultural Studies and Art History*. 2022;(47):18–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.17223/22220836/47/2>
23. Zolotuha E. V., Zhivitsa V. V. Synthesis of architecture and graffiti as a method of transforming the appearance of the urban environment. *Construction and Industrial Safety*. 2023;(28):5–12. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-arhitektury-i-graffiti-kak-priyom-preobrazheniya-oblika-gorodskoy-sredy/viewer>.
24. Safronov K. E., Safronov E. A. Availability as a town-planning problem. *Academia. Architecture and Construction*. 2009;(3):74–77. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/dostupnost-kak-gradostroitel'naya-problema/viewer>.



Информация об авторах

Дьячкова Людмила Германовна, д-р пед. наук, канд. искусствоведения, профессор Высшей школы архитектуры и градостроительства, Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация, 003795@pnu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9497-4994>

Ордынская Юлия Владимировна, канд. архитектуры, доцент, доцент Высшей школы архитектуры и градостроительства, Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация, ordynka.y@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7687-3252>

Ильин Константин Сергеевич, старший преподаватель Высшей школы архитектуры и градостроительства, Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

Information about the authors

Lyudmila G. Dyachkova, Dr. Sci. (Pedagogic), Cand. Sci. (Arts), Professor in the Higher School of Architecture and Urban Planning, Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation, 003795@pnu.edu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9497-4994>

Yulia V. Ordynskaya, Cand. Sci. (Architecture), Associate Professor, Associate Professor in the Higher School of Architecture and Urban Planning, Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation, ordynka.y@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7687-3252>

Konstantin S. Ilyin, Senior Lecturer in the Higher School of Architecture and Urban Planning, Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Получена 11 сентября 2024 г., одобрена 15 ноября 2024 г., принята к публикации 26 ноября 2024 г.
Received 11 September 2024, Approved 15 November 2024, Accepted for publication 26 November 2024



Крупнопанельное домостроение в градостроительстве Самарканда (Узбекистан)

Д. Н. Султанова ✉

Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет,
ул. 70-я Лолазор, Самарканд, 140143, Республика Узбекистан

✉ dilsultoni@list.ru

Аннотация. В основу работы положены результаты проведенных исследований застройки Самарканда (Республика Узбекистан) на примере жилого массива Саттепо. Обозначен вклад домостроительных комбинатов Самарканда, застраивавших массив 5- и 9-этажными керамзитобетонными жилыми домами типовых проектов популярных серий 1-464, 148 и 1-474 из укрупненных стеновых панелей. Рассмотрено художественное мозаичное оформление домов, которое придает уникальный национальный колорит зданиям типовой застройки советского периода, обладает исторической культурной ценностью и до сих пор впечатляет жителей и гостей Узбекистана. Проведение таких исследований обусловлено необходимостью поиска баланса между сохранением истинных культурных ценностей и возможностью изменений в архитектурном облике города Самарканда для его дальнейшего развития.

Ключевые слова: микрорайонная организация, домостроительный комбинат, Узбекистан, Самарканд, керамзитобетонные панельные дома, пик строительства, облик города Самарканда, массовое строительство, климатические условия, убранство наружных фасадов

Для цитирования: Султанова Д. Н. Крупнопанельное домостроение в градостроительстве Самарканда (Узбекистан). *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):35–43. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-35-43>

The role of large-panel system construction in the urban development of Samarkand, Uzbekistan

Dilshoda N. Sultanova ✉

Samarkand State Architectural and Civil-Engineering University, 70 Lolazor St., Samarkand,
140143, Republic of Uzbekistan

✉ dilsultoni@list.ru

Abstract. This paper presents the findings of urban development studies conducted in Samarkand (Republic of Uzbekistan), using the Sattepo residential area as a case study. The contribution of Samarkand's precast concrete factories, which constructed the microdistrict with 5- and 9-story lightweight expanded clay concrete panel residential buildings from enlarged wall panels of popular standardized series 1-464, 148, and 1-474, was examined. The artistic mosaic decoration of these buildings imparts a unique national character to these standardized Soviet-era housing developments and has a historical cultural value, continuing to impress residents and visitors to Uzbekistan. Such research is needed to find a balance between the preservation of authentic cultural values and the possibility of architectural modifications in Samarkand for its continued development.

Keywords: microdistrict planning, precast concrete factory, Uzbekistan, Samarkand, expanded clay concrete panel buildings, construction peak, Samarkand's urban landscape, mass housing construction, climatic conditions, external facade ornamentation

For citation: Sultanova D. N. The role of large-panel system construction in the urban development of Samarkand, Uzbekistan. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4):35–43. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-35-43>



1. Введение

Опыт современного и традиционного проектирования и строительства в Узбекистане схож с опытом близких в климатическом отношении стран (Казахстана, Киргизии, Таджикистана, Египта, Ирана, Ирака, Китая, Греции, Афганистана). Для осмысления зарубежного опыта проектирования и строительства жилых домов были изучены исследования О. Voissiere, З. Вавиловой, Р. Леру, Г. Липсмайера, Ф. Макдональд, И. С. Шукурова, Т. Раппопорт, В. Фирсанова, Н. Этенко, Д. Пайла, Л. Неффа, В. Рунге, А. Т. Ахмедова и Р. Сабитова [1].

Тенденции современного строительства широко освещены в работах архитекторов Р. Нейтры, Ж. Кандилиса, А. Предока, Ф. Л. Райта, Ле Корбюзье, Ч. Корреа, Р. Майера, Г. Седлера, Н. Фостера. Большое внимание в них уделяется вопросу комфортности проживания.

Новые подходы в области строительства направлены на развитие и внедрение передовых технологий, которые, к примеру, дают возможность воздвигать здания в короткие сроки. Города застраиваются в соответствии с новой градостроительной концепцией – принципами комплексного развития, и Самарканд – не исключение. Сегодня в условиях территориального расширения границ города обеспеченность жильем достигается за счет строительства новых современных жилых массивов – микрорайонов, состоящих из высотных многоэтажных зданий. Жилой дом и предметно-пространственная среда становятся архитектурно-дизайнерскими объектами, предназначенными для комфортного семейного проживания. Городское жилище и его оснащение воспринимаются частью общей городской системы и напрямую зависят от ее организации. А в каждом современном микрорайоне параллельно выстраивается необходимая промышленно-производственная, сервисная и социальная инфраструктура [2]. В последнее время в результате реализации совместных с турецкими специалистами проектов в массиве Корасув Самарканда появляется новая высокоэтажная жилая застройка – 7-, 12- и 25-этажные дома. Новый микрорайон отличается развитой инфраструктурой, высокой степенью взаимосвязанности элементов, новым качеством обслуживания. Кроме того, сохранена связь с природой: в непосредственной близости находится река Сиаб и лесопарк у акватории. В квартирах этих домов, по сравнению с более ранней застройкой, увеличилась площадь подсобных помещений, выше стал потолок, заметно расширились кухни-столовые и летние помещения – лоджии.

Однако историческим ядром центральной части городов Узбекистана являются микрорайоны, застроенные крупнопанельными жилыми домами. Именно им и посвящено данное исследование (на примере жилого массива Саттепо). Крупнопанельная застройка советского периода требует историко-культурной оценки объектов, что определяет актуальность исследования.

Как известно, впервые понятие «микрорайон» сформулировал архитектор Кларенс Пери в 1929 г., применив его к жилым массивам Нью-Йорка. Практикой микрорайонирования для крупных и средних городов явилось творчество английского градостроителя Лесли Патрика Аберкромби в 1940 г., который для реконструкции Лондона предложил и теоретически обосновал микрорайонную структуру.

Микрорайонная организация городской среды отражала новый этап советского градостроительства и отличалась более свободной планировкой. Примерами микрорайонной системы могут служить застройка Москвы, Новосибирска, Владивостока. Массовому внедрению микрорайонной

застройки предшествовал эксперимент в 9 квартале Новых Черемушек в Москве [3]. В Ташкенте одним из самых больших микрорайонов стал Чиланзар. Практика последних лет периода независимости Узбекистана показывает, что микрорайонная структура не теряет своей четкости и социально-планировочного единства, это можно наблюдать и в новостройках Ташкента, Самарканда (массив Корасув), Каттакургана и др. Единственное отличие в том, что это новое единство в настоящее время принято называть «сити».

В период массового строительства 60–80 гг. XX века роль архитектуры сводилась к тиражированию готовых решений. Главными характеристиками архитектурных сооружений того времени были типизированность и унифицированность, что приводило к обезличенности, монотонности и примитивности архитектурных решений. Несмотря на это, некоторые архитекторы сходятся во мнении, что необходимо не только сохранить эту, казалось бы, неуникальную застройку, но и вернуть некоторые удачные решения того времени [4].

Цель настоящего исследования – установление времени постройки крупнопанельных жилых домов в массиве Саттепо (Самарканд), выявление общих и отличительных особенностей в организации объемно-планировочных и архитектурных решений, определяющих целостность их восприятия и историко-культурную ценность. Именно такой подход в исследовании исторической застройки допустим и приемлем для принятия решения об отнесении зданий к разряду исторических, подлежащих сохранению.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: изучить историю квартала, историю строительства жилых домов ДСК и установить основные ценностные параметры жилого массива.

2. Материалы и методы

Объектом исследования в настоящей статье определены крупнопанельные жилые здания массива Саттепо в Самарканде. Предметом исследования выступает перечень ценностных параметров зданий в микрорайоне Саттепо, расположенных в нецентральной части города, внутри квартальной застройки. Границы исследования определены периодом строительства и перестроений жилого массива (конец 1970-х – 1995-е гг.).

В рамках комплексно-научных исследований, включающих историко-архивные, библиографические, иконографические исследования, натурное обследование объектов с фотофиксацией, изучены материалы, содержащие сведения об истории освоения участка.

3. Результаты и обсуждение

Одним из важнейших моментов организации жилой застройки в условиях резко континентального климата, характеризующегося сухой жаркой погодой летом и ветреной в зимнее время, является всесторонний учет природно-климатических факторов, во многом предопределяющих индивидуализацию объемно-пространственной композиции градостроительных и архитектурно-планировочных решений. Сухой жаркий климат Самарканда создает тяжелые условия для теплового обмена организма человека с окружающей средой.

В последние 8–10 лет в разных частях древнего города возводятся многоэтажные жилые дома высотой в 12, 16, 24 этажа (например, в массиве Корасув) различной архитектурно-планировочной конфигурации. Зачастую при этом не учитываются природно-климатические условия региона. Тогда как размещение многоэтажных зданий на равнинном рельефе местности с промежуточными параметрами по длинной стороне зданий уменьшает скорость движения воздуха, вследствие этого не только меняется микроклимат дворового пространства, но и происходит загрязнение атмосферного воздуха.

Строительство жилых зданий повышенной этажности в Самарканде имеет ряд недостатков градостроительного характера: несоответствие архитектурно-планировочной структуры многоэтажных жилых зданий местным природно-климатическим условиям; ограниченность градостроительной маневренности многоэтажных жилых зданий; недостаточность взаимосвязи среды обитания с природной и окружающей средой. Все это приводит к снижению архитектурно-планировочных качеств жилых зданий и жилой застройки, а также не позволяет осуществлять оптимизацию структуры жилищного строительства.

При проектировании жилой застройки в жарком климате необходимо принимать меры по увеличению скорости свободного ветрового потока, защите от избыточной инсоляции, снижению теплового воздействия на вертикальные и горизонтальные поверхности, создавая бассейны, искусственные водоемы, озелененные территории.

Крупнопанельные жилые дома, оставшиеся нам в наследство от советского периода, с этими задачами справлялись. Именно таким удачным градостроительным практикам и посвящено данное исследование.

Градостроительная ситуация в Самарканде сильно менялась на протяжении XX века. Можно выделить три этапа – начиная с 1900 и до 1995 года.

1 этап. После того как город Самарканд стал губернией России, началось строительство зданий и сооружений различного назначения из жженого кирпича с разным архитектурным оформлением. Пик строительства и создания инфраструктуры пришелся на 1900–1924 гг. В период установления советской власти и образования Узбекской ССР со столицей в городе Самарканде строительство жилых домов и других объектов инфраструктуры перешло в новую фазу. Оно вышло за пределы территории старгородской зоны, которая включает в себя архитектурное наследие времен Амира Темура: ансамбль Шохи Зинда, соборную мечеть и мавзолей Биби Ханум, ансамбль Регистан, куда входят медресе Мирзо Улугбека, медресе Шердор и мечеть Тилла Кори, мавзолей Амира Темура и цитадель Амира Темура (сейчас на этой территории находится здание областного хокимията, ресторан и другие объекты).

2 этап. В 1960-х гг. началось расширение территории в западной части города Самарканда со строительством микрорайонов А и Б, а позже – массивов Согдиана и Саттепо с соответствующей инфраструктурой.

Жилой массив Саттепо расположился на месте раннесредневекового согдийского замка Саратепе, находившегося в одноименном селении на юго-восточной окраине города Самарканда. Историки полагают, что замок, возведение которого началось в VII веке вдоль оборонительной стены Девори Киямат для усиления ее обороноспособности, должен был стать сторожевым постом, что подтверждается характерным устройством здания: его помещения образуют две сравнительно симметричные группы по сторонам осевого коридора. Однако он не был достроен. После возведения нижнего этажа до перекрытия сводами пандусного подъема строительство прекратили, а готовые помещения нижнего этажа аккуратно заложили сырцом, превратив их в сплошную платформу. Позже вплоть до 1980-х гг., когда началась застройка, на этом месте были колхозные поля.

По утвержденному генплану в новых микрорайонах размещались 5- и 9-этажные жилые дома типового проекта серии 1-464 УСП (укрупненные стеновые панели) [5] (рис. 1).

Типовой проект серии 1-464 УСП был разработан в 1958–1959 гг. институтом Гипростройиндустрия (Москва, Российская Федерация). Строительство жилых домов этой серии (хрущевки, хрущевских трущоб) с перекрестной конструктивной схемой и наружными керамзитобетонными стенами толщиной 300 мм с фактурным слоем, стало самым массовым строительством жилья экономкласса с 1961 г. Высота помещения составляла 2.5 м, шаг осей 2.6 и 3.2 м. Кухонная часть и лестничная клетка узкие. Среди домов этого типа часто встречаются четырехсекционные торцевые и рядовые [5].



Рис. 1. Пятиэтажный дом серии 1-464: а) проект; б) план этажа [5]; в) дом в жилом массиве Саттепо (фото автора)
Fig. 1. Five-story building of series 1-464: a) design; b) floor plan [5]; c) building in the Sattepo residential area (author's photo)

Свыше 200 домостроительных предприятий по всему Союзу, которые ежегодно выпускали изделия для домов общей жилой площадью 10 млн м², использовали серию 1-464 УСП в производстве.

В исторических микрорайонах Самарканда и в жилом массиве Саттепо применены только рядовые секции среднеэтажных домов. Для строительства домов серии 1-464 УСП в 1961 г. в Самарканде был создан Первый домостроительный комбинат – ДСК № 1 на пересечении ул. Гагарина – Титова. Перекрестно-стенная конструкция использовалась для строительства 2- и 3-комнатных квартир и предполагала наличие балконов, здания считались прочными и долговечными. Внешние стены 1- и 3-слойные толщиной 300–350 мм из керамзитобетона с арматурным каркасом¹. Межквартирные и межкомнатные перегородки сплошные однослойные из тяжелого бетона марки М300 толщиной 120 мм. Перекрытия – сплошные беспустотные бетонные плиты толщиной 120 мм. Кровля совмещенная, мягкая, без чердачных помещений.

Модификация серии типовых панельных домов 1-464 благодаря низкой себестоимости строительства и применению строительных конструкций и материалов местного производства завоевала большую популярность [6]. Позже, в 1985 г., был разработан проект 5-этажного жилого дома на базе серии 1-464 УСП с единым шагом 3.2 м с улучшенной планировкой, верандой вместо балкона и вентилируемой кровлей с применением кровельных панелей. Отличие от предыдущего проекта – увеличение шагов в части кухонной планировки и лестничной клетки, и, как результат, увеличение общей площади квартиры. Выход из зала и кухни прямо на веранду (балкон). Высота помещения осталась прежней – 2.52 м. Недостатком являлось отсутствие лифтовой шахты, мусоропровода и небольшая высота помещения [6].

3 этап. 1980–1991 гг. Застройка жилого массива Саттепо в начале 1980-х гг. продолжилась 9-этажными крупнопанельными жилыми домами серии 148 и 5-этажными серии 1-474 УСП. Изначально микрорайоны А, Б и Согдиана застраивались четырехэтажными домами серии 1-474 УСП с шагом 2.6 × 3.2, в дальнейшем было принято решение о надстройке пятого этажа.

¹ Султанова Д. Н. Архитектура – в теории и практике: история крупнопанельного домостроения города Самарканда. Узбекистон бунёдкори. Ташкент; 2020, № 74 (423).



Рис. 2. Крупнопанельные жилые дома на ул. Туркистон массива Саттепо, Самарканд, 1990 г. (фото автора)
Fig. 2. Large-panel residential buildings on Turkiston Street, Sattepo residential area, Samarkand, 1990 (author's photo)



Рис. 3. Фасадные декоры домов 5 микрорайона массива Саттепо, 1990 г.²
Fig. 3. Facade ornamentation of the 5th microdistrict buildings in Sattepo residential area, 1990²

В разработке проектов детальной планировки жилого массива Саттепо на площади 200 га принимали участие ведущие архитекторы и инженеры Самаркандского филиала Узбекского научно-исследовательского института проектирования градостроительства (УзНИИПградостроительства) под руководством главного архитектора проекта Ромиля Усманаева и начальника архитектурно-строительного отдела № 2 Александра Чекулаева. Главный инженер проекта Абдурафик Хакимов разработал генеральный план этих микрорайонов с учетом использования мощности Самаркандского домостроительного комбината и социальной инфраструктуры [7] (рис. 2).

По инициативе главного инженера проекта архитектурно-строительного отдела № 2 Самаркандского филиала УзНИИПградостроительства, согласно решению Госстроя Узбекской ССР, в 1985 г. определена проектная группа по разработке на базе серии 1-474 УСП Самаркандского домостроительного комбината 5-этажного жилого дома с единым шагом 3.2 м, с 2-, 3-комнатными квартирами улучшенной планировки, с верандой и вентилируемой кровлей. Архитектором по разработке планировки была Мавлюда Абдукадилова, инженером разработки – Наил Исхаков, главным инженером проекта – Абдурафик Хакимов.

Проектная документация была представлена на утверждение в Госстрой Узбекской ССР, и в результате была утверждена серия «Зерафшан». Домами этой серии застроены пос. Фархад (1988–1989 гг.), 5 микрорайон жилого массива Саттепо и другие районы города Самарканда (рис. 3).

С 1980 по 1995 гг. в Самарканде функционировал Домостроительный комбинат № 2, который выпускал укрупненные керамзитобетонные стеновые панели для 9-этажных жилых домов серии 148. Ежегодно он сдавал в эксплуатацию 150 тыс. м² жилья.

² Султанова Д. Н. Самаркандский ДСК: как это было. Режим доступа: <https://sv.zarnews.uz/post/samarkandskiy-dsk-kak-eto-blo> (дата обращения: 14.07.2024)

Серия была разработана в УзНИИПградостроительства (Ташкент) и соответствовала требованиям времени. Типовой проект подразумевал поточную технологию изготовления железобетонных и керамзитобетонных изделий. Жилые дома серии 148 были построены в микрорайоне Согдиана и жилком массиве Саттепо, а также в 29 квартале пос. Суперфосфатный города Самарканда (Кимегарлар-Химики). Отмечу, что несколько жилых домов этой серии было построено и в соседней Республике Таджикистан, в частности, в городе Пенджикент.

Структура крупнопанельного 9-этажного жилого дома включала рядовые блок-секции, торцевую блок-секцию с верандой. Высота этажа составляла 2.9 м, потолка – 2.7 м. Фундамент был монолитным (и сборным) с арматурными выпусками для сердечников в пересечениях продольных и поперечных стен с последующей чеканкой из бетона марки М300; кровля – из водонепроницаемых кровельных плит. В домах предусмотрены пассажирские лифты и мусоропроводы. На первом этаже рядом с главным входом отдельно был организован контейнерный мусоросборник.

В пятикомнатной квартире были кухня с выходом на веранду, ванная комната с санузлом, большой зал, две детские спальни, две спальни с выходом на трапециевидный балкон, прихожая с коридором. Общая площадь с верандой и балконом составляла 98.72 м², жилая – 68.72 м².

Поверхность фактурного слоя фасадных стеновых панелей была облицована в заводских условиях разноцветными (лазуритового, бежевого, охристого, коричневого, красного, синего, голубого, фиолетового цветов) плитками «Ириска» 4 × 4 см, сложенными в виде орнамента, наружные панели межоконных стен и лестничной клетки были облицованы однотонной мозаикой.

К сожалению, на сегодняшний день домостроительные комбинаты по выпуску укрупненных стеновых панелей для домов серий 148 и «Зеравшан» ликвидированы. Эти серии являлись мобильными в монтаже, была возможность проектирования на их базе домов различных модификаций, а также строительства 12–16-этажных жилых домов. Конструкции этих серий были прочными и устойчивыми, за период эксплуатации не было зафиксировано ни одной аварийной ситуации.

Если вернуться к цели нашего исследования, в частности, к вопросу историко-культурной ценности жилых зданий массива Саттепо, то ответ на этот вопрос будет отрицательным. Однако не стоит преуменьшать значение этой застройки, которая в свое время позволила быстро и качественно продолжить развитие города Самарканда, а конструктивные решения, предложенные советскими архитекторами, соответствовали природно-климатическим условиям региона.

4. Заключение

Жилые объекты разных периодов постройки формируют города и могут относиться к наследию архитектуры. При этом индивидуальный подход и детальное изучение отдельных объектов или объектов в составе микрорайона дают четкое понимание того, что и сама историческая застройка, и отношение к ней со временем претерпевают изменения. Порой эти изменения носят стихийный характер, в результате чего не всегда удается сохранить самое ценное.

В статье в качестве примера рассмотрен жилой массив Саттепо (в других микрорайонах сходного периода застройки применялись аналогичные решения), основной период застройки которого приходился на 1980-е гг. Во многом благодаря успешным практикам советского домостроительства, тиражировавшимся по всему Советскому Союзу, а также действовавшим в Самарканде домостроительным комбинатам, были реализованы серии 1-464 УСП, 148, 1-474 УСП. Дома массива Саттепо хоть и являются ярким примером советской архитектуры, историко-культурной ценностью не обладают. Даже несмотря на то, что они строились на месте древних замков и стен.

На сегодняшний день оба самаркандских домостроительных комбината, сыгравших важную роль в процессе исторической застройки города, в частности, жилого массива Саттепо, ликвидированы. По решению городского хокимията города Самарканда, в цехе по выпуску укрупненных ке-

рамзитобетонных и железобетонных панелей серии 148 (ДСК № 2) расположился крытый базар «Дамарык», а административное здание перепланировано под жилье. Оставшиеся здания постепенно разбирают. Здание распродано, оборудование утилизировано на металлолом. Но дома, построенные этими мощными предприятиями, оказались надежными и прочными, в них и по сей день живут люди.

Задача современной архитектуры – создание системы функциональных связей и взаимоотношений: квартира – дом – улица – квартал – район – город. Решать ее можно разными способами – отказываться от собственного наследия и брать пример у зарубежных коллег, разрабатывать свои решения и т. д. Безусловно, нельзя игнорировать новые тенденции в строительстве и архитектуре, но важно также сохранять баланс между историей и современностью, выбирать именно те решения, которые будут комплементарны городу в части сохранения его традиций и соответствия природно-климатическим условиям.

Исследование опыта строительства крупнопанельных жилых домов является востребованным в настоящее время, так как многие конструктивные решения зарекомендовали себя как устойчивые и прочные и могли бы найти применение в современной практике строительства. Тем не менее, данный вопрос является дискуссионным и требует обсуждения со специалистами в области архитектуры и градостроительства.



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

Список литературы

1. Ахмедова А. Т. *Пространственная организация архитектурной среды современного городского жилища юго-востока Казахстана: автореферат диссертации доктора архитектуры*. Алматы: КазГАСА; 2009. 41 с.
2. Салиева Н. М. Архитектурно-климатические параметры для изучения аэрационного режима многоэтажной жилой застройки в Самарканде. *Проблемы архитектуры и строительства*. 2022;1(4): 26–28. Режим доступа: <https://samdaq.edu.uz/sites/default/files/institut-ilmiy-jurnali/2022-4-1.pdf>.
3. Волков Л. Останется ли микрорайон завтра? *Архитектура СССР*. 1982;(1):25. Режим доступа: https://science.totalarch.com/magazine/a_ussr/architecture_ussr_1982_01.pdf.
4. Сабитов А. Р. *Пространственные модели в архитектуре Казахстана: автореферат диссертации доктора архитектуры*. Алматы: КазГАСА; 2007. 46 с.
5. Султанова Д. Н. Развитие архитектуры Узбекистана в период 1980-х годов. В сб.: *Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития. Т. II. Тюмень, 22–23 апреля 2022 года*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2022. С. 269–276. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49395743&pff=1>.
6. Султанова Д. Н. Домостроительные комбинаты в архитектуре Узбекистана. В сб.: *Дизайн и архитектура: синтез теории и практики. Краснодар, 18–23 апреля 2022 года*. Краснодар: КубГУ. С. 317–321. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49523096>.
7. Sultonova D. N., Xudoyqulova F. Samarqand shahri ko'p qavatli turar joy binolari. In: *International Scientific and Practical Conference Cultural Echoes on the Silk Road: Bridging Historical Legacies with Modern Tourism. May 16–18, 2024*. P. 467–471. <https://doi.org/10.5281/zenodo.11223969>

References

1. Akhmedova A. T. *Spatial organization of the architectural environment of modern urban dwelling in the south-east of Kazakhstan: abstract of the dissertation of Dr. Sci. (Architecture)*. Almaty: KazGASA; 2009. (In Russ.)
2. Salieva N. M. Architectural and climatic parameters for studying the aeration regime of multi-storey residential buildings in Samarkand. *Problemy arkhitektury i stroitel'stva*. 2022;1(4): 26–28. Available at: <https://samdaq.edu.uz/sites/default/files/institut-ilmiy-jurnali/2022-4-1.pdf>. (In Russ.)
3. Volkov L. Will the microdistrict remain tomorrow? *Arkitektura SSSR*. 1982;(1):25. Available at: https://science.totalarch.com/magazine/a_ussr/architecture_ussr_1982_01.pdf. (In Russ.)

4. Sabitov A. R. *Spatial models in the architecture of Kazakhstan: abstract of the dissertation of Dr. Sci. (Architecture)*. Almaty: KazGASA; 2007. (In Russ.)
5. Sultanova D. N. Development of Architecture of Uzbekistan in the 1980s. In: *Arkhitektura i arkhitekturnaya sreda: voprosy istoricheskogo i sovremennogo razvitiya = Architecture and architectural environment: issues of historical and contemporary development*. Vol. II. Tyumen, April 22-23, 2022. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2022. P. 269–276. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49395743&pff=1>.
6. Sultanova D. N. House-building plants in architecture of Uzbekistan. In: *Dizayn i arkhitektura: sintez teorii i praktiki = Design and architecture: synthesis of theory and practice*. Krasnodar, April 18-23, 2022. Krasnodar: Kuban State University. P. 317–321. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49523096>.
7. Sultonova D. N., Xudoyqulova F. Samarqand shahri ko'p qavatli turar joy binolari. In: *International Scientific and Practical Conference Cultural Echoes on the Silk Road: Bridging Historical Legacies with Modern Tourism*. May 16–18, 2024. P. 467–471. (In Turk.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.11223969>



Информация об авторе

Султанова Дилшоода Намазовна, доктор архитектуры, профессор кафедры искусств, Самаркандский государственный архитектурно-строительный университет, Самарканд, Республика Узбекистан, dilsultoni@list.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0975-2390>

Information about the author

Dilshoda N. Sultanova, Dr. Sci. (Architecture), Professor in the Department of Arts, Samarkand State Architectural and Civil-Engineering University, Samarkand, Republic of Uzbekistan, dilsultoni@list.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0975-2390>

*Получена 17 августа 2024 г., одобрена 04 декабря 2024 г., принята к публикации 06 декабря 2024 г.
Received 17 August 2024, Approved 04 December 2024, Accepted for publication 06 December 2024*



Механические свойства цементных композитов, армированных керамическим волокном

Г. А. Зимакова✉, Е. А. Каспер, О. С. Бочкарева
Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация

✉ ga.winter@yandex.ru



Аннотация. Особая роль в модификации структуры цементных композитов отводится армирующим компонентам и добавкам химического типа. Использование в качестве дисперсно-армирующего компонента керамических волокон в составе цементных систем позволяет повысить прочность на растяжение при изгибе, трещиностойкость и долговечность материала. По результатам исследования выявлено, что в качестве структурообразующего компонента бетона рационально применять керамические волокна на основе муллитокремнезема диаметром от 0.02 до 0.06 мм в сочетании с химической добавкой на основе карбоксилатов. Установлены оптимальные дозировки муллитокремнеземистого волокна, влияющие на структуру и физико-механические свойства цементного камня. Методом растровой электронной микроскопии и спектрального анализа изучены процессы, происходящие на границе раздела *цементная матрица – волокно*, выявлено, что обрастание волокон фазообразующими гидратами обеспечивается за счет структурно-химического соответствия. Применение керамических волокон высокотемпературного синтеза и водоредуцирующей добавки позволило увеличить прочность на сжатие цементных композитов в 1.9 раза, повысить сопротивление цементного камня разрушению за счет увеличения прочности на растяжение при изгибе в 3.9 раза и повышения трещиностойкости в 2 раза по сравнению с контрольным составом.

Ключевые слова: цементные композиты, суперпластификатор, дисперсное армирование, керамическое волокно, прочность на сжатие, прочность на растяжение при изгибе, трещиностойкость

Для цитирования: Зимакова 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>

Mechanical properties of cement composites reinforced with ceramic fiber

Galina A. Zimakova✉, Elena A. Kasper, Olga S. Bochkareva
Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation

✉ ga.winter@yandex.ru



Abstract. Reinforcing components and chemical additives are significant in modifying the structure of cement composites. Ceramic fibers, as a disperse-reinforcing component in cement systems, provide increased tensile strength in bending, crack resistance and durability of the material. The results of the research have revealed that such a concrete structure-forming component as ceramic mullite-silica fiber 0.02 to 0.06 mm across is rational to combine with a carboxylates-based chemical additive. Optimal dosages of mullite-silica fiber that influence the structure and physical-mechanical properties of the cement stone were determined. The method

of scanning electron microscopy and spectral analysis was used to examine processes on the interface *cement matrix – fiber*. It has been underlined that fibers are covered by phase-forming hydrates due to structural and chemical correspondence. The use of ceramic fibers of high-temperature synthesis and water-reducing additive made it possible to increase the compressive strength of cement composites by 1.9 times compared to the control sample, as well as to improve the resistance of cement stone to destruction by increasing the bending tensile strength by 3.9 times and crack resistance by 2 times compared to the control composition.

Keywords: cement composites, superplasticizer, dispersed reinforcement, ceramic fiber, compressive strength, bending tensile strength, crack resistance

For citation: 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>



1. Введение

Надежность железобетонных конструкций связана с сопротивлением бетона к образованию и раскрытию трещин. К основным факторам, обуславливающим трещиностойкость, относят: структурные, прочностные и деформативные характеристики бетона; физико-механические свойства арматуры и ее распределение по сечению конструкции; коррозионную стойкость к воздействию окружающей среды. Управление процессами структурообразования с целью получения композита с заданным набором технических характеристик реализуется за счет изменения компонентного состава цементных бетонов. Повышению прочности бетона посвящено большое число научных исследований, в которых значительная роль отводится химическим и минеральным добавкам [1–4]. Изучены закономерности влияния модификаторов химического типа и изложены механизмы электростатического взаимодействия, выявлена эффективность применения активных минеральных добавок [5, 6]. Вопросы управления трещиностойкостью бетона решаются путем многоуровневого армирования, при этом дисперсное упрочнение бетона рассматривается как эффективный прием торможения трещин на микроуровне. Возможный диапазон повышения технических характеристик цементных композитов и достигаемые эффекты от введения новых структурообразующих компонентов в виде волокон микро- и наноразмерного диапазона изложены в работах [7–11]. Применение конструкций из таких композитов позволило реализовать строительство ряда уникальных объектов за счет расширения технологических решений и улучшения технических показателей качества бетонов [12–15].

Применение армирующих компонентов в составе бетона основано на концепции о перераспределении нагрузок от цементной матрицы волокнам за счет сил, действующих на поверхности раздела *цементная матрица – волокно*. Повышенное сопротивление разрушению в этом случае достигается за счет блокирования микротрещинообразования и препятствования развитию магистральных трещин. Эффект от введения волокон зависит от таких факторов, как соотношение модулей упругости фибры и матрицы, коэффициент фибрового армирования, ориентация волокон и их химическая стойкость по отношению к матрице. Конструкции из фибробетона обладают высокой динамической прочностью за счет перераспределения энергии ударных воздействий.

По сравнению с другими видами волокон металлическая фибра имеет ряд преимуществ [16–18], однако ее производство является достаточно трудоемким. Некоторые виды металлических фибр не обладают достаточной анкерующей способностью. В исследованиях [9, 10, 12, 19–21] отражено изменение прочностных показателей и приведен обзор аспектов долговечности бетона вследствие дисперсного армирования полипропиленовыми, полиэтиленовыми, стеклянными, базальтовыми, углеродными и другими видами волокон. Установлено, что дисперсное армирование стеклянными волокнами позволяет повысить прочность бетона на растяжение, трещиностойкость, стойкость к ударным нагрузкам [9, 20]. Проведено множество испытаний прочности, долговечности, температуры и микроструктур-

Таблица 1. Основные характеристики неорганических армирующих волокон и нитей
Table 1. Main properties of inorganic reinforcing fibers and filaments

Волокно	Диаметр, мкм	Плотность, г/см ³	Температурный диапазон, °С	Модуль упругости, ГПа	Прочность, ГПа
Стеклоанное, тип Е и S	3–30	2.6–2.8	900–1000	70–90	2.0–5.0
Базальтовое	10–18	2.7–2.9	100–1200	70–90	1.8–1.9
Кварцевое	3–10	2.2–2.25	1600–1700	70–75	3–6
Волокно оксида алюминия	15–25	2.9–3.9	2000–2100	350–380	1.4–2.4
Волокно карбида кремния	100–150	3.1–3.2	2700–2800	400–480	1–3.5

ных характеристик бетона, армированного базальтовой фиброй [11, 21], полученные результаты свидетельствуют о повышении целого ряда технических характеристик бетона при дозировании фибры в определенном диапазоне. В процессе исследований применяют в основном базальтовые волокна со следующими техническими характеристиками: прочностью на разрыв 1.6–3.6 ГПа, модулем упругости до 80–110 ГПа, диаметром фибры 8–10 мкм, длиной 100–500 мкм, для улучшения свойств волокон применяют модифицирование, например, астраленами [11]. Стойкость стеклянной и базальтовой фибры к щелочам имеет решающее значение, однако результаты исследований щелочестойкости противоречивы. Так, обнаружено [10], что в щелочных условиях по мере увеличения продолжительности твердения на поверхности как базальтовой, так и стеклянной фибры формируются новые гидраты, которые являются результатом реакции между раствором щелочи и активным кремнеземом волокон, что приводит к уменьшению объема волокон. Поэтому в мировой практике применяют щелочестойкие стеклянные волокна, а изменение характеристик базальтовых волокон на данном этапе исследований считается допустимым. В таблице 1 представлены основные характеристики армирующих волокон и нитей.

Как следует из результатов анализа имеющихся научных данных, наиболее универсальны для микродисперсного армирования бетонов неорганические волокна, которые отвечают требованиям по прочности, достаточной щелочной, кислотной и коррозионной стойкости, обеспечивают повышение предела огнестойкости конструкций. В процессе проведенного исследования в качестве фибры для дисперсного армирования бетона использованы керамические волокна муллитокремнеземистого состава. Армирование керамическими волокнами, как правило, применяется в конструкционной керамике для повышения устойчивости композитной конструкции к распространению трещин и устранения резкого хрупкого разрушения высокотемпературной матрицы (УНТСС).

Целью данной работы явилось исследование влияния муллитокремнеземистого волокна на свойства модифицированного добавками цементного камня и бетона.

2. Материалы и методы

В проведенных исследованиях были использованы следующие материалы:

- портландцемент Сухоложского цементного завода ЦЕМ I 42.5Н по ГОСТ 31108-2020¹;
- добавка суперпластификатор SikaViscoCrete 20NE на основе водных композиций модифицированных поликарбоксилатных эфиров;
- волокно керамическое муллитокремнеземистое РУВОЛ-М производства ООО «Морган Термал Керамикс Сухой Лог» (Российская Федерация) (рис. 1).

¹ ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия = Common cements. Specifications. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200174658> (дата обращения: 14.08.2024).

Химический состав волокон, %: Al_2O_3 – 52.37; SiO_2 – 40.44; P_2O_5 – 2.94; K_2O – 1.95; CaO – 1.03; Fe_2O_3 – 0.726; Cr_2O_3 – 0.0277. Диаметр волокон 1.5–4 мкм, длина волокон от 0.3 до 1.6 мм;

- кварцевый песок с модулем крупности 2.16, отвечающий требованиям стандарта;
- вода в соответствии с ГОСТ 23732-2011².

Реологические характеристики цементного теста оценивались по величине расплыва конуса на встряхивающем столике. Для проведения экспериментальных исследований были изготовлены образцы-кубы с ребром 2 см и образцы-призмы размером 2 × 2 × 6 см. Образцы твердели в воде при температуре 20 °С. Прочность на сжатие определялась в возрасте 2, 7 и 28 суток, прочность на растяжение при изгибе – в возрасте 28 суток. Для оценки трещиностойкости применялись: величина напряжения, при котором образуется трещина, коэффициент трещиностойкости (Ктр) – определялся расчетным методом по соотношению величины предела прочности на растяжение при изгибе к прочности на сжатие. Эффективность применения волокон изучена по результатам испытания образцов размером 400 × 100 × 40 мм из мелкозернистого бетона в возрасте 28 суток.

Методом растровой сканирующей микроскопии с применением электронного оптического микроскопа инвертированного типа GX-51 изучены фрактальные поверхности раздела *цементная матрица – волокно* и представлены СЭМ-изображения кристаллизующихся новообразований на поверхности волокон, выявлен характер трещин на участке разрыва камня под действием изгибающей нагрузки.

3. Результаты и обсуждение

С целью понижения пористости цементного камня и повышения прочности при условно-постоянных реологических характеристиках теста изучено влияние добавки SikaViscoCrete 20HE в интервале дозировок 0.5–1.5 мас. %. Полученные результаты представлены в таблице 2 и на рис. 2.

Таблица 2. Реологические характеристики цементного теста и механические свойства цементного камня, модифицированного добавкой SikaViscoCrete 20HE

Table 2. Rheological properties of cement paste and mechanical properties of cement stone modified with SikaViscoCrete 20HE

№ серии	Дозировка добавки, мас. %	Диаметр расплыва, мм	В/Ц	Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте, сут.			Прочность на растяжение при изгибе, МПа
				2	7	28	
1	–	156	0.31	32.0	35.5	44.5	5.45
2	0.5	155	0.23	49.0	51.6	81.2	10.73
3	1	158	0.19	55.2	60.4	103,5	16.87
4	1.5	158	0.18	44.8	50.9	83.3	18.68

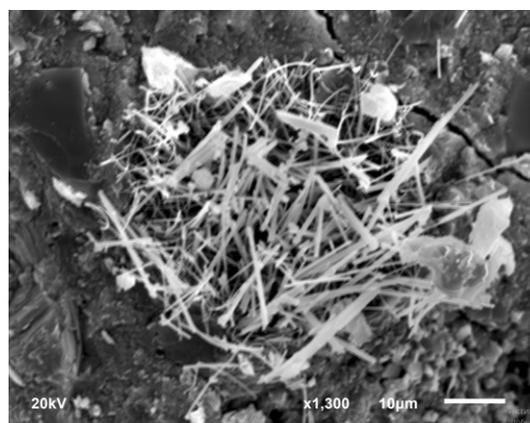


Рис. 1. Вид муллитокремнеземистых волокон (фото авторов)

Fig. 1. Mullite-silica fibers (author's photo)

² ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия = Water for concrete and mortars. Specifications. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200093835> (дата обращения: 14.08.2024).

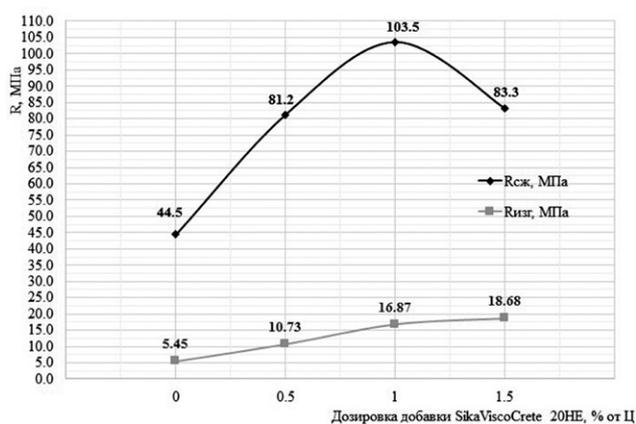


Рис. 2. Влияние дозировки добавки SikaViscoCrete 20HE на прочность цементного камня при сжатии и на растяжение при изгибе (график составлен авторами)

Fig. 2. Effect of SikaViscoCrete 20HE dosage on the compressive and flexural tensile strength of cement stone (authors' diagram)

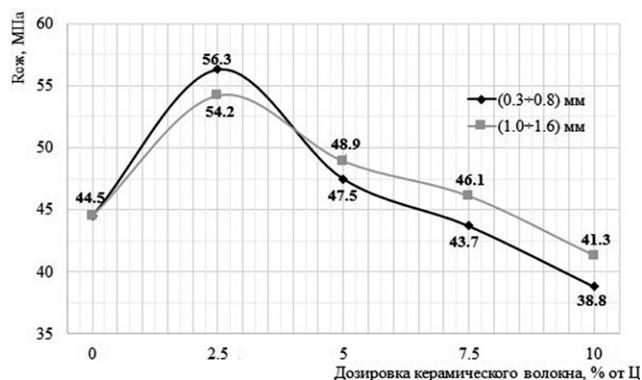


Рис. 3. Влияние длины и дозировки керамического волокна на прочность при сжатии цементного камня (график составлен авторами)

Fig. 3. Effect of ceramic fiber lenght and dosage on compressive strength of cement stone (authors' diagram)

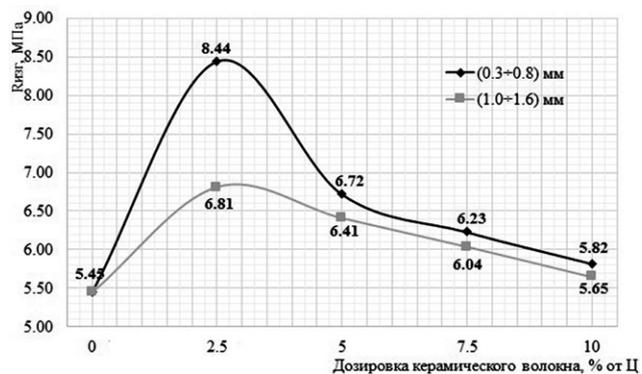


Рис. 4. Влияние длины и дозировки керамического волокна на прочность на растяжение при изгибе цементного камня (график составлен авторами)

Fig. 4. Effect of ceramic fiber lenght and dosage on flexural tensile strength of cement stone (authors' diagram)

По результатам экспериментальных данных за счет снижения водоцементного фактора до 0.19 при дозировке водоредуцирующей добавки 1.0 мас. % обеспечено значительное повышение прочности цементного камня как при сжатии, так и на растяжение при изгибе.

На следующем этапе исследований изучено влияние длины и дозировки керамического волокна на реологические и механические свойства цементного камня с исходным для контрольного состава В/Ц = 0.31. В качестве параметров варьирования были приняты длина керамического волокна (0.3÷0.8) мм и (1.0÷1.6) мм и его процентное содержание (2.5; 5.0; 7.5 и 10.0 %) от расхода цемента. По результатам испытаний выявлено, что муллитокремнеземистые волокна имеют низкую смачиваемость и при дозировках до 2.5 % значительного влияния на реологию цементного теста не оказывают. Полученные результаты представлены в виде графических зависимостей на рис. 3 и 4.

Анализ результатов показал, что дозировка керамического волокна в количестве 2.5 % от расхода цемента при длине (0.3÷0.8) мм является оптимальной и обеспечивает повышение прочностных характеристик на 26.5 % при сжатии, на 55 % на растяжение при изгибе по сравнению с прочностью контрольного бездобавочного состава. Физические качества цементного камня могли бы быть значительно улучшены, но при дозировках фибры сверх 2.5 % ухудшилась пластичность теста, что при заданной технологии уплотнения является причиной повышения пористости камня, соответственно, отмечается снижение прочностных характеристик. При дозировках керамического волокна свыше 5 % создается сетчатая структура, которая повышает внутреннюю силу связывания матрицы и приводит к снижению текучести цементного теста, происходит локальное комкование, к такому же эффекту приводит и применение волокон увеличенной длины.

На следующем этапе научных исследований были изучены составы с применением добавки ViscoCrete 20HE в выявленной опытным путем оптимальной дозировке 1 % от расхода

Таблица 3. Физико-механические свойства цементного камня, изготовленного с применением муллитокремнеземистого волокна и добавки
 Table 3. Physical and mechanical properties of cement stone with mullite-silica fiber and chemical additive

№ состава	Длина волокна, мм	Дозировка волокна, % от Ц	Дозировка добавки, %	Распылыв форм-конуса, мм	В/Ц	Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте, сут.			Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	Коэффициент трещиностойкости
						2	7	28		
1	–	–	–	156	0.31	32.0	35.5	44.5	5.45	0.123
2	0.3÷0.8	2.5	–	152	0.32	44.4	53.5	56.3	8.44	0.150
3	–	–	1	158	0.19	55.2	60.4	103.5	16.87	0.163
4	0.3÷0.8	2.5	1	158	0.22	68.3	74.1	84.6	21.31	0.252

цемента и муллитокремнеземистого волокна длиной (0.3÷0.8) мм в количестве 2.5 % от расхода цемента. Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 3.

Комплексное действие добавки ViscoCrete 20HE и муллитокремнеземистого волокна способствовало повышению прочности на сжатие. Прочность образцов на растяжение при изгибе при совместном введении добавки ViscoCrete 20HE и муллитокремнеземистого волокна увеличилась на 26 % по сравнению с составом, модифицированным этой же гиперпластифицирующей добавкой.

На рис. 5 представлены фрактальные поверхности границы *цементная матрица – волокно*. Разрушение дисперсно-армированного цементного камня при произвольном объемном распределении волокон происходит в период обрыва фибры без их выдергивания из тела бетона. Так как пластическая деформация матрицы в параллельном приложенному напряжению направлении противодействует релаксации напряжений в разорванном волокне, за счет напряжения сдвига возникают силы, удерживающие разорванное волокно от смещения в матрице.

В цементных системах в начальный период гидратации процессы происходят в жидкой фазе, при недостаточных пересыщениях по фазообразующему веществу рост агрегатов замедляется вследствие наличия гидрозазора между частицами, образующимся зародышам кристаллизации не удается войти в молекулярный контакт. На поверхности волокон адсорбированной воды практически нет. Выступы, кривизна поверхности муллитового волокна, а также структурно-химическое соответствие и сродство химического состава приводят к образованию эпитаксиальных слоев и увеличению вероятности их закрепления на поверхности. Между субмикроструктурами, сближенными до минимальных расстояний, поверхность муллита и локальные дефекты на поверхности волокон, вероятно, являются активными зонами, связывающими кристаллы с их последующим срастанием.

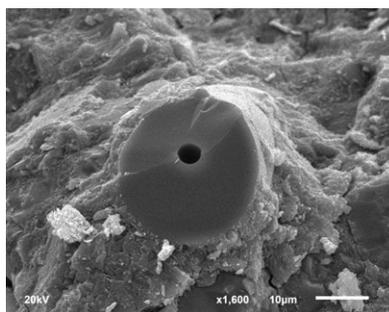
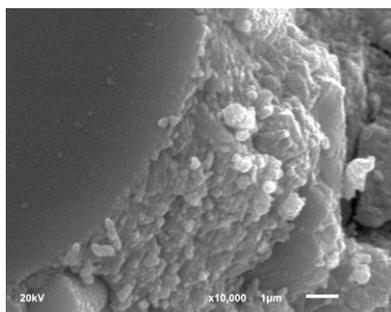


Рис. 5. Процессы роста эпитаксиальных гетероструктур кристаллогидратов на поверхности волокон (фото авторов)
 Fig. 5. Growth processes of epitaxial crystal hydrate heterostructures on fiber surfaces (author's photo)

Особенностью распределения новых гидратных фаз является то, что по мере удаления от поверхности волокна размер сростков кристаллогидратов увеличивается от 0.2 до 40 мкм. Небольшое уменьшение пористости, задержка появления внутренних микротрещин и более компактная структура – все это возможные эффекты влияния муллитокремнеземистого волокна.

В процессе исследований выявлен проблемный момент, обнаружено, что с увеличением поперечного размера волокон до 150 мкм и при обратном радиусе кривизны поверхности образование контактов на границе раздела *матрица – волокно* достаточно слабое, зона действительного контакта волокон с матрицей меньше геометрической площади поверхности волокон, образование кристаллогидратов имеет дискретный характер. Поэтому не обеспечивается прерывание трещин, развившихся в цементной матрице и проходящих по контактному слою (рис. 6).

Продуктов щелочной гидратации характерной морфологии, которые могут формироваться на поверхности волокон, в цементном камне при $\text{pH} \sim 12.8\text{--}13.2$ не выявлено, в то время как на поверхности базальтовых и стеклянных волокон диагностируются продукты щелочной реакции (рис. 7).

Для подтверждения значительного увеличения прочности на растяжение образцов бетона за счет дисперсного армирования выполнены испытания образцов из мелкозернистого бетона. Состав бетонной смеси включал цемент, кварцевый песок, добавку SikaViscoCrete 20HE, муллитокремнеземистую фибру и тонкодисперсный доменный шлак (в дозировке 18 % от массы цемента). Испытание образцов произведено по схеме с одной сосредоточенной нагрузкой.

На рис. 8 показаны структуры трещин образцов бетона, изготовленного с применением смеси бездобавочного состава, 2 и 3 смеси содержали армирующие волокна, в состав 3 смеси включена добавка. Добавление волокон в бетонную смесь позволило уменьшить усадку бетона. Изучение работы изгибаемых бетонных образцов, армированных муллитокремнеземистыми микроволокнами, показало, что введение волокон позволяет увеличить нагрузку трещинообразования на 21 %, уменьшить ширину раскрытия нормальных трещин.

Раскрытие трещин, соответствующее максимальному растягивающему напряжению, заметно снижено (рис. 9). Потенциал трещиностойкости более высокого поведения при возникновении трещин оценивается как отношение напряжения, приводящего к разрыву, к напряжению в период формирования первой трещины. Соотношения предела прочности и прочности при первом трещинообразовании показали, что трещиностойкость бетона возрастает практически в 3 раза. Изменение показателей трещиностойкости при переходе от цементного камня к мелкозернистому бетону связано с влиянием заполнителя.

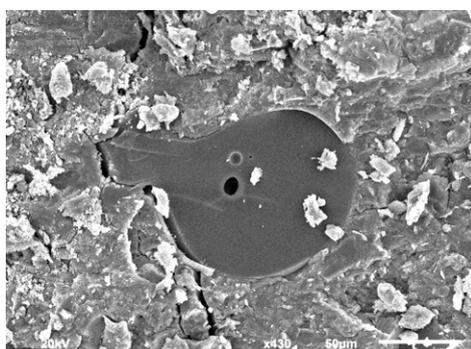


Рис. 6. Поверхность излома цементного камня по результатам испытания на растяжение при изгибе (фото авторов)
Fig. 6. Fracture surface of cement stone from flexural tensile testing (author's photo)

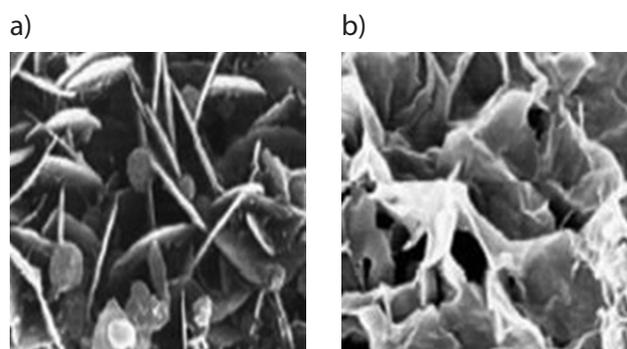


Рис. 7. Продукт щелочной реакции: а) на поверхности базальтовой фибры; б) на поверхности стеклянной фибры, по данным [10]
Fig. 7. Alkali reaction product: a) on the basalt fiber surface; b) on the glass fiber surface, according to the data [10]



Рис. 8. Схема испытания образцов и регистрируемые параметры при испытании (составлена авторами)
 Fig. 8. Samples testing scheme and recorded parameters (authors' diagram)

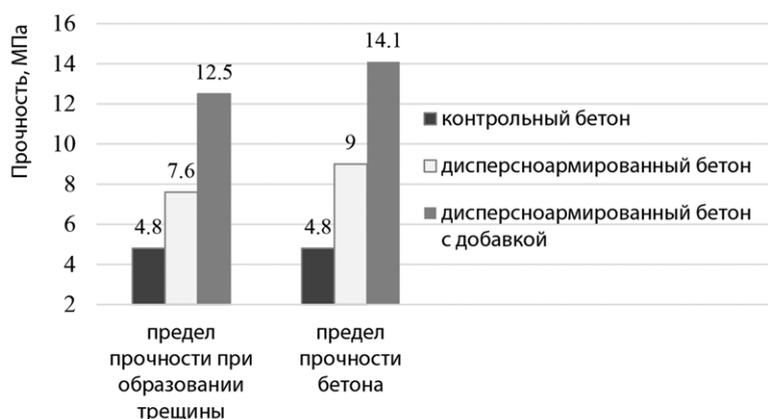


Рис. 9. Показатели прочности бетонных образцов в момент образования первой трещины и при полном разрушении образца (график составлен авторами)
 Fig. 9. Strength indicators of concrete samples at first crack and at complete failure (authors' diagram)

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что свойства дисперсно-армированных керамическими волокнами цементных композитов обусловлены структурно-химическими и механическими характеристиками волокон, состоянием контактов на границе раздела матрица – волокно. Функциональная роль керамических волокон заключается в увеличении напряжения для продвижения микротрещин по матрице, росте затрат энергии на распространение трещин, в перекрытии этих трещин без разрушения и их затухании. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что муллитокремнеземистое волокно в составе цементных композитов является эффективным дисперсно-армирующим компонентом.

4. Заключение

1. Экспериментально выявлены зависимости в системе *рецептурные факторы – параметры структуры – трещиностойкость* при армировании цементных композитов керамическими волокнами. Рекомендованы малоусадочные и долговечные цементные композиты при следующих условиях: обязательное применение в составе смеси высокоэффективной водоредуцирующей добавки; керамических волокон муллитокремнеземистого состава диаметром до 4 мкм, длиной до 1 мм в количестве 2.5 мас. %.
2. Выявлена функциональная роль керамических волокон и продемонстрированы процессы роста эпитаксиальных гетероструктур на поверхности волокон.
3. Установлено, что применение керамических муллитокремнеземистых волокон обеспечивает повышение прочности на сжатие цементного камня, прочности на растяжение при изгибе, трещиностойкости – в 2 раза по сравнению с контрольным составом.

4. Соотношения предела прочности и прочности при первом трещинообразовании мелкозернистого бетона показали, что трещиностойкость бетона возрастает практически в 3 раза.



Вклад авторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Демьяненко О. В., Куликова А. А., Копаница Н. О., Петров А. Г. Влияние комплексных модифицирующих добавок на эксплуатационные свойства тяжелого бетона. *Известия высших учебных заведений. Строительство.* 2021;(5):23–32. Режим доступа: <http://www.izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publications/39c72d50004de06966c6fd461b11881f5fb73167.pdf>.
2. Ильина Л. В., Молодин В. В., Гичко Н. О., Туляганов А. К. Повышение прочностных характеристик цементных конгломератов добавками направленного действия. *Строительные материалы.* 2023;(7):36–42. Режим доступа: https://elibrary.ru/download/elibrary_54325920_90334451.pdf.
3. Куликова А. А., Копаница Н. О., Дмитриева М. А., Демьяненко О. В., Петров А. Г. Влияние бинарных модифицирующих добавок на процессы гидратации цементных систем. *Строительные материалы.* 2023;(9):83–88. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54718506>.
4. Крамар Л. Я., Кудяков А. И., Трофимов Б. Я., Шулдяков К. В. Цементные тяжелые бетоны для строительства скоростных автомобильных дорог. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2017;(4):147–157. Режим доступа: <https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/334/335>.
5. Кудяков А. И., Симакова А. С., Кондратенко В. А., Стешенко А. Б., Латыпов А. Д. Влияние органических добавок на свойства цементного теста и камня. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2018;(6):138–147. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-6-138-147>
6. Zimakova G., Kasper E., Bochkareva O. Strengthening of concrete composites using polycarboxylate and aluminosilicate materials. *Advances in Intelligent Systems and Computing.* 2020;1116:316–328. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_31
7. Ткач Е. В., Темирканов Р. И., Ткач С. А. Комплексное исследование модифицированного бетона на основе активированного микрокремнезема совместно с микроармирующим волокном для повышения эксплуатационных характеристик. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов.* 2021;332(5):215–226. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/5/3204>
8. Смирнова О. М., Харитонов А. М. Деформационно-упрочняющиеся фиброкомпозиты гидратационного твердения: определение, принципы получения и перспективы применения. *Известия высших учебных заведений. Строительство.* 2022;10(766):14–22. <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2022-766-10-14-22>
9. Рабинович Ф. Н. *Композиты на основе дисперсно армированных бетонов: вопросы теории и проектирования, технология, конструкции.* Москва: Ассоциация строительных вузов; 2011. 639 с.
10. Al-Kharabsheh B. N., Arbili M. M., Majdi A., Alogla S. M., Hakamy A., Ahmad J., Deifalla A. F. Basalt fiber reinforced concrete: a compressive review on durability aspects. *Materials (Basel).* 2023;16(1):429. <https://doi.org/10.3390/ma16010429>
11. Белова Т. К., Гурьева В. А., Турчанинов В. И. Исследование влияния дисперсного армирования модифицированным базальтовым микроволокном на прочностные свойства цементного раствора. *Инженерный вестник Дона.* 2015;(2-1):35. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24068208>.
12. Серова, Р. Ф., Рахимова Г. М., Стасилович Е. А., Айдарбекова С. Ж. Исследование физико-механических свойств дисперсно-армированных бетонов. *Эпоха науки.* 2018;(14):192–200. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=usqweo>.
13. Yang J., Chen B., Nuti C. Influence of steel fiber on compressive properties of ultra-high performance fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials.* 2021;302:124104. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124104>
14. Агамов Р. Э., Гончарова М. А., Пачин А. Р. Высокопрочные фибробетоны в конструкциях общестроительного и специального назначения. *Строительные материалы.* 2023;(1-2):39–43. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-810-1-2-39-43>
15. Мальцева Т. В., Набоков А. В., Черных А. В. Применение песчаных армированных свай при строительстве малоэтажных зданий. *Вестник Тюменского государственного архитектурно-строительного университета.* 2015;(2):34–39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24389410>.

16. Yang J., Chen B., Wu X., Xu G. Quantitative analysis of steel fibers on UHPFRC uniaxial tensile behavior using X-CT and UTT. *Construction and Building Materials*. 2023;368(5):130349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130349>
17. Zhang H., Ji T., Lin X. Pullout behavior of steel fibers with different shapes from ultra-high performance concrete (UHPC) prepared with granite powder under different curing conditions. *Construction and Building Materials*. 2019;211:688–702. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.274>
18. Соловьев В. Г., Матюшин Е. В., Ефишов Л. И. Влияние вида и объемного содержания стальной фибры на прочность сверхвысокопрочного сталефибробетона при сжатии. *Строительные материалы*. 2023;(11):20–27. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-819-11-20-27>
19. Sharma R., Jang J. G., Bansal P. P. A comprehensive review on effects of mineral admixtures and fibers on engineering properties of ultra-high-performance concrete. *Journal of Building Engineering*. 2022;45:103314. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103314>
20. Ahmad J., Gonzalez-Lezcano R. A., Majdi A., Ben Kahla N., Deifalla A. F., El-Shorbagy M. A. Glass fibers reinforced concrete: Overview on mechanical, durability and microstructure analysis. *Materials*. 2022;15:5111. <https://doi.org/10.3390/ma15155111>
21. Zheng Y., Zhang Yu, Zhuo J., Zhang Ya., Wan C. A review of the mechanical properties and durability of basalt fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*. 2022;359:129360. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129360>

References

1. Demyanenko O. V., Kulikova A. A., Kopanitsa N. O., Petrov A. G. The effect of complex modifying additives on the performance properties of heavy concrete. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021;(5):23–32. (In Russ.) Available at: <http://www.izvuzstr.sibstrin.ru/uploads/publications/39c72d50004de06966c6fd461b11881f5fb73167.pdf>.
2. Il'ina L. V., Molodin V. V., Gichko N. O., Tulyaganov A. K. Improving the strength characteristics of cement conglomerates with directional additives. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2023;(7):36–42. (In Russ.) Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_54325920_90334451.pdf.
3. Kulikova A. A., Kopanitsa N. O., Dmitrieva M. A., Demyanenko O. V., Petrov A. G. Influence of binary modifying additives on the processes of hydration of cement systems. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2023;(9):83–88. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54718506>.
4. Kramar L. Ya., Kudyakov A. I., Trofimov B. Ya., Shuldyakov K. V. Cement Heavy Concretes for Highway Construction. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017;(4):147–157. (In Russ.) Available at: <https://vestnik.tsuab.ru/jour/article/view/334/335>.
5. Kudyakov A. I., Simakova A. S., Kondratenko V. A., Steshenko A. B., Latypov A. D. Cement paste and brick properties modified by organic additives. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2018;20(6):138–147. (In Russ.) <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2018-20-6-138-147>
6. Zimakova G., Kasper E., Bochkareva O. Strengthening of concrete composites using polycarboxylate and aluminosilicate materials. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020;(1116):316–328. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_31
7. Tkach E. V., Temirkanov R. I., Tkach S. A. Comprehensive study of modified concrete based on activated microsilica together with micro-reinforcing fiber to improve performance. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2021;332(5):215–226. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/5/3204>
8. Smirnova O. M., Kharitonov A. M. Deformation-hardening fiber composites: definition, principles of preparation and prospects of application. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022;10(766):14–22. (In Russ.) <https://doi.org/10.32683/0536-1052-2022-766-10-14-22>
9. Rabinovich F. N. *Composites based on dispersed reinforced concrete: issues of theory and design, technology, construction*. Moscow: Assotsiatsiya stroitel'nykh vuzov; 2011. (In Russ.)
10. Al-Kharabsheh B. N., Arbili M. M., Majdi A., Alogla S. M., Hakamy A., Ahmad J., Deifalla A. F. Basalt fiber reinforced concrete: a compressive review on durability aspects. *Materials (Basel)*. 2023;16(1):429. <https://doi.org/10.3390/ma16010429>
11. Belova T. K., Gur'eva V. A., Turchaninov V. I. Investigation of the effect of particulate reinforcement modified basalt microfiber on the strength properties of cement mortar. *Engineering journal of Don*. 2015;(2-1):35. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24068208>.
12. Serova R. F., Rakhimova G. M., Stasilovich E. A., Ajdarbekova S. Zh. Research of physicomaterial properties of dispersed-reinforced concrete. *Era of Science*. 2018;(14):192–200. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=usqweo>.

13. Yang J., Chen B., Nuti C. Influence of steel fiber on compressive properties of ultra-high performance fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*. 2021;302:124104. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124104>
14. Agamov R. E., Goncharova M. A., Pachin A. R. High-strength fiber-reinforced concrete in structures for general construction and special purposes. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2023;(1-2):39–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-810-1-2-39-43>
15. Maltseva T. V., Nabokov A. V., Chernykh A. V. Reinforced sand piles for low-rise buildings. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2015;(2):34–39. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24389410>.
16. Yang J., Chen B., Wu X., Xu G. Quantitative analysis of steel fibers on UHPFRC uniaxial tensile behavior using X-CT and UTT. *Construction and Building Materials*. 2023;368(5):130349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.130349>
17. Zhang H., Ji T., Lin X. Pullout behavior of steel fibers with different shapes from ultra-high performance concrete (UHPC) prepared with granite powder under different curing conditions. *Construction and Building Materials*. 2019;211:688–702. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.274>
18. Soloviev V. G., Matiushin E. V., Efishov L. I. Influence of type and volume content of steel fiber on the compressive strength of ultra-high performance fiber reinforced concrete. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2023;(11):20–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-819-11-20-27>
19. Sharma R., Jang J. G., Bansal P. P. A comprehensive review on effects of mineral admixtures and fibers on engineering properties of ultra-high-performance concrete. *Journal of Building Engineering*. 2022;45:103314. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103314>
20. Ahmad J., Gonzalez-Lezcano R. A., Majdi A., Ben Kahla N., Deifalla A. F., El-Shorbagy M. A. Glass fibers reinforced concrete: Overview on mechanical, durability and microstructure analysis. *Materials*. 2022;15:5111. <https://doi.org/10.3390/ma15155111>
21. Zheng Y., Zhang Yu, Zhuo J., Zhang Ya., Wan C. A review of the mechanical properties and durability of basalt fiber-reinforced concrete. *Construction and Building Materials*. 2022;359:129360. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129360>



Информация об авторах

Зимакова Галина Александровна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, ga.winter@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6437-1941>

Каспер Елена Александровна, старший преподаватель кафедры строительных материалов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, elena-kasper@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9260-6189>

Бочкарева Ольга Станиславовна, старший преподаватель кафедры строительных материалов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, olga_bos09@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4549-1424>

Information about the authors

Galina A. Zimakova, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Building Materials, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, ga.winter@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6437-1941>

Elena A. Kasper, Senior Lecturer in the Department of Building Materials, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, elena-kasper@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9260-6189>

Olga S. Bochkarova, Senior Lecturer in the Department of Building Materials, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, olga_bos09@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4549-1424>

Получена 17 октября 2024 г., одобрена 18 ноября 2024 г., принята к публикации 03 декабря 2024 г.
Received 17 October 2024, Approved 18 November 2024, Accepted for publication 03 December 2024



Технико-экономическое обоснование проекта реконструкции станции водоподготовки

Е. Г. Матыс, А. А. Шкилева ✉, О. В. Сидоренко
Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация

✉ shkilevaaa@tyuiu.ru

Аннотация. Представлен вариант реконструкции и технико-экономическое обоснование станции обезжелезивания подземной воды, расположенной на юге Тюменской области. Необходимость реконструкции обусловлена неудовлетворительным качеством воды, подаваемой потребителю, прежде всего по содержанию марганца. На основании анализа качественных показателей исходной и очищенной воды действующей станции выявлены наиболее существенные факторы, влияющие на процессы очистки. В предложенных изменениях технологической схемы учтены особенности состава подземной воды, в частности, избыточное содержание растворенной углекислоты и, как следствие, низкие значения pH, опыт эксплуатации станций обезжелезивания региона и результаты лабораторных и полупроизводственных испытаний, проводимых на аналогичных объектах. Предложен реагентный способ удаления марганца с применением перманганата калия в качестве окислителя. Для обеспечения необходимой степени снижения концентрации углекислоты и повышения pH рекомендовано заменить аэрационную систему с вакуумно-эжекционной на барботаж в слое загрузки. Проект реконструкции не требует увеличения объемов сооружений, технологические расчеты выполнены при максимальном использовании возможностей существующей станции. Технико-экономическое обоснование включает определение капитальных и эксплуатационных затрат, а также расчет увеличения себестоимости подачи воды. Проведена оценка коммерческой эффективности проекта реконструкции, показавшая целесообразность его осуществления.

Ключевые слова: качество питьевой воды, технология очистки воды, сметная стоимость, эксплуатационные затраты, оценка коммерческой эффективности

Для цитирования: Матыс Е. Г., Шкилева А. А., Сидоренко О. В. Технико-экономическое обоснование проекта реконструкции станции водоподготовки. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):55–67. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-55-67>

Feasibility study for the reconstruction of a water treatment plant

Elena G. Matys, Anna A. Shkileva ✉, Olga V. Sidorenko
Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation

✉ shkilevaaa@tyuiu.ru

Abstract. This article presents a reconstruction plan for an underground water deferrization station in southern of Tyumen Oblast, including a feasibility study. The reconstruction is necessary due to unsatisfactory water quality delivered to consumers, primarily high manganese content. Analysis of the initial and treated

water quality from the existing plant revealed key factors affecting the treatment processes. The proposed technological modifications consider the groundwater's unique composition, in particular, the high dissolved carbon dioxide leading to low pH, along with the operational experience of region deferrization stations and results from laboratory and pilot-scale testing at similar facilities. The proposed solution uses a reagent method for manganese removal, employing potassium permanganate as an oxidant. To reduce carbon dioxide concentration and increase pH, the study recommends replacing the aeration system from vacuum-ejector to barbotage in the loading layer. The reconstruction does not require an increased facility size. Technological calculations take into account maximum use of the existing station. The feasibility study determined capital and operating costs, and calculated the increase in water supply costs. The assessment of reconstruction efficiency demonstrated its economic viability.

Keywords: drinking water quality, water treatment technology, estimated cost, operating costs, commercial efficiency assessment

For citation: E. G. Matys, Shkileva A. A., Sidorenko O. V. Feasibility study for the reconstruction of a water treatment plant. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4):55–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-55-67>



1. Введение

Ввиду быстрых темпов урбанизации и изменения климата вопросы обеспечения безопасности и повышения эффективности хозяйственно-питьевого водоснабжения приобрели особую актуальность. Качество питьевой воды, поставляемой потребителю, зависит от многих факторов: качества воды в источнике водоснабжения, используемых процессов водоподготовки, степени изношенности водопроводной сети, режима водопотребления и пр. Вода централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения должна соответствовать требованиям СанПиН 1.2.3685-21¹ по органолептическим, химическим и микробиологическим показателям, т. е. не должна содержать токсичных веществ, тяжелых металлов, излишков минералов и органических веществ, а также болезнетворных микроорганизмов и радиоактивных элементов.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения применяют поверхностные и подземные воды, однако отчетливо прослеживается тенденция к использованию преимущественно подземных вод – до 100 % во многих европейских странах, от 50 до 75 % в США, Китае. В России доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении достаточно высока (около 45 %). Это объясняется главным образом высокой природной защищенностью подземных вод от естественных и техногенных загрязнений, перед которыми поверхностные водные объекты практически беззащитны [1].

На территории юга Тюменской области сосредоточены большие запасы водных ресурсов, включающие поверхностные и подземные воды, но в связи с неравномерностью их распределения отдельные районы испытывают сложности с водообеспечением. Подземные воды относятся к Западно-Сибирскому артезианскому бассейну, в пределах которого наиболее значимым и надежным источником водоснабжения является Куртамышский водоносный горизонт [2]. За счет подземных вод данного горизонта осуществляется централизованное водоснабжение большей части районных центров и поселков юга Тюменской области и частично г. Тюмени (Велижанский водозабор). По составу воды Куртамышского водоносного горизонта относятся к гидрокарбонатным кальциевым, по

¹ СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утверждены постановлением главного государственного врача Российской Федерации. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?marker=7DI0K8> (дата обращения: 14.06.2024).

жесткости изменяются от мягких до умеренно жестких. Для подземных вод характерны повышенное содержание железа ($1.5\text{--}6.0\text{ мг/дм}^3$), марганца (до 2 мг/дм^3), аммония ($2\text{--}6\text{ мг/дм}^3$), растворенных газов (сероводорода, уголекислоты), присутствие комплексных органических соединений, обусловленное влиянием заболоченных территорий и торфяников [3].

Превышение предельно допустимых концентраций по ряду показателей (в основном по содержанию железа и марганца) ограничивает непосредственное использование подземных вод для питьевых целей и требует строительства водоочистных станций. Многие водопроводные очистные сооружения, работающие на подземной воде, на территории Тюменской области были введены в эксплуатацию в 60–70-х гг. прошлого века по схеме обезжелезивания упрощенной аэрации. Ужесточение нормативных требований к качеству воды и неучет ряда показателей исходной воды при проектировании привели к тому, что ранее построенные станции в настоящее время не удовлетворяют современным требованиям СанПиН 1.2.3685-21 и подлежат реконструкции. В случае значительного изменения производительности станций требуется строительство новых.

В 2019 г. в Российской Федерации стартовал национальный проект «Чистая вода» со сроком реализации до 25 декабря 2025 г. и бюджетом в 245 млрд рублей. Целью проекта является повышение качества питьевой воды для населения России, в частности, посредством модернизации систем водоснабжения и водоподготовки с использованием перспективных технологий, включая технологии, разработанные организациями оборонно-промышленного комплекса [4]. При принятии решения о реконструкции и/или модернизации станций очистки воды должен учитываться ряд требований. Новая технология должна быть максимально близка к существующей, что ускорит процесс ее внедрения, значительно облегчит работу персонала и обеспечит надежную эксплуатацию. Стоимость дооборудования существующей станции не должна приводить к значительному (более чем на 10–15 %) увеличению себестоимости очистки воды. Внедрение новой технологии должно быть направлено не только на устранение всего комплекса загрязнений, но и на стабилизацию воды, т. е. снижение ее коррозионной активности с целью увеличения срока службы водопроводных сетей и исключения вторичного загрязнения воды в процессе транспортировки.

В рамках реализации данного проекта было предложено провести технико-экономическое обоснование реконструкции станции обезжелезивания подземной воды, расположенной на юге Тюменской области. Выбор технологии очистки подземной воды основывался на результатах исследований, проводимых на подземной воде Тюменского региона, с учетом отечественного и зарубежного опыта [5–10]. Присутствие в подземной воде повышенной концентрации растворенной уголекислоты требует внедрения предварительной активной аэрации [11], а низкие значения pH и Eh (окислительно-восстановительного потенциала) не позволяют устранить избыток марганца безреагентными методами [5, 12]. Введение реагентов-окислителей, обладающих более высокой, чем кислород, окислительной способностью, обеспечивает требуемое снижение концентрации марганца, а результаты исследований ряда авторов [5, 13, 14] показали высокую эффективность применения в качестве окислителя перманганата калия.

2. Материалы и методы

Объектом исследования являлась станция обезжелезивания подземной воды населенного пункта численностью 20 тысяч человек, находящегося на юге Тюменской области.

Технико-экономическое обоснование реконструкции станции обезжелезивания осуществлялось в пять этапов (рис. 1). На первом этапе проводился анализ качества подземной воды и воды, прошедшей очистку, для оценки эффективности применяемой на станции технологической схемы. Неудовлетворительные результаты качества очищенной воды по некоторым показателям явились основанием к разработке предложений по изменению технологии очистки воды (на основе ранее проведенных исследований на аналогичных объектах [15]) и выполнению расчетов основных элементов станции, подлежащих реконструкции. Далее были определены капитальные затраты на реконструкцию, оказывающие непо-

средственное влияние на увеличение себестоимости выпускаемой продукции, эксплуатационные затраты на содержание системы водоснабжения, и выполнен расчет увеличения себестоимости подачи воды. На заключительном этапе проведена оценка коммерческой эффективности проекта реконструкции.

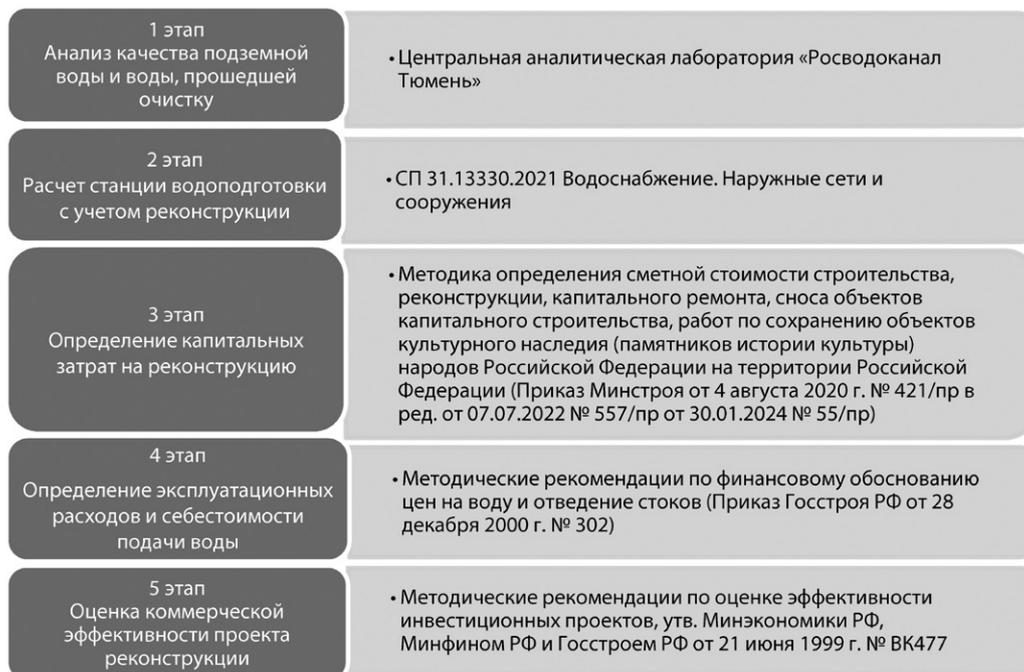


Рис. 1. Этапы технико-экономического обоснования проекта реконструкции (схема составлена авторами)

Fig. 1. Feasibility study stages for the reconstruction project (diagram developed by the authors)

3. Результаты и обсуждение

Станция обезжелезивания предназначена для очистки подземной воды, подаваемой в систему хозяйственно-питьевого водоснабжения поселка. Перечень контролируемых показателей качества для систем водоснабжения приводится в СанПиН 2.1.3684-21², в соответствии с документом безопасность и безвредность воды для питьевых целей определяется по органолептическим, микробиологическим показателям и ее химическому составу.

В таблице 1 приведены показатели качества исходной подземной воды за период 2019–2023 гг. в сравнении с допустимыми значениями, установленными СанПиН 2.1.3684-21.

Исходная подземная вода не удовлетворяет требованиям СанПиН 1.2.3685-21 по следующим показателям: мутность, общее железо, марганец.

Превышение предельно допустимых значений в среднем составляет:

- по мутности в 4.5 раза,
- по содержанию общего железа в 14 раз,
- по содержанию марганца в 6 раз.

² СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573536177?marker=7DI0K8> (дата обращения: 14.06.2024).

Таблица 1. Показатели качества подземной воды до очистки, 2019–2023 гг.
 Table 1. Groundwater quality indicators before treatment, 2019–2023

Контролируемые показатели	Норматив по СанПиН, не более	Среднее значение показателя по годам				
		2019	2020	2021	2022	2023
Запах, балл	2	2	2	2	2	2
Цветность, град.	20	12	15	11	10	10
Привкус, балл	2	3	2	3	3	3
Мутность (по каолину), мг/дм ³	1.5	9.1	8.7	8.9	9.1	9.2
Нитраты, мг/ дм ³	45	0.44	0.35	0.42	0.38	0.44
pH-среды, единицы pH	6–9	6.61	6.83	7.1	6.95	6.58
Жесткость общая, мг-экв/ дм ³	7.0	4.9	5.1	5.3	5.1	4.9
Окисляемость перманганатная, мгО/дм ³	5.0	1.8	2.0	2.2	1.9	1.8
Нитриты, мг/ дм ³	3.0	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003
Кремний, мг/дм ³	20	14	13	12	14	14
Аммоний-ион, мг/дм ³	2.0	0.91	0.85	0.87	0.89	0.9
Железо общее, мг/дм ³	0.3	4.1	4.3	4.2	4.1	4.0
Марганец, мг/ дм ³	0.1	0.66	0.59	0.61	0.62	0.60

Приведенные значения в целом свойственны подземным водам Западно-Сибирского региона. Кроме того, подземная вода характеризуется высоким содержанием CO₂ – 60–90 мг/дм³. В СанПиН 2.1.3684-21 данный показатель не нормируется, но для целей обезжелезивания при упрощенной аэрации СП 31.13330.2021³ рекомендует содержание растворенной углекислоты не более 40 мг/дм³. Согласно МДК 3-02-2001⁴, в процессе эксплуатации сооружений по обезжелезиванию и деманганации воды рекомендуется осуществлять контроль за полнотой процесса удаления из воды CO₂ и насыщением ее кислородом воздуха на стадии предварительной аэрации.

Проектная производительность рассматриваемой станции – 7 500 м³/сут, фактическая максимальная суточная производительность – 4 775 м³/сут, что связано с реализацией программ в области энерго- и ресурсосбережения. Существующая технологическая схема очистки природной воды включает предварительную аэрацию-дегазацию с последующим фильтрованием на скорых безнапорных фильтрах и обеззараживание (рис. 2). Вода от скважин насосами подается на станцию обезжелезивания, где установлен дополнительный насос, обеспечивающий необходимый напор для подачи воды на эжекторы. Эжекторы располагаются над карманами скорых фильтров и предназначены для насыщения воды кислородом и удаления растворенных газов. Подготовленная вода поступает на восемь скорых фильтров, загруженных кварцевым песком. В толще загрузки фильтра происходит окисление ионов двухвалентного железа и задержание образующихся соединений. При этом на зернах фильтрующего слоя одновременно происходят реакции окисления и гидролиза.

Очищенная вода поступает в резервуары чистой воды (РЧВ). Обеззараживание осуществляется хлорированием, хлорная вода подается в трубопровод перед РЧВ. Из резервуаров чистой воды насосами второго подъема вода подается потребителю.

³ СП 31.13330.2021 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/728474306> (дата обращения: 14.06.2024).

⁴ МДК 3-02-2001 Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200025707> (дата обращения: 14.06.2024).

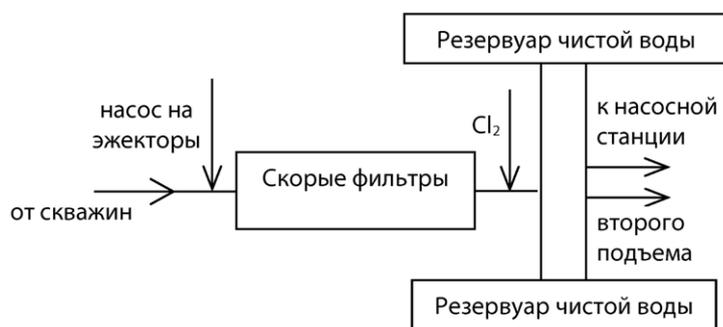


Рис. 2. Существующая технологическая схема очистки воды (схема составлена авторами)
 Fig. 2. Current water treatment scheme (diagram developed by the authors)

Основные показатели качества воды после очистки представлены в таблице 2. Анализ показал, что существующая технологическая схема направлена на удаление железа, но не обеспечивает требуемого снижения содержания марганца. Опираясь на исследования, проведенные на аналогичных объектах [12, 15–18], для обеспечения качества воды в соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21 было предложено внести изменения в технологию очистки воды, реконструкцию станции обезжелезивания провести с учетом максимального использования возможностей существующих сооружений.

Таблица 2. Основные показатели качества воды после очистки, 2019–2023 гг.
 Table 2. Main water quality indicators after treatment, 2019–2023

Контролируемые показатели	Норма ПДК, по СанПиН	Среднее значение показателя по годам				
		2019	2020	2021	2022	2023
Цветность, град.	20	8	6	7	6	6
Мутность (по каолину), мг/дм ³	1.5	1.5	1	1.6	1.2	1
pH среды, единицы pH	6–9	7.05	7.11	7.16	7.06	7.02
Окисляемость перманганатная, мгО/дм ³	5.0	1.7	1.87	2.05	1.77	1.7
Железо общее, мг/ дм ³	0.3	0.12	0.14	0.13	0.12	0.1
Марганец, мг/ дм ³	0.1	0.23	0.18	0.26	0.31	0.24

Растворенная в воде углекислота удерживает железо и марганец в состоянии раствора. Предварительная аэрация предназначена для насыщения подземной воды кислородом и удаления растворенной углекислоты с целью повышения pH. Для определения концентрации CO₂ в подземной воде и сравнения методов ее удаления был проведен эксперимент непосредственно на месте отбора проб, описанный в [15], который показал, что использование вакуумно-эжекционного оборудования обеспечивает удаление не более 50 % углекислоты, а pH системы увеличивается незначительно – до 7.0–7.2. При таких показателях процесс обезжелезивания может происходить в достаточно полной степени, но для эффективного окисления марганца кислородом необходимо, чтобы значение pH очищаемой воды было на уровне 9.5–10.0. Введение реагентов-окислителей, таких как перманганат калия, хлор, озон, позволяет удалять марганец при меньших значениях pH, равных 8.0–8.5 [12].

В связи с этим предлагается замена вакуумно-эжекционного метода аэрации-дегазации на барботаж в свободном объеме с интенсивностью подачи воздуха не менее 5 м³/м³, а для снижения концентрации марганца – дозирование в обрабатываемую воду перманганата калия [12].

В рамках реконструкции станции водоподготовки принята следующая технологическая схема очистки воды (рис. 3). Вода от скважин насосами подается на станцию обезжелезивания в дегазатор барботажного типа, где происходит удаление избыточной углекислоты и частичное окисление двухвалентного железа. Далее вода самотеком поступает в контактный резервуар, перед которым

осуществляется дозированное введение перманганата калия. Из контактного резервуара вода насосами подается на скорые фильтры.

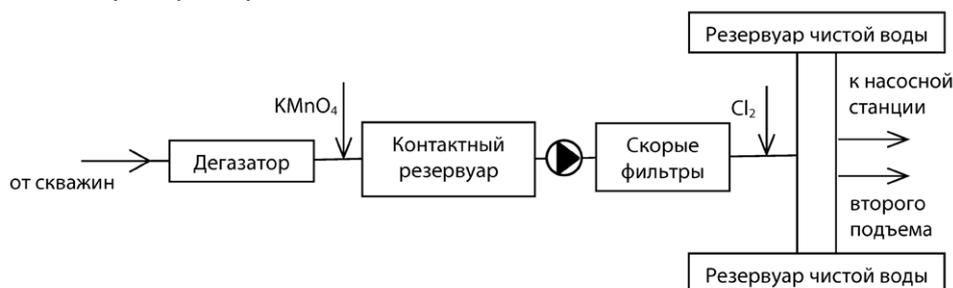


Рис. 3. Технологическая схема очистки воды в рамках реконструкции (схема составлена авторами)
 Fig. 3. Water treatment scheme following reconstruction (diagram developed by the authors)

Рассмотрены два варианта конструкции дегазаторов, согласно методике, представленной в [16]. Среднее содержание углекислоты в исходной воде составляет 90 мг/дм³. Производительность станции 208.3 м³/ч.

Барботажный дегазатор

Объем барботажного дегазатора рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{M}{\beta_V \cdot \Delta C}, \quad (1)$$

$$M = Q \cdot (CO_{2нач} - CO_{2кон}), \quad (2)$$

где M – количество десорбируемого газа в единицу времени, кг/ч;

β_V – объемный коэффициент десорбции, м/ч;

ΔC – движущая сила процесса десорбции, кг/м³;

Q – производительность дегазатора, м³/ч;

$CO_{2нач}$ – концентрация углекислоты в исходной воде, кг/м³;

$CO_{2кон}$ – концентрация углекислоты после дегазатора, кг/м³.

Согласно исследованиям [16], максимальный эффект удаления углекислоты в барботажном дегазаторе при продолжительности продувки $t = 30$ мин. и удельном расходе воздуха $q_{уд} = 10$ м³/м³ составляет 60 %, концентрация углекислоты в воде после дегазатора 36 мг/дм³. Количество удаляемого газа составило 11.25 кг/час.

Движущая сила процесса десорбции определяется по формуле:

$$\Delta C = \frac{CO_{2нач} - CO_{2кон}}{2.32 \lg \frac{CO_{2нач}}{CO_{2кон}}}. \quad (3)$$

В результате расчета $\Delta C = 0.058$ кг/м³.

При принятых параметрах работы дегазатора объемный коэффициент десорбции равен $\beta_V = 3.3$ м/ч [16].

Объем барботажного дегазатора составил 58.8 м³.

Барботажный дегазатор с гравийной загрузкой

Расчет барботажного дегазатора с гравийной загрузкой производился согласно методике, представленной в [16].

Приняты следующие параметры гравийного дегазатора:

- средний диаметр загрузки $d_{cp} = 15$ мм = 0.015 м;

- высота слоя загрузки $h_3 = 1$ м;
 - продолжительность продувки $t = 0.17$ ч (10 мин.);
 - удельный расход воздуха $q_{y\partial} = 5$ м³/м³.
- Содержание углекислоты в воде после дегазатора рассчитывается по формуле:

$$CO_{2\text{кон}} = 80.04 - 1755.64 d_{cp} - 0.72 q_{y\partial} - 339.57 t + 8.9 h_3 + 1321.87 d_{cp} t + 763.39 t^2 + 23.14 t h_3 - 16.12 h_3^2. \quad (4)$$

Подставив в формулу (4) принятые значения, получили 23.5 мг/дм³.
Количество удаляемого газа определялось по формуле (2) и составило 13.85 кг/ч.
Средняя движущая сила определена по формуле (3) и составила 0.05495 кг/м³.
Объем гравийного дегазатора определялся по формуле:

$$V = \frac{F}{f}, \quad (5)$$

где F – площадь поверхности загрузки, м²;
 f – удельная поверхность загрузки.

Для загрузки средним диаметром 15 мм удельная поверхность $f = 272$ м²/м³ [11].

$$F = \frac{M}{\beta \cdot \Delta C}, \quad (6)$$

где β – объемный коэффициент десорбции, $\beta = 0.029$ м/ч [12].
Объем гравийного дегазатора составил 35.5 м³.

Проведенные расчеты показали, что целесообразно принять к проектированию барботажный дегазатор с гравийной загрузкой, обеспечивающий необходимое снижение содержания углекислоты (до 23.5 мг/дм³) при меньшем объеме сооружения (в 1.6 раза) и меньшем расходе воздуха (в 2 раза).

Учитывая значительное снижение производительности станции и размеры существующих фильтров, под дегазатор было предложено переоборудовать один скорый фильтр. Для подачи воздуха в дегазатор подобрана воздуходувка DT/60/102//DN100 компании LUTOS (1 рабочая и 1 резервная) (страна-производитель – Чехия).

Под контактный резервуар предложено переоборудовать еще один скорый фильтр, так как фактические размеры сооружения позволяют обеспечить 10-минутный контакт воды с вводимым реагентом. Перед резервуаром в трубу подается раствор перманганата калия, доза которого составляет 2 мг/дм³. Для приготовления раствора перманганата калия предусматриваются реагентные блоки периодического действия РБГ-2/100МТ. Реагент подается в трубопровод дозирующим насосом Etatron DLX-MA/AD (страна-производитель – Италия).

Подача воды на скорые фильтры осуществляется насосом Vandjord NBV 150-214-2.2/6 (страна-производитель – Россия). Предусматриваются один рабочий и один резервный насосы. Насосы устанавливаются на первом этаже фильтровального зала на место демонтируемого насоса Д 320-50.

При реконструкции станции два из существующих фильтров переоборудованы под дегазатор и контактную камеру, в работе остаются 6 скорых фильтров, их суммарная площадь составляет 80.64 м².

В рамках реконструкции устраивается водо-воздушная промывка фильтров, при использовании которой объем воды сокращается на 40 %. Следовательно, объема бака водонапорной башни может хватать на промывку двух фильтров и в два раза сокращается время работы насосов К90/55а, подающих воду в водонапорную башню.

Также выполнен расчет распределительной системы фильтров с учетом изменения режима промывки (таблица 3), определены диаметры внутрисканционных трубопроводов (таблица 4).

Таблица 3. Сравнение расчетных и проектных показателей на станции водоподготовки
Table 3. Comparison of calculated and design parameters at the water treatment plant

Показатель	Проектный (до реконструкции)	Расчетный (после реконструкции)
Максимальная суточная производительность, м ³ /сут.	7 500	5 000
Необходимое количество фильтров	8	6
Трубчатый дренаж большого сопротивления:		
Расход промывной воды, м ³ /с	0.215	0.11
Скорость движения промывной воды в коллекторе, м/с	1.7	0.9
Диаметр коллектора, мм	400	400
Расход на одно ответвление, м ³ /с	0.006	0.0032
Скорость движения промывной воды в ответвлениях, м/с	1.2	1.6
Диаметр ответвлений, мм	80	50
Количество ответвлений, шт.	36	34
Потери напора в распределительной системе, м	2.03	3.27

Таблица 4. Диаметры внутростанционных трубопроводов
Table 4. Plant piping internal diameters

Наименование трубы	Расход, л/с	Скорость, м/с	Диаметр, мм
Труба, подающая исходную воду к дегазатору	58	0.76	300
Переливная труба дегазатора			100
Отводящая труба от дегазатора на контактный резервуар	58	0.76	300
Трубопровод отвода воды с контактного резервуара	58	0.76	300

Для определения затрат на осуществление работ по реконструкции станции водоподготовки составлена ведомость объемов работ, которая включает:

- демонтаж существующих трубопроводов, тройников, задвижек и оборудования;
- строительные работы по устройству трубопроводов, задвижек, затворов, тройников;
- монтаж насосного оборудования, блока для приготовления растворов химических реагентов, воздуходувки.

В соответствии с Методикой определения сметной стоимости строительства⁵, были составлены: локальный сметный расчет на демонтажные работы, локальный сметный расчет на строительные работы и монтаж оборудования, а также объектный сметный расчет на реконструкцию станции водоподготовки. Сметная стоимость реконструкции станции водоподготовки в ценах 2024 г., согласно расчету, составила 7 253.95 тыс. рублей.

Результаты расчета дополнительных эксплуатационных затрат в соответствии с Методическими рекомендациями по финансовому обоснованию цен на воду и отведению стоков⁶ представлены в таблице 5.

⁵ Методика определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/565649004> (дата обращения: 14.06.2024).

⁶ Методические рекомендации по финансовому обоснованию цен на воду и отведение стоков. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200039665> (дата обращения: 14.06.2024).

Таблица 5. Дополнительная себестоимость подачи воды после реконструкции
 Table 5. Additional cost of water supply after reconstruction

Статьи расходов	Годовые расходы, тыс. руб.	Изменение себестоимости подачи воды, руб./м ³
Амортизационные отчисления	631.88	+ 0.40
Затраты на ремонт	63.22	
Сэкономленные затраты на электроэнергию	1 425.31	
Затраты на реагенты	2 761.85	
Сэкономленные затраты на промывку фильтров	1 292.33	
Всего дополнительных годовых эксплуатационных затрат	739.31	

Расчеты показали, что себестоимость подачи 1 м³ воды увеличилась на 40 копеек.

В соответствии с Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов⁷, для оценки коммерческой эффективности использованы следующие показатели:

1. Чистая дисконтированная стоимость:

$$ЧДС = \sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1+q)^t} - \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+q)^t}, \quad (7)$$

где R_t – результаты, достигнутые на t -м шаге расчета,

Z_t – текущие затраты, осуществляемые на том же шаге,

K_t – капиталовложения на t -м шаге расчета,

T – горизонт расчета,

t – номер шага расчета,

q – норма дисконта, которая для инвестора должна соответствовать норме дохода на капитал.

2. Индекс доходности:

$$ИД = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1+q)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+q)^t}}. \quad (8)$$

3. Срок окупаемости:

$$T_{ок} = t(-) + \frac{D(t(-))}{D(t(-)) - D(t(+))}, \quad (9)$$

где $t(-)$ – период, в котором совокупный накопленный доход по проекту был отрицательным в последний раз,

$D(t(-))$ – последний отрицательный совокупный накопленный доход по проекту,

$D(t(+))$ – первый положительный совокупный накопленный доход по проекту.

Были получены следующие показатели эффективности проекта реконструкции станции водоподготовки:

- чистая дисконтированная стоимость – 5 183.81 тыс. руб.,
- индекс доходности 1.48,
- срок окупаемости 11 месяцев.

⁷ Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200005634> (дата обращения: 14.06.2024).

Проект реконструкции станции водоподготовки является не только эффективным с коммерческой точки зрения, но и социально значимым, так как соответствует национальной стратегии развития РФ в рамках повышения качества питьевой воды для населения России.

4. Заключение

Результатом исследования стало технико-экономическое обоснование проекта реконструкции станции водоподготовки на примере населенного пункта, находящегося на юге Тюменской области.

Качество подземной воды не удовлетворяло требованиям СанПиН 1.2.3685-21 по показателям мутности, общего железа, марганца. Существующая технологическая схема очистки воды не обеспечивала снижения содержания марганца до нормативных требований. Предложен вариант реконструкции станции водоподготовки, не требующий увеличения объемов существующих сооружений. Технологические расчеты выполнены при условии максимального использования возможностей существующей станции. Для обеспечения необходимой степени снижения концентрации углекислоты и повышения pH рекомендовано заменить аэрационную систему с вакуумно-эжекционной на барботаж в слое загрузки. Удаление марганца предложено осуществлять путем введения в контактный резервуар перед скорыми фильтрами перманганата калия.

Определены объемы работ по реконструкции, составлена сметная документация. Сметная стоимость реконструкции станции водоподготовки составила 7 253.95 тыс. рублей. Дополнительные капитальные вложения увеличивают эксплуатационные затраты и, следовательно, себестоимость выпускаемой продукции или оказываемых услуг. Расчеты показали, что себестоимость подачи 1 м³ воды после реконструкции станции увеличится на 40 копеек. Оценка коммерческой эффективности проекта подтвердила эффективность реализации проекта. Чистая дисконтированная стоимость составила 5183.81 тыс. руб., индекс доходности – 1.48, срок окупаемости – 11 месяцев.

Хотелось бы отметить, что проект реконструкции соответствует исполнению Указа Президента РФ № 309 от 7 мая 2024 г. «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года» в части пункта «строительство и реконструкция (модернизация) не менее чем 2 тыс. объектов питьевого водоснабжения и водоподготовки к 2030 году».



Вклад авторов. Все 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. Штенгелов Р. С., Филимонова Е. А., Маслов А. А. Питьевая вода – драгоценное полезное ископаемое. *Природа*. 2010;(10):38–46. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16857424>.
2. Матусевич В. М., Смоленцев Ю. К. Гидрогеологические структуры Западно-Сибирской плиты. В сб.: *Пресные и маломинерализованные воды Западной Сибири*. Тюмень: Тюменский индустриальный институт им. Ленинского комсомола; 1989. С. 4–17.
3. Крайнов С. В., Швец В. М. *Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения*. Москва: Недра; 1987. 237 с. Режим доступа: <https://reallib.org/reader?file=1479788&pg=3>.
4. Матыс Е. Г. Экономическое обоснование проекта обеспечения чистой водой г. Мегион. *Экономика и предпринимательство*. 2020;(11):500–503. <https://doi.org/10.34925/EIP.2020.124.11.092>
5. Elsheikh M., Guirguis H., Fathy A. Removal of iron and manganese from groundwater: a study of using potassium permanganate and sedimentation. In: *MATEC Web of Conferences*. 2018;162:05018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816205018>
6. Elsheikh M., Guirguis H., Fathy A. A comparative study of methods used for Fe and Mn oxidation and removal from groundwater. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2016;63(4):277–292. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/326990940>.

7. Roccaro P., Barone C., Mancini G., Vagliasindi F. G. A. Removal of manganese from water supplies intended for human consumption: a case study. *Desalination*. 2007;210(1-3):205–214. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.05.045>
8. Khadse G. K., Patni P. M., Labhasetwar P. K. Removal of iron and manganese from drinking water supply. *Sustainable Water Resources Management*. 2015;1(2):157–165. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0017-4>
9. Селюков А. В., Рахимов В. В. Реконструкция станции очистки подземных вод г. Ноябрьска (ЯНАО). *Водоснабжение и санитарная техника*. 2020;(2):4–7. <https://doi.org/10.35776/MNP.2020.02.01>
10. Селюков А. В., Байкова И. С. Обезжелезивание-деманганация подземных вод водозабора «Северный» г. Ханты-Мансийска. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2012;(2):15–18. Режим доступа: <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2012/2012-2>.
11. Mohd Sanusi A, Adlan M. N., Mohd Remy Rozainy M. A. Z., Jamil R. Removal of Iron and Manganese Using Cascade Aerator and Limestone Roughing Filter. *Materials Science Forum*. 2016;857:509–13. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.857.509>
12. Золотова Е. Ф., Асс Г. Ю. *Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода*. Москва: Стройиздат; 1975. 176 с. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/document/12945>.
13. Civardi J., Tompeck M. *Iron and Manganese Removal Handbook*. 2nd edition. American Water Works Association; 2015.
14. Phatai P., Wittayakun J., Chen W.-H., Morales Futalan C., Grisdanurak N., Kan Ch.-Ch. Removal of manganese (II) and iron (II) from synthetic groundwater using potassium permanganate. *Desalination and Water Treatment*. 2014;52:5942–5951. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.819150>
15. Сидоренко О. В., Шкилева А. А., Смирнова Е. С. Сравнение методов удаления углекислоты из подземной воды (на примере станции обезжелезивания п. Боровский). В сб.: *Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в контексте глобального изменения климата планеты в XXI веке*. Т. I. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2017. С. 264–270.
16. Жулин А. Г., Сидоренко О. В. *Дегазаторы угольной кислоты подземных вод*. Тюмень: ТюмГАСУ; 2016. 114 с.
17. Aleksandrova N. N., Shkileva A. A., Popov V. V. Comparison of reconstruction options for water supply network of small village. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;753(3):42–56. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/753/4/042056>
18. Жулин А. Г., Сидоренко О. В., Белова Л. В. Технологические схемы обезжелезивания подземных вод Тюменского региона. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2023;(3):61–71. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2023-3-61-71>

References

1. Shtengelov R. S., Filimonova E. A., Maslov A. A. Drinking water – a precious treasure of the soil. *Priroda*. 2010;(10):38–46. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16857424>.
2. Matusevich V. M., Smolencev Yu. K. Hydrogeological structures of the West Siberian Plate. In: *Presnye i malomineralizovannye vody Zapadnoj Sibiri = Fresh and low-mineralized waters of Western Siberia*. Tyumen: Tyumen Industrial Institute named after Lenin Komsomol; 1989. P. 4–17. (In Russ.)
3. Krajnov S. V., Shvec V. M. *Geochemistry of groundwater for domestic and drinking purposes*. Moscow: Nedra; 1987. (In Russ.) Available at: <https://reallib.org/reader?file=1479788&pg=3>.
4. Matys E. G. Economic feasibility study of a project to provide clean water to Megion. *Journal of Economy and Entrepreneurship*. 2020;(11):500–503. <https://doi.org/10.34925/EIP.2020.124.11.092>
5. Elsheikh M., Guirguis H., Fathy A. Removal of iron and manganese from groundwater: a study of using potassium permanganate and sedimentation. In: *MATEC Web of Conferences*. 2018;162:05018. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201816205018>
6. Elsheikh M., Guirguis H., Fathy A. A comparative study of methods used for Fe and Mn oxidation and removal from groundwater. *Journal of Engineering and Applied Science*. 2016;63(4):277–292. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/326990940>.
7. Roccaro P., Barone C., Mancini G., Vagliasindi F. G. A. Removal of manganese from water supplies intended for human consumption: a case study. *Desalination*. 2007;210(1-3):205–214. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.05.045>
8. Khadse G. K., Patni P. M., Labhasetwar P. K. Removal of iron and manganese from drinking water supply. *Sustainable Water Resources Management*. 2015;1(2):157–165. <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0017-4>
9. Seliukov A., Rakhimov V. Reconstruction of the ground water treatment plant in Noyabrsk (Yamal-Nenets Autonomous Okrug). *Water Supply and Sanitary Technique*. 2020;(2):4–7. (In Russ.) <https://doi.org/10.35776/MNP.2020.02.01>
10. Seliukov A., Baikova I. Deironing-demanganation of ground waters at the Severny intake facilities of Khanty-Mansiysk. *Water Supply and Sanitary Technique*. 2012;(2):15–18. Available at: <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2012/2012-2>.

11. Mohd Sanusi A., Adlan M. N., Mohd Remy Rozainy M. A. Z., Jamil R. Removal of Iron and Manganese Using Cascade Aerator and Limestone Roughing Filter. *Materials Science Forum*. 2016;857:509–13. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.857.509>
12. Zolotova E. F., Ass G. Yu. *Water purification from iron, manganese, fluorine and hydrogen sulfide*. Moscow: Strojizdat; 1975. (In Russ.) Available at: <https://www.c-o-k.ru/library/document/12945>.
13. Civardi J., Tompeck M. *Iron and Manganese Removal Handbook*. 2nd edition. American Water Works Association; 2015.
14. Phatai P., Wittayakun J., Chen W.-H., Morales Futralan C., Grisdanurak N., Kan Ch.-Ch. Removal of manganese (II) and iron (II) from synthetic groundwater using potassium permanganate. *Desalination and Water Treatment*. 2014;52:5942–5951. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.819150>
15. Sidorenko O. V., Shkileva A. A., Smirnova Ye. S. Comparison of methods of carbon dioxide removal from Groundwater (on the example of Borovsky deferrization station). In: *Problemy upravleniya rechnymi basseynami pri osvoyoenii Sibiri i Arktiki v kontekste global'nogo izmeneniya klimata planety v XXI veke = Problems of management of river basins in the development of Siberia and the Arctic in the context of global change of the planet's climate in the XXI century. Issue I*. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2017. P. 264–270. (In Russ.)
16. Zhulin A. G., Sidorenko O. V. *Groundwater carbonic acid degassers*. Tyumen: Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering; 2016. (In Russ.)
17. Aleksandrova N. N., Shkileva A. A., Popov V. V. Comparison of reconstruction options for water supply network of small village. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;753(3):42–56. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/753/4/042056>
18. Zhulin A. G., Sidorenko O. V., Belova L. V. Technological schemes for deferrization of groundwater in the Tyumen region. *Architecture, Construction, Transport*. 2023;(3):61–71. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2023-3-61-71>



Информация об авторах

Матыс Елена Геннадьевна, канд. экон. наук, доцент, заведующая кафедрой управления строительством и жилищно-коммунальным хозяйством, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, matyseg@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4136-0632>

Шкилева Анна Александровна, канд. экон. наук, доцент, доцент кафедры управления строительством и жилищно-коммунальным хозяйством, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, shkilevaaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4883-8350>

Сидоренко Ольга Владимировна, канд. техн. наук, доцент, заведующая кафедрой инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, sidorenkoov@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3177-3025>

Information about the authors

Elena G. Matys, Cand. Sci. (Economic), Associate Professor, Head of the Department of Construction Management and Housing and Communal Services, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, matyseg@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4136-0632>

Anna A. Shkileva, Cand. Sci. (Economic), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Construction Management and Housing and Communal Services, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, shkilevaaa@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4883-8350>

Olga V. Sidorenko, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, sidorenkoov@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3177-3025>

Получена 24 июня 2024 г., одобрена 11 ноября 2024 г., принята к публикации 03 декабря 2024 г.
Received 24 June 2024, Approved 11 November 2024, Accepted for publication 03 December 2024



Преимущества перехода на индивидуальные тепловые пункты в системе городского теплоснабжения

М. Н. Сабукевич ✉

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

✉ pavlova_m.n@mail.ru



Аннотация. Модернизация в сфере теплоснабжения подразумевает как повышение надежности и безопасности систем теплоснабжения в целом, так и повышение качества обслуживания конечных потребителей. Для достижения этих целей в Тюмени в 2021 г. начала действовать программа по переходу от центральных тепловых пунктов к индивидуальным. Рассмотрены четыре основные схемы подключения отопления, в соответствии с которыми проведено более 80 % подключений в городе. Переход от этих стандартных схем подключения к индивидуальным тепловым пунктам обеспечит ряд преимуществ: для управляющих компаний – это возможность более эффективно управлять системой теплоснабжения непосредственно в каждом доме; для конечных потребителей – самостоятельный выбор оптимальных показателей параметров теплоснабжения и горячего водоснабжения в доме и, как следствие, оптимизация расходов и снижение коммунальных платежей. На примере одного из многоквартирных жилых домов в Тюмени рассмотрены преимущества перехода с центрального на индивидуальный тепловой пункт. Только за первый месяц отопительного сезона удалось добиться экономии для потребителей порядка 4 %. Кроме того, переход даже одного объекта на обслуживание индивидуальным тепловым пунктом позволяет теплоснабжающей организации снизить расходы на реконструкцию теплосетей на 2 %. Согласно проведенному анализу, данный опыт можно считать позитивным.

Ключевые слова: модернизация, теплоснабжение города Тюмени, теплоноситель, энергоэффективность, тепловой пункт

Для цитирования: Сабукевич М. Н. Преимущества перехода на индивидуальные тепловые пункты в системе городского теплоснабжения. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):68–76. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-68-76>

Benefits of individual heat points in municipal heat supply

Maria N. Sabukevich ✉

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

✉ pavlova_m.n@mail.ru



Abstract. Modernizing the heat supply sector involves improving both the reliability and safety of heating systems and enhancing service quality for end users. To achieve these aims, Tyumen launched a program in 2021 to transition from central to individual heat points. The study examined four main heating connection schemes, which account for over 80% of city connections. Switching from these standard schemes to individual heat points offers several advantages. Management companies gain the ability to efficient manage heat supply directly in each building. End users gain greater control, allowing them to choose optimal parameters for

heating and hot water, leading to cost optimization and reduced utility bills. This paper presents a case study of a Tyumen multifamily residential building that successfully transitioned from a central to an individual heat point. Consumers saw a 4% reduction in costs during the first month of the heating season. Furthermore, even a single building's conversion to an individual heating substation allows the heat supply organization to reduce heat network reconstruction costs by 2%. Based on this analysis, the transition is deemed a success.

Keywords: modernization, Tyumen city heat supply, heat carrier, energy efficiency, heating substation

For citation: Sabukevich M. N. Benefits of individual heat points in municipal heat supply. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4):68–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-68-76>



1. Введение

В настоящее время жилой фонд России составляет около 80 % от общего количества построенных объектов¹. В целях обеспечения потребителей качественными коммунальными услугами сфера теплоснабжения постоянно модернизируется. Модернизация может касаться как отдельных компонентов системы теплоснабжения, так и экономической составляющей, в том числе тарифов на ЖКХ [1–4].

В августе 2024 г. принят Федеральный закон «О внесении изменений в Федеральный закон "О теплоснабжении" и отдельные законодательные акты Российской Федерации»². Он направлен на повышение надежности и безопасности систем теплоснабжения и предусматривает ужесточение мер по подготовке к отопительному сезону³.

Данные нововведения в сфере теплоснабжения России необходимы. Несмотря на имеющиеся запасы природных ресурсов, которыми обладает наша страна, проблема их рационального использования и эффективного распределения по-прежнему является одной из ключевых для государственных ведомств, в том числе Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства.

В ходе реализации мероприятий по капитальному ремонту и реконструкции тепловой сети и/или отдельных субъектов зачастую внедряются новейшие устройства, улучшающие поставку теплоносителя [5, 6], так как основной задачей теплоснабжающей организации является поставка качественного теплоносителя до конечного потребителя. Под качественным теплоносителем понимается «идеальный» теплоноситель систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, отвечающий требованиям приказа Минэнерго РФ от 24.03.2003 г. № 115⁴.

Теплоноситель для нужд потребителей может подготавливаться как в центральном тепловом пункте (ЦТП), так и у самого потребителя – в индивидуальном тепловом пункте (ИТП).

¹ Переход от ЦТП к ИТП: опыт в регионах. Режим доступа: <https://sovsnab16.ru/perehod-ot-tstp-k-itp-opyt-v-regionah/> (дата обращения: 17.08.2024).

² Федеральный закон от 08.08.2024 г. № 311-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "О теплоснабжении" и отдельные законодательные акты Российской Федерации». Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/51005> (дата обращения: 17.08.2024).

³ Законопроект № 513229-8 «О внесении изменений в Федеральный закон "О теплоснабжении" и отдельные законодательные акты Российской Федерации (в части повышения надежности и безопасности систем теплоснабжения). Режим доступа: <https://sozd.duma.gov.ru/bill/513229-8> (дата обращения: 17.08.2024).

⁴ Приказ Минэнерго РФ от 24.03.2003 г. № 115 «Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок». Режим доступа: <https://base.garant.ru/185671/> (дата обращения: 17.08.2024).

Использование ЦТП имеет ряд недостатков [7–10] по сравнению с ИТП [11]. Несмотря на то, что для перехода на ИТП необходимо приобрести оборудование для контроля и регулирования параметров теплоносителя, что сопряжено с дополнительными расходами, неоспоримым преимуществом ИТП является возможность регулировать параметры теплоносителя для потребителей на местах.

На сегодняшний день эксплуатирующие компании жилых и/или нежилых помещений, подключенных от ЦТП, решают проблему с недогревом теплоносителя установкой дополнительного оборудования или арматуры для улучшения параметров теплоносителя. Такой выход из ситуации некорректен, так как нарушает цикл работы всей системы теплоснабжения на участке, от которого произошло подключение потребителей.

Для модернизации центральной системы теплоснабжения во многих городах (например, в Казани⁵) разрабатывают и реализуют программы по переходу от ЦТП к ИТП [12]. В Тюмени в рамках запуска в 2021 г. аналогичной программы на ИТП были переведены 7 многоквартирных домов. Цель данной статьи – рассмотреть основные схемы подключения отопления, применяемые в г. Тюмени, и оценить преимущества перехода с ЦТП на ИТП (на примере одного из объектов города).

2. Материалы и методы

Анализ и синтез. Основными производителями тепловой энергии для Тюмени являются ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, которые обеспечивают теплом четыре административных района города – Ленинский, Центральный, Калининский, Восточный (рис. 1). Согласно утвержденной схеме теплоснабжения города на 2023–2040 гг.⁶, в пределах границ населенного пункта расположены 177 ЦТП.

Количество обслуживаемого населения ГВС от ЦТП (теплообменники ГВС расположены в ЦТП) составляет 184 661 человек, от ТЭЦ-1, ТЭЦ-2 (теплообменники ГВС находятся в жилых домах в эксплуатации управляющих компаний) – 437 657 человек.

Ориентировочная протяженность трубопроводов в однотрубном и четырехтрубном исполнении подключения ГВС от ЦТП представлена на рис. 2.

Стоит также отметить, что в связи с исчерпанием эксплуатационного ресурса, согласно схеме теплоснабжения г. Тюмени на 2023–2040 гг., теплоснабжающая организация планирует потратить на реконструкцию тепловых сетей более 5 млрд руб. без учета НДС, в данную стоимость входит также реконструкция магистральных трубопроводов. Основываясь на аксиоматическом методе и синтезе, можно предположить, что при снижении количества трубопроводов тепловой сети на ответвлении (от ЦТП до потребителей), то есть в результате исключения устройства ЦТП из системы теплоснабжения с последующим устройством ИТП у потребителей [13], снизятся расходы на капремонт и реконструкцию тепловой сети.



Рис. 1. Источники теплоты в г. Тюмени⁷
Fig. 1. Heat sources in Tyumen⁷

⁵ Ахмерова Г. М. Проблемы перехода от ЦТП на ИТП в Казани. Режим доступа: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3549 (дата обращения: 07.08.2024).

⁶ Актуализированная схема теплоснабжения муниципального образования городской округ город Тюмень на период 2023–2040 гг. Режим доступа: <https://gclnk.com/4lAtiU2> (дата обращения: 08.08.2024).

⁷ Фото из открытых источников.

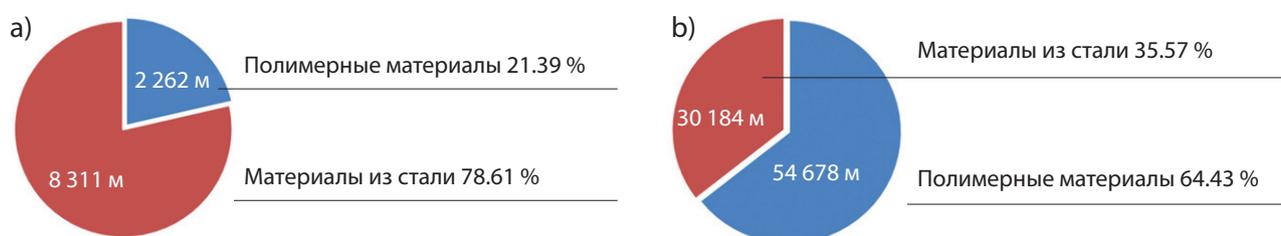


Рис. 2. Соотношение протяженности трубопроводов из различных материалов:
а) в однетрубном исполнении; б) в четырехтрубном исполнении (схемы составлены автором)
Fig. 2. Ratio of pipeline lengths by material: a) single-pipe system; b) four-pipe system (diagrams by the author)

Аксиоматический метод. Внедрение ИТП для самостоятельного контроля параметров теплоносителя в современных реалиях может быть эффективным с нескольких точек зрения:

1. Установка ИТП позволяет жильцам оптимизировать расходы на отопление и горячее водоснабжение. Это может значительно снизить размер коммунальных платежей жильцов.
2. ИТП обеспечивают более эффективное управление теплоснабжением каждого многоквартирного дома, что позволяет регулировать температуру и минимизировать потери тепла.
3. ИТП дают возможность жильцам многоквартирного дома самостоятельно выбирать оптимальный режим отопления и горячего водоснабжения, что положительно сказывается на комфорте проживания.

3. Результаты и обсуждение

Полученные с помощью системы ZuluGIS данные позволили выделить основные схемы подключения потребителей: 41 % подключений осуществляется по схеме № 2, 15 % – по схеме № 8, 15 % – по схеме № 12 и 12 % – по схеме № 4 (рис. 3). Также были собраны данные по существующим схемам подключения потребителей тепловой энергии от источника теплоты (ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2) в г. Тюмени (ZuluGIS).

Рассмотрим принцип работы схем № 2, 4, 8, 12. На рис. 3а представлена схема с открытым водоразбором ГВС и зависимой схемой подключения системы отопления (подключение через элеваторный узел). Система отопления подготавливается непосредственно у потребителя, это значит, что к потребителю поступает теплоноситель с температурным графиком от источника теплоты 150 °С, с ограничением в подающем трубопроводе до 115 °С (для г. Тюмени), а в обратном трубопроводе – 70 °С. Но такой температурный график не соответствует needs потребителей ГВС, так как, согласно требованиям СанПиН 2.1.4.2496-09⁸ и п. 7.6 СП 124.13330.2012⁹, температура выхода из теплообменного оборудования не должна превышать 65 °С. Из этого следует, что теплоноситель для нужд ГВС готовится отдельно, например, в ЦТП, и отдельной системой подводится к потребителю. Данные схемы могут быть подключены по трехтрубной либо по четырехтрубной системе.

На рис. 3б показана схема с открытым водоразбором ГВС и зависимой схемой подключения системы отопления (подключение напрямую). Как и в первом случае, потребитель не может использовать теплоноситель для нужд ГВС в чистом виде, но в данной ситуации не только ГВС, но и система отопления подключены напрямую. Параметры системы отопления для потребления должны соот-

⁸ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 07.04.2009 № 20 (с изм. от 02.04.2018) «Об утверждении СанПиН 2.1.4.2496-09». Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/postanovlenie-glavnogo-gosudarstvennogo-sanitarnogo-vracha-rf-ot-07042009-n/> (дата обращения: 08.08.2024).

⁹ СП 124.13330.2012 Тепловые сети = Thermal networks. Актуализированная редакция СНиП 41-02-2003. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200095545> (дата обращения: 10.08.2024).

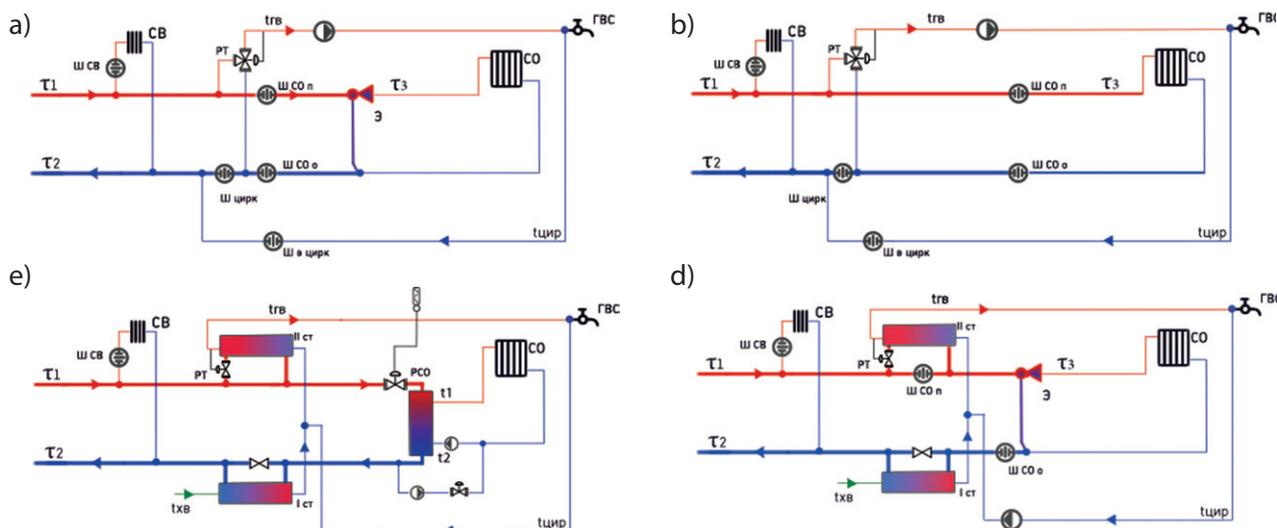


Рис. 3. Схемы подключения¹⁰: а) № 2: потребитель с открытым водоразбором ГВС и элеваторным присоединением системы отопления; б) № 4: потребитель с открытым водоразбором ГВС и непосредственным присоединением системы отопления; в) № 8: потребитель с двухступенчатым последовательным подключением подогревателей ГВС и независимым присоединением системы отопления; д) № 12: потребитель с двухступенчатым последовательным подключением подогревателей ГВС и элеваторным присоединением системы отопления

Fig. 3. Connection schemes¹⁰: a) scheme 2: consumer with open hot water supply system and elevator heating connection; b) scheme 4: consumer with open hot water supply system and direct heating connection; c) scheme 8: consumer with two-stage series hot water supply heating and independent heating system connection; d) scheme 12: consumer with two-stage series hot water supply heating and elevator heating connection.

ветствовать требованиям СП 347.1325800.2017¹¹. В свою очередь, отопительные приборы, установленные в жилых и нежилых помещениях, рассчитаны на максимальную температуру в подающем контуре при теплообмене не более чем 95 °С. Из этого следует, что обе системы потребления преобразуются и снижают параметры теплоносителя для потребления в ЦТП, и потребитель подключен по двухтрубной системе с пониженным параметром теплоносителя как для ГВС, так и для системы отопления. Данные схемы могут быть подключены только по четырехтрубной системе.

При зависимой схеме подключения системы отопления необходимо соблюдать стабильное поддержание заданных параметров источника теплоты [14, 15], что не всегда удается осуществить из-за удаленности потребителя.

На рис. 3с и 3д показаны схемы с двухступенчатым последовательным подключением подогревателей ГВС и независимым присоединением системы отопления (через теплообменники). В данном случае теплоноситель может готовиться как у самого потребителя, то есть через ИТП, так и в ЦТП. В случае применения данных схем в ЦТП потребители могут быть подключены только по четырехтрубной системе. В случае применения данных схем через ИТП подключение потребителей осуществляется от тепловой сети.

¹⁰ Расчетные схемы присоединения потребителей. Режим доступа: https://www.politerm.com/zuluthermo/webhelp/app_schemes_consumer.html?ysclid=lf570kbsn980435528 (дата обращения: 08.08.2024).

¹¹ СП 347.1325800.2017 Внутренние системы отопления, горячего и холодного водоснабжения. Правила эксплуатации = Internal heating, hot and cold water supply systems. Rules of operation. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/557664066?section=status> (дата обращения: 10.08.2024).

При исключении вышеуказанных схем ЦТП с последующим переходом на ИТП потребители тепловой энергии будут оплачивать коммунальные услуги по фактическому потреблению согласно показателям общедомового прибора учета, а не по тарифу. Также упрощается процесс слежения за расходом тепловой энергии со стороны управляющих компаний, так как снижается количество приборов учета в связи с тем, что остаются только подающий и обратный трубопроводы. Автоматизация процессов подготовки теплоносителя для нужд потребления, предусмотренная при устройстве ИТП на стадии проекта, облегчает настройку температурных режимов в межсезонье.

В 2021 г. с ЦТП на ИТП был переведен многоквартирный дом, расположенный в Восточном административном районе г. Тюмени. Объект был подключен от ЦТП по схеме № 2 по четырехтрубной системе (два трубопровода на нужды системы отопления и два трубопровода на нужды ГВС). В 2022 г. дом ввели в эксплуатацию через подключение ИТП с установкой общедомового прибора учета (ОДПУ) на подающий и обратный трубопроводы.

В таблице 1 представлены результаты массового расхода теплоносителя в ноябре 2021 и 2022 гг. Сбор данных проведен посредством программного комплекса для автоматического сбора, обработки, хранения и отображения информации с приборов учета различных производителей «Взлет СП». В связи с тем, что в отопительный период в Тюмени начался в сентябре, нормализация параметров теплоносителя произошла в конце октября. Модернизация объекта подключения была завершена в неотапительный период.

Видно, что произошло уточнение расхода по потреблению тепловой энергии, и оплата с 2022 г. начислялась не по нормативу, а по фактическому потреблению, зависящему от площади объекта. В 2021 г. начисление оплаты за отопление выполнялось исходя из фактического объема потребленной тепловой энергии согласно показаниям приборов учета, установленных в ЦТП на вводных трубопроводах систем отопления и ГВС, в соответствии с распоряжением № 842 от 18.12.20¹². Тариф для данного объекта начислялся в размере 1391.140 руб./Гкал с учетом НДС, начисление за тепловую энергию для целей ГВС по жилым помещениям выполнялось исходя из расхода холодного водоснабжения (ХВС) для целей ГВС и норматива расхода тепловой энергии, используемой на подогрев холодной воды для предоставления коммунальной услуги по горячему водоснабжению. В Тюменской области этот норматив составлял 0.052 Гкал на м³ в месяц, согласно распоряжению Департамента тарифной и ценовой политики от 25.08.2017 № 297/01-21¹³. Объем потребления в системе отопления составил 1.015 Гкал.

С 2022 г. начисление выполняется исходя из фактического объема тепловой энергии, определенного по показаниям прибора учета. Для определения объема тепловой энергии для нужд ГВС и отопления определяется объем ГВС по нежилым/жилым помещениям, затем из общего объема потребленной тепловой энергии по ОДПУ вычитается суммарный объем тепловой энергии на нужды ГВС. Остаток распределяется на систему отопления по жилым/нежилым помещениям в соответствии с приложением № 2 к Правилам № 354¹⁴. В связи с тем, что в конце 2021 г. методика начисления изменилась, тариф составил 1742.27 руб./Гкал. Объем потребления в системе отопления составил 0.976 Гкал.

¹² Распоряжение Департамента тарифной и ценовой политики Тюменской области № 842 от 18.12.2020 г. «Об установлении льготных тарифов». Режим доступа: https://ao-ustek.ru/upload/iblock/894/Rasporyazhenie_842_ot_18.12.20_ob_ustanovlenii_lgotnykh_tarifov_na_teplovuyu_energiyu.pdf (дата обращения: 12.08.2024).

¹³ Распоряжение Департамента тарифной и ценовой политики Тюменской области № 297/01-21 от 25.08.2017 г. «Об утверждении норматива расхода тепловой энергии, используемой на подогрев холодной воды для предоставления коммунальной услуги по горячему водоснабжению в Тюменской области». Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/450322321> (дата обращения: 12.08.2024).

¹⁴ Постановление Правительства РФ № 354 от 06.05.2011 г. (ред. от 24.05.2024) «О предоставлении коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов». Режим доступа: <https://base.garant.ru/12186043/> (дата обращения: 10.08.2024).

Таблица 1. Изменение параметров теплоносителя при переводе многоквартирного дома с ЦТП на ИТП
 Table 1. Changes in heat carrier parameters when converting a multifamily residential building from a central to an individual heat point

Теплоснабжение													
2021 год							2022 год						
Дата	T1, °C	T2, °C	ΔT, °C	M1, т	M2, т	Q, Гкал	Дата	T1, °C	T2, °C	ΔT, °C	M1, т	M2, т	Q, Гкал
01.11.21	75.9	47.6	28.3	98.5	99.3	2.7	01.11.22	70.0	46.9	23.1	90.6	90.77	2.0
02.11.21	76.2	51.6	24.6	147.0	148.0	3.3	02.11.22	70.5	46.6	23.9	86.0	86.2	1.9
03.11.21	76.4	51.2	25.2	142.8	143.9	3.3	03.11.22	70.2	47.2	23.0	97.6	97.8	2.1
04.11.21	76.2	50.2	25.9	123.5	124.6	2.9	04.11.22	70.3	47.4	22.9	92.3	92.4	2.0
05.11.21	76.2	48.3	27.9	111.2	112.3	2.9	05.11.22	70.6	47.6	22.9	93.4	93.6	2.0
06.11.21	76.6	47.5	29.1	101.5	102.5	2.7	06.11.22	71.7	48.0	23.6	94.6	94.7	2.1
07.11.21	76.1	46.7	29.3	94.4	95.4	2.7	07.11.22	71.7	47.4	24.3	98.3	98.4	2.3
08.11.21	75.8	46.8	29.0	96.4	97.3	2.6	08.11.22	71.6	47.4	24.1	101.1	101.2	2.3
09.11.21	75.8	46.6	29.1	97.1	98.1	2.7	09.11.22	71.1	47.1	23.9	99.9	100.1	2.3
10.11.21	76.9	45.8	31.0	87.1	87.9	2.6	10.11.22	69.9	46.8	23.1	102.4	102.5	2.3
11.11.21	76.2	49.4	26.7	118.1	119.0	3.0	11.11.22	70.2	46.7	23.4	100.8	100.9	2.3
12.11.21	76.3	52.4	23.9	157.9	159.3	3.2	12.11.22	70.7	46.9	23.8	87.5	87.6	2.0
13.11.21	76.3	48.1	28.2	104.5	105.4	2.8	13.11.22	74.9	46.9	27.9	74.1	74.2	2.0
14.11.21	80.4	50.5	29.8	109.7	110.6	3.1	14.11.22	79.8	46.4	33.4	68.3	68.4	2.2
15.11.21	87.1	52.3	34.8	104.5	105.4	3.5	15.11.22	85.1	48.6	36.5	73.0	73.1	2.6
16.11.21	90.0	56.6	33.4	112.1	113.1	3.6	16.11.22	89.5	52.3	37.1	84.2	84.4	3.0
17.11.21	89.9	56.7	33.2	124.4	125.4	4.0	17.11.22	92.1	54.5	37.5	92.5	92.7	3.4
18.11.21	90.1	59.7	30.4	145.5	146.6	4.2	18.11.22	92.1	55.9	36.2	101.0	101.2	3.5
19.11.21	88.2	53.4	34.8	113.4	114.5	3.5	19.11.22	92.8	56.7	36.1	95.2	95.4	3.3
20.11.21	86.1	46.2	39.9	74.7	75.6	2.9	20.11.22	92.2	57.5	34.7	100.9	101.1	3.4
21.11.21	84.8	47.1	37.6	83.0	84.1	3.1	21.11.22	92.4	56.4	35.9	100.0	100.2	3.5
22.11.21	84.7	45.9	38.7	75.2	76.0	2.8	22.11.22	60.4	43.8	16.6	41.5	41.6	1.6
23.11.21	84.8	45.6	39.1	71.8	72.5	2.8	23.11.22	96.2	56.9	39.3	99.9	100.0	3.8
24.11.21	87.0	49.0	38.0	87.9	88.6	3.2	24.11.22	97.0	54.2	42.7	84.1	84.2	3.6
25.11.21	86.9	56.1	30.8	130.3	131.2	3.9	25.11.22	96.8	54.2	42.6	84.2	84.4	3.5
26.11.21	86.9	54.7	32.2	123.9	124.8	3.7	26.11.22	96.9	55.7	41.1	84.5	84.7	3.4
27.11.21	85.5	44.6	40.9	65.2	65.8	2.6	27.11.22	97.2	55.8	41.4	85.6	85.8	3.5
28.11.21	84.0	44.4	39.5	70.0	70.7	2.7	28.11.22	97.4	54.7	42.6	85.2	85.5	3.6
29.11.21	82.8	46.3	36.4	80.4	81.1	2.9	29.11.22	98.1	55.1	42.9	86.6	86.8	3.7
30.11.21	81.4	45.4	36.0	76.8	77.4	2.7	30.11.22	101.3	57.3	44.4	87.9	88.2	3.9

Согласно расчетам, потребители рассматриваемого многоквартирного дома, подключенные от ЦТП, в 2021 г. оплатили за коммунальные услуги в ноябре 108 620.21 руб. В 2022 г. с учетом увеличения тарифа за потребление тепловой энергии эта сумма должна была составить 141 742.324 руб. Однако дом был переведен на ИТП, и потребители оплатили за коммунальные услуги 136 036.46 руб. Экономия для потребителей составила около 4 %. В свою очередь, теплоснабжающая организация сократила обслуживание тепловых сетей в 2 раза и исключила из обслуживания один ЦТП, который требовал постоянного обхода персонала для проверки работы оборудования и параметров теплоносителя. Данный фактор способствовал сокращению затрат на реконструкцию тепловых сетей примерно на 2 %.

4. Заключение

Устройство ЦТП позволяет контролировать параметры теплоносителя на ответвлении от магистральных сетей, но не снижает количества трубопроводов на разветвлении от ЦТП, а также не

позволяет контролировать параметры теплоносителя непосредственно у потребителя, что, в свою очередь, затрудняет взаимодействие между теплоснабжающей организацией и потребителями. Исходя из этого, можно сделать вывод, что чем больше трубопроводов, тем больше эксплуатационных средств требуется на обслуживание этих участков. Кроме того, необходим постоянный контроль параметров по поставке готового теплоносителя для нужд потребителей.

Анализ данных одного из семи жилых объектов, переведенных с ЦТП на ИТП, показал следующее:

- были оптимизированы расходы потребителей: только за один месяц отопительного сезона (согласно сравнительному анализу данных за ноябрь 2021 и 2022 гг.) экономия для потребителей составила 5 435.88 руб. (примерно 4 %). Ввиду того, что в среднем в России отопительный период длится восемь месяцев, снижение расходов будет существенным;
- теплоснабжающей организации удалось снизить затраты на реконструкцию тепловых сетей примерно на 2 % в связи со снижением количества субъектов (трубопроводов и ЦТП);
- благодаря тому, что установились параметры теплоносителя, удалось более точно отследить потребление тепловой энергии, рассчитать объем теплоносителя и оплату за коммунальные услуги потребителей рассматриваемого объекта.



Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Бакрунов Ю. О., Глазкова В. В. Реализация государственной политики в вопросах инновационного развития сферы теплоснабжения. *Вестник МГСУ*. 2023;18(1):138–147. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2024.1.138-147>
2. Глазкова В. В. Теоретические аспекты инновационного развития единых теплоснабжающих организаций в условиях перехода на новый энергетический уклад. *Вестник МГСУ*. 2022;17(8):1073–1084. <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.8.1073-1084>
3. Цуверкалова О. Ф. Анализ современного состояния и тенденций развития отрасли теплоснабжения в РФ. *Вестник Алтайской академии экономики и права*. 2020;(11-3):554–559. <https://doi.org/10.17513/vaael.1462>
4. Мухаметшина Р. М., Мухетдинов И. И., Лебедев Н. В., Залялова А. Р., Ахмерова Г. М. Индивидуальный тепловой пункт как энергосберегающее звено присоединения инженерных систем здания к тепловым сетям. *Тенденции развития науки и образования*. 2019;(56-1):56–59. <https://doi.org/10.18411/lj-11-2019-14>
5. Heidenthaler D., Deng Y., Leeb M., Grobbauer M., Kranzl L., Seiwald L., et al. Automated energy performance certificate based urban building energy modelling approach for predicting heat load profiles of districts. *Energy*. 2023;278-B:128024. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128024>
6. Жилина Т. С., Сабукевич М. Н., Ву Дин Д., Видесундара Дж. Применение повысительных насосных станций для модернизации систем теплоснабжения. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(2):56–66. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-2-56-66>
7. Жилина Т. С., Павлова М. Н. Исследование работы централизованных систем теплоснабжения в условиях селитебной застройки. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2023;(1):36–44. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2023-1-36-44>
8. Горячев С. В., Даутов Г. Р. Модернизация теплового пункта в системе централизованного теплоснабжения. *Аллея науки*. 2021;(5)345–350. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46370512>.
9. Петрущенков В. А. Расчет режимов работы централизованных систем теплоснабжения в непроектных условиях. *Теплоэнергетика*. 2020;(5):84–94. <https://doi.org/10.1134/S0040363622050046>
10. Борисов К. В. Коррекция существующих графиков регулирования отпуска тепловой энергии. *АВОК*. 2024;(6):24–26. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68615051>.
11. Шляхтичев Д. В. Преимущества индивидуальных пунктов теплоснабжения перед централизованными. *Вестник магистратуры*. 2020;(2-1):11–13. Режим доступа: https://magisterjournal.ru/docs/VM101_1.pdf.
12. Горинов Ю. А., Анисимов П. Н. Повышение эффективности систем централизованного теплоснабжения модернизацией ИТП. *Проблемы энергетики*. 2022;24(3):101–111. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-3-101-111>
13. Чалганов А. В., Кузнецов А. А., Миндров К. А. Основные трудности при переходе от ЦТП на ИТП. *Оригинальные исследования*. 2021;11(4):341–345. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=46161305>.

14. Аверьянов В. К., Тютюнников А. И., Богданов К. В., Горшков А. С. Примеры коррекции существующих графиков регулирования отпуска тепловой энергии. *АВОК*. 2024;(4):14–18. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8743.
15. Ливчак В. И. Уточнение правил перерасчета измеренного теплоснабжения на отопление. *Энергосбережение*. 2020;(4):44–47. Режим доступа: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7553.

References

1. Bakrunov Yu. O., Glazkova V. V. Implementation of state policy in the issues of innovative development of the heat supply sector. *Vestnik MGSU*. 2024;19(1):138-147. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2024.1.138-147>
2. Glazkova V. V. Theoretical aspects of innovative development of unified heat supply organizations in the conditions of transition to a new energy system. *Vestnik MGSU*. 2022;17(8):1073–1084. (In Russ.) <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2022.8.1073-1084>
3. Tsuverkalova O. F. Analysis of the current state and trends in the development of the heat supply industry in the Russian Federation. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava*. 2020;(11-3):554–559. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/vaael.1462>
4. Mukhametshina R. M., Mukhetdinov I. I., Lebedev N. V., Zalyalova A. R., Akhmerova G. M. Individual heat point as an energy-saving link of connection of building engineering systems to heat networks. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2019;(56-1):56–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.18411/lj-11-2019-14>
5. Heidenthaler D., Deng Y., Leeb M., Grobbauer M., Kranzl L., Seiwald L., et al. Automated energy performance certificate based urban building energy modelling approach for predicting heat load profiles of districts. *Energy*. 2023;278-B:128024. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128024>
6. Zhilina T. S., Sabukevich M. N., Vu Dinh Dang, Wijesundara Janaka. Using the booster pumping stations for modernization of heat supply system. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(2):56–66. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-2-56-66>
7. Zhilina T. S., Pavlova M. N. Study of the operation of district heating systems in residential areas. *Architecture, Construction, Transport*. 2023;(1):36-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2023-1-36-44>
8. Goryachev S. V., Dautov G. R. Modernization of the heating point in the system district heating. *Alleya nauki*. 2021;(5)345–350. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46370512>.
9. Petrushchenkov V. A. Calculation of operating modes of centralized heat-supply systems in non project conditions. *Thermal Engineering*. 2022;69(5):384–392. <https://doi.org/10.1134/S0040601522050044>
10. Borisov K. V. Correction of existing heat supply regulation schedules. *АВОК*. 2024;(6):24–26. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=68615051>.
11. Shlyakhtichev D. V. Advantages of individual heat supply points over centralized ones. *Vestnik Magistratury*. 2020;(2-1):11–13. (In Russ.) Available at: https://magisterjournal.ru/docs/VM101_1.pdf.
12. Gorinov Yu. A., Anisimov P. N. Increasing the efficiency of district heating supply systems by local heat distribution station modernation. *Power Engineering: Research, Equipment, Technology*. 2022;24(3):101–111. (In Russ.) <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-3-101-111>
13. Chalganov A. V., Kuznetsov A. A., Mindrov K. A. The main difficulties in the transition from TTP to ITP. *Original'nyye issledovaniya*. 2021;11(4):341–345. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=46161305>.
14. Averyanov V. K., Tyutyunnikov A. I., Bogdanov K. V., Gorshkov A. S. Examples of Adjusting the Existing Thermal Energy Delivery Control Schedules. *АВОК*. 2024;(4):14–18. (In Russ.) Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=8743.
15. Livchak V. I. Clarification of the rules of recalculation of measured heat consumption for heating. *Energoberezhnie*. 2020;(4):44–47. (In Russ.) Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7553.



Информация об авторе

Сабукевич Мария Николаевна, аспирант кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, pavlova_m.n@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2899-4381>

Information about the author

Maria N. Sabukevich, Postgraduate at the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, pavlova_m.n@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2899-4381>

Получена 17 августа 2024 г., одобрена 10 октября 2024 г., принята к публикации 03 декабря 2024 г.
Received 17 August 2024, Approved 10 October 2024, Accepted for publication 03 December 2024



Электропроводящий нагреваемый цементобетон на основе графита

С. А. Куюков ✉, П. Ю. Третьяков, А. А. Тестешев, А. В. Замятин, А. А. Жигайлов

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

✉ kujukovsa@tyuiu.ru



Аннотация. Срок службы сооружения в гражданском и дорожном строительстве во многом зависит от качества и свойств применяемых строительных и дорожно-строительных материалов. Улучшение свойств уже известных и применяемых материалов, в частности, цементобетона, является одной из приоритетных задач ученых. Цель работы: получение цементобетона, обладающего электропроводящими свойствами, обеспечивающими его нагрев при прохождении электрического тока за счет применения углеродосодержащих добавок, и оценка влияния добавок на прочностные свойства. Объект исследования – состав цементобетона с содержанием графита. Проведение лабораторных исследований выполнено в 4 этапа. На первом этапе с учетом специфики применяемых компонентов были разработаны составы цементобетона класса В15. На основе разработанных составов проведен второй этап исследований, заключающийся в изготовлении серии образцов цементобетонной смеси для тяжелого бетона класса В15 с различным содержанием графита, а именно: 0, 33, 50, 66 и 100 %. На третьем этапе проведены испытания образцов на прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии. Заключительный, четвертый, этап предусматривал оценку электропроводящих и температурных характеристик цементобетонных образцов с содержанием графита. Анализ полученных результатов исследования показал, что с увеличением содержания графита в цементобетонной смеси повышаются его электропроводящие свойства, при прохождении электрического тока цементобетон нагревается. Вместе с тем, содержание графита в цементобетоне снижает его прочностные свойства. Практическая значимость работы заключается в разработке составов электропроводящего цементобетона, соответствующего заданному классу по прочности.

Ключевые слова: электропроводящий бетон, цементобетон, дорожное строительство, порошкообразный графит, прочность, теплопроводность

Для цитирования: 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>

Electrically conductive cement concrete using graphite

Sergey A. Kuyukov ✉, Peter U. Tretyakov, Alexander A. Testeshev, Alexey V. Zamyatin, Alexander A. Zhigailov

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

✉ kujukovsa@tyuiu.ru



Abstract. In civil and road construction, the service life of structures is heavily influenced by the quality and properties of the construction and road-building materials used. Improving the properties of existing and commonly used materials, particularly concrete, is a high research priority. This work aims to produce

electrically conductive concrete using carbonaceous additives and to assess the effect of these additives on compressive strength. The research focused on cement concrete mixes containing graphite. Laboratory testing was conducted in four stages. In the first stage, B15 concrete mixes were designed, considering the specific characteristics of the components. Based on the developed formulations, the second stage of the research involved the production of a series of heavy B15 concrete samples with varying graphite content: 0%, 33%, 50%, 66%, and 100%. The third stage involved compressive strength testing of the samples while saturated with water. Finally, the electrical and thermal characteristics of the graphite-containing samples were evaluated. Analysis showed that increasing graphite content improves electrical conductivity, enabling electrical heating of the concrete. However, increased graphite content also reduces compressive strength. The practical significance of this work lies in the development of electrically conductive concrete mixes that meet specified strength requirements.

Keywords: electrically conductive concrete, cement concrete, road construction, powdered graphite, strength, thermal conductivity

For citation: 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>



1. Введение

В последнее время наука работает над улучшением свойств строительных материалов с содержанием цемента. Одним из таких материалов является дорожный цементогрунт. Исследовательские работы, описанные в [1, 2], направлены на поиск способов повышения долговечности дорожного цементогрунта за счет применения различных модифицирующих добавок. Другим наиболее распространенным материалом, применяемым в строительстве, является цементобетон. Цементобетон – строительный материал, состоящий из смеси щебня, песка, цемента и воды, подобранных в оптимальном соотношении, а также различных добавок, улучшающих его свойства. Данный материал нашел применение во многих областях, в частности, в дорожном, гражданском, гидротехническом и промышленном строительстве.

Несмотря на то, что цементобетон применяется уже более 200 лет, до сих пор ученые-материаловеды работают над улучшением его свойств, таких как прочность, долговечность, теплопроводность, пожаростойкость и других. Исследуется возможность применения техногенных отходов промышленности для производства композиционных вяжущих [3, 4]. Активно изучается вопрос применения модифицирующих добавок, влияющих на сроки схватывания [5], реологические и физико-технические свойства [6].

Относительно новым направлением является изучение способов изменения свойств цементобетона, позволяющих придать ему электропроводящие свойства и способность нагреваться за счет сопротивления электрическому току.

Получение электропроводящего бетона (ЭПБ) – одно из перспективных направлений улучшения характеристик цементобетона. Опубликовано немало работ, целью которых являлся анализ составов электропроводящего бетона, сравнение его с традиционными бетонами [7, 8]. Ведутся прикладные исследования, авторы рассматривают возможность конкретного применения электропроводящих бетонов в дорожной инфраструктуре для устройства тротуаров и дорожного освещения [9, 10]. Проводятся лабораторные исследования электропроводящего бетона, направленные на оценку электрических свойств [11, 12]. Изучаются различные добавки, в том числе комплексные, позволяющие получить электропроводящий бетон [13, 14]. В качестве наиболее распространенной добавки, влияющей на электропроводящие свойства, исследователи применяют углеродосодержащие материалы (технический углерод, графит) [15, 16]. Отдельно стоит отметить один из самых перспективных наноматериалов – графен, имеющий пока высокую себестоимость, но позволяющий получить сверх-

прочные тонкослойные покрытия [17]. Вопросами ЭПБ занимались и зарубежные исследователи, которые в качестве добавок использовали углеродное и стальное волокно [18], волокно из углеродистой стали [19], углеродные нанотрубки для придания композитным материалам электропроводящих свойств [20]. Проведены исследования, посвященные вопросам технологии приготовления ЭПБ [21], в рамках работы рассмотрены особенности перемешивания компонентов при приготовлении цементобетонной смеси. Перспективность исследований в области придания теплопроводных свойств материалам, получения самонагреваемых конструкций подтверждается интересом ученых-материаловедов не только к цементобетонам, но и к асфальтобетонам [22].

Результатом проведения патентного поиска является способ получения электропроводящего бетона с широким диапазоном величин удельного сопротивления (патент RU 2291130¹). В патенте представлены результаты механических и электрических испытаний образцов. Выявлена зависимость, показывающая, что при увеличении количества порошкообразного графита уменьшаются конструкционные свойства бетона. Однако неясно, каким образом получены пропорции соотношения масс компонентов в смеси для приготовления образцов и какие прочностные показатели получены при испытаниях, какое влияние оказала добавка.

Несмотря на активное изучение вопроса получения ЭПБ и достигнутые результаты, направление является перспективным, требующим более глубокого исследования, выявления недостатков и разработки путей решения. Получение ЭПБ, отвечающего всем требованиям, имеет огромные перспективы применения. Наиболее явной областью применения являются объекты транспортной инфраструктуры: проезжие части улиц, дорог, мостов, пешеходные переходы, тротуары, взлетно-посадочные полосы аэропортов и т. д. Применение ЭПБ на указанных объектах выведет на совершенно новый уровень мероприятия по борьбе со скользкостью, позволит предотвратить появление гололеда на дорожных покрытиях, повысить безопасность, снизить аварийность, сохранить жизни участникам дорожного движения. Особенно это актуально для районов с частыми гололедными явлениями. Есть и примеры применения ЭПБ на реальных объектах. В городе Линкольн (штат Небраска, США) построен первый в мире мост через реку Солт-Крик с использованием токопроводящего бетона для борьбы с гололедом. Многолетние наблюдения за сооружением показывают эффективность работы конструкции [23]. Несмотря на опыт применения ЭПБ, материал не нашел широкого применения по ряду причин, основной из которых, по мнению авторов, является высокая стоимость электропроводящих добавок и отсутствие готовых конструктивных и технологических решений, а также отсутствие методологии определения электропроводности бетонных конструкций [24].

В связи с этим целью, поставленной авторами, явилось получение цементобетона, обладающего электропроводящими свойствами, обеспечивающими его нагрев при прохождении электрического тока за счет применения углеродосодержащей добавки, и оценка влияния содержания добавки на прочностные свойства.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Произведен сбор и анализ информации о представленных на рынке углеродосодержащих материалах, придающих цементобетону электропроводящие свойства. Изготовлена серия образцов цементобетона без графита и четыре серии образцов цементобетона с различным содержанием порошкообразного графита с полной либо частичной заменой мелкого заполнителя – песка.

¹ Патент RU 2291130 C1, МПК C04B 28/04, C04B 111/94. Способ получения электропроводящего бетона: № 2005118294/03: заявл. 2005.06.14: опубл. 2007.01.10 / Петров Ю. С., Киргуев А. Т., Соколов А. А. Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002291130_20070110_C1_RU/ (дата обращения: 05.08.2024).

2. Проведена оценка электропроводящих свойств образцов путем пропускания электрического тока с фиксацией силы тока, напряжения и температуры нагрева образцов.
3. Выполнено испытание водонасыщенных образцов всех серий на прочность, определена прочность образцов на сжатие.

2. Материалы и методы

В роли углеродосодержащего материала в цементобетонной смеси был выбран природный порошкообразный графит. Выбор был обусловлен стоимостью и доступностью на рынке.

Порошкообразный графит – мелкодисперсный материал, не обладающий активностью, с низким коэффициентом теплового расширения и высоким уровнем устойчивости к температурным напряжениям. Он содержит в составе малое количество азота по причине термообработки при высоких температурах.

На предварительном этапе лабораторных исследований решался вопрос о дозировке графита. Так как насыпная плотность графита более чем в 5 раз меньше насыпной плотности песка, варьирование в большом массовом соотношении приводило к существенному нарушению гранулометрического состава цементобетонной смеси. В связи с этим было принято решение о применении графита в процентах от мелкого заполнителя (песка), частично либо полностью заменяя его в смеси.

Основной этап лабораторного эксперимента проводился в четыре этапа.

Изначально были проведены испытания исходных материалов с целью определить физико-механические характеристики в соответствии с действующими нормативными документами.

На первом этапе проводилось проектирование составов цементобетона на основании руководства по подбору составов тяжелого бетона с использованием общедоступных калькуляторов расчета. В качестве основополагающего класса бетона по прочности был принят класс бетона В15, чаще всего применяемый в разных областях строительства.

С учетом запроектированного состава цементобетонной смеси были сформированы составы с применением графита.

На втором этапе были изготовлены пять серий образцов кубической формы из цементобетонной смеси для тяжелого бетона класса В15 с различным содержанием графита, а именно: 0 % (контрольные образцы), 33 % (соотношение графита и песка 1:2); 50 % (соотношение графита и песка 1:1); 66 % (соотношение графита и песка 2:1); 100 % (полная замена песка графитом).

Набор прочности продолжительностью 72 часа осуществлялся в пропарочной камере при температуре 60 °С.

После набора прочности цементобетонных образцов, на третьем этапе, проводились испытания на прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии в соответствии с действующими нормативными документами.

Заключительный, четвертый, этап включал в себя оценку электропроводящих характеристик и нагрева цементобетонных образцов с содержанием графита. Для этого была собрана электрическая цепь, включающая в себя последовательно соединенные источник тока, электроды, между которыми закрепляются образцы ЭПБ, и приборы для измерения основных электрических характеристик (рис. 1, 2).

При проведении испытаний фиксировались величины силы тока и напряжения в цепи. По известным зависимостям определялось сопротивление.

3. Результаты и обсуждение

Данные, полученные при испытании цементобетонных образцов на прочность, представлены в виде графика зависимости прочности образцов от содержания графита в смеси (рис. 3).

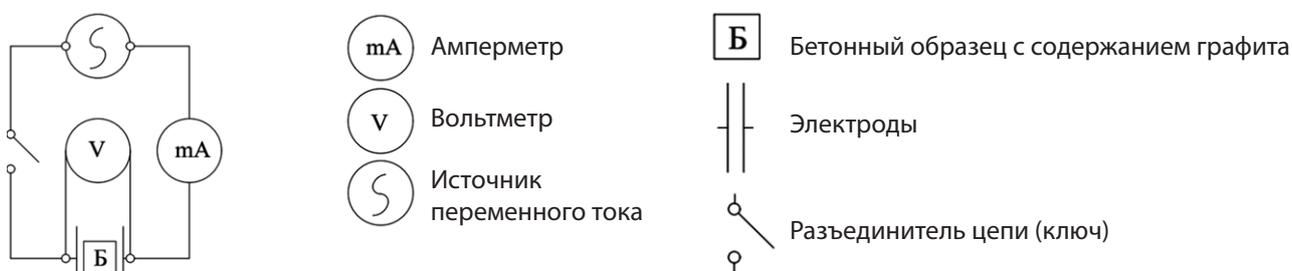


Рис. 1. Электрическая схема для оценки электропроводящих характеристик
Fig. 1. Electrical circuit for evaluating conductivity

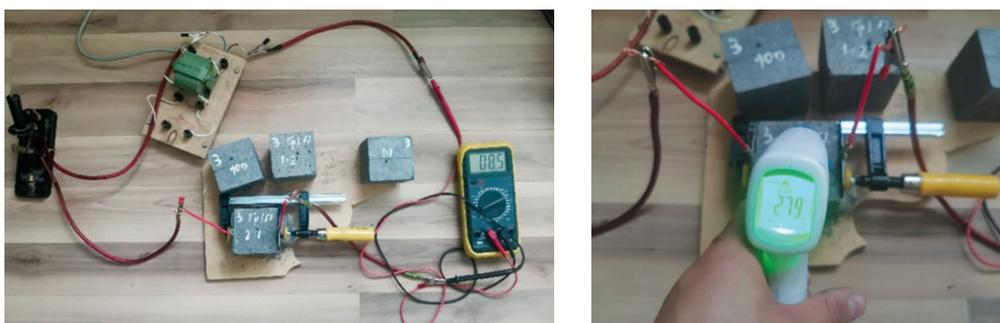


Рис. 2. Собранная электрическая цепь и определение температуры нагрева бетонных образцов (фото авторов)

Fig. 2. The assembled electrical circuit and measurement of concrete sample heating temperature (author's photo)



Рис. 3. Результаты испытания опытных бетонных образцов на прочность при сжатии с различным содержанием графита (график составлен авторами)
Fig. 3. Results of compressive strength testing of experimental concrete samples with different graphite contents (graph prepared by the authors)

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что наличие графита снижает прочностные характеристики цементобетона. При полной замене песка графитом прочность образцов сократилась более чем в 5 раз. Это обусловлено характеристиками графита, а именно его низким коэффициентом трения. При добавлении графита в смесь увеличивается площадь контакта между частицами и снижается сопротивление трению. Также стоит отметить разницу в гидрофильности графита и цемента, результатом которой явилось снижение сцепления частиц материалов между собой.

Результаты испытания образцов на прочность подтверждают жизнеспособность методики подбора состава тяжелого бетона с применением графита. Для получения требуемой прочности бетона необходимо корректировать зерновой состав цементобетонной смеси, увеличивать количество цемента с учетом внесения дополнительной добавки.

В рамках проведения четвертого этапа лабораторных исследований получены зависимости между содержанием графита в цементобетоне и его электрическими характеристиками.

Анализируя полученные данные, представленные на рис. 4, видно, что при увеличении содержания графита в цементобетоне увеличивается электрическое сопротивление. При этом полученный график позволяет говорить о двух характерных участках: при дозировке графита до 50 % от массы песка зависимость слабовыраженная; при дозировке графита более 50 % от массы песка зависимость носит резко изменяющийся характер. При полной замене песка на графит сопротивление составило 244.4 кОм.

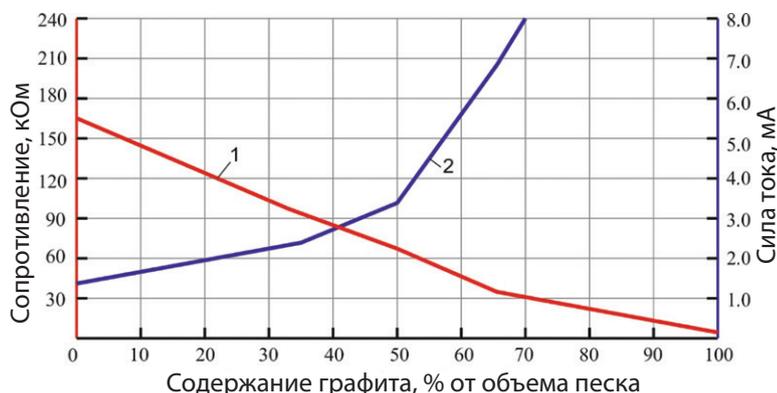


Рис. 4. Результаты определения электропроводящих характеристик опытных бетонных с различным содержанием графита
1 – Сила тока, мА; 2 – Сопротивление, кОм (график составлен авторами)
Fig. 4. Results of the conductivity characteristics determination of experimental concrete samples with varying graphite content: 1 – Current, mA; 2 – Resistance, k Ω (graph prepared by the authors)

При прохождении электрического тока через исследуемый образец происходил нагрев, фиксируемый пирометром. Максимальное время нагрева образца составляло 1 час, что обуславливалось его теплоемкостью. Образцы без графита при пропускании через них электрического тока не нагревались.

Испытания проводились при комнатной температуре ($T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Результаты проведения испытаний представлены на рис. 5 в виде зависимости температуры образца от времени нагрева.

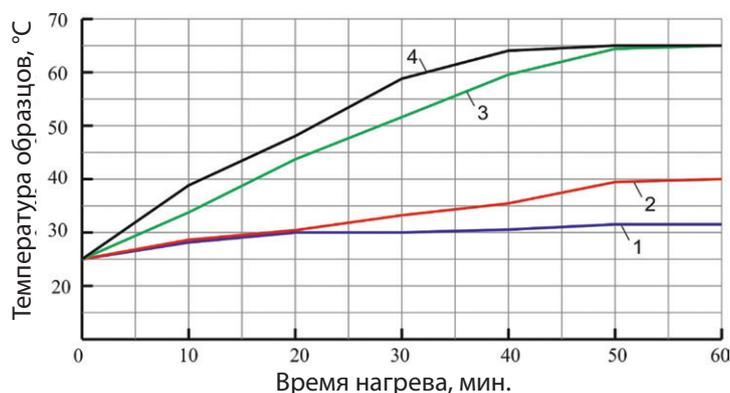


Рис. 5. Результаты нагрева цементобетона класса В15 с различным содержанием графита: 1 – 33%; 2 – 50%; 3 – 66%; 4 – 100% (график составлен авторами)
Fig. 5. Heating results for B15 concrete with varying graphite content: 1 – 33%; 2 – 50%; 3 – 66%; 4 – 100% (graph prepared by the authors)

Анализируя графики, следует отметить, что время нагрева и температура цементобетонных образцов зависят от количества графита в составе цементобетонной смеси.

Изменение температуры образца (ΔT , $^{\circ}\text{C}$) при содержании графита в смеси 33 % от массы песка составило 6.2 $^{\circ}\text{C}$, при содержании графита 50 % – 15.2 $^{\circ}\text{C}$, при содержании графита 66 и 100 % – 40.0 $^{\circ}\text{C}$. При этом скорость нагрева образцов практически не зависит от содержания графита в смеси. Время нагрева образцов до максимальной температуры при всех содержаниях графита составило около 50 минут.

Выявленные закономерности объясняются тем, что при перемешивании графитового порошка и минерального вяжущего с последующей гидратацией происходит заполнение пор бетонной

смеси микрочастицами, что повышает сцепные свойства обоих компонентов. При увеличении количества графита в смеси его частицы образуют объемную сеть, снижающую сопротивление и повышающую теплопроводность материала в целом.

Анализируя данные лабораторных испытаний цементобетонных образцов с добавками графита, можно констатировать положительное влияние графита на электропроводящие свойства, позволяющие при прохождении электрического тока через бетон увеличивать его температуру, при этом чем больше графита в цементобетоне, тем более интенсивный нагрев. Но вместе с тем наличие графита в цементобетоне снижает прочность, переводя его в более низкий класс. Так, при содержании графита 33 % от массы песка класс цементобетона снижается до В10, при 50 % графита – до В7.5, при 66 и 100 % графита класс цементобетона ниже В7.5 (рис. 6).

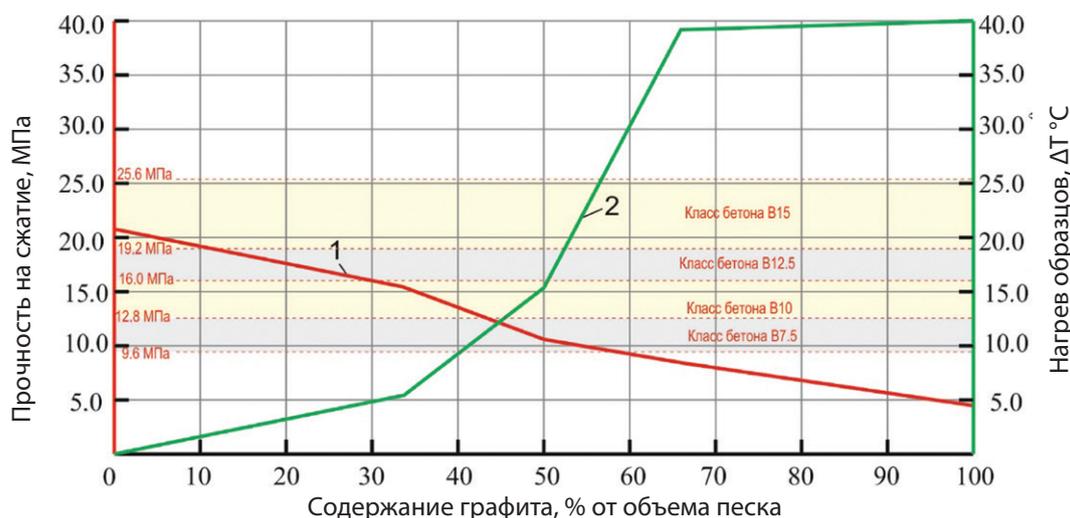


Рис. 6. Зависимость прочности на сжатие и температуры нагрева от содержания графита в бетонных образцах:

1 – прочность на сжатие опытных бетонных образцов, МПа;
2 – изменение температуры опытных бетонных образцов, ΔT , °C (график составлен авторами)

Fig. 6. Relationship between compressive strength and heating temperature as a function of graphite content in concrete samples:

1 – Compressive strength of experimental concrete samples (MPa);
2 – Change in temperature of experimental concrete samples (ΔT , °C) (graph prepared by the authors)

4. Заключение

Результаты экспериментальных исследований цементобетонных образцов с различным содержанием графита в лабораторных условиях позволяют сформировать следующие выводы:

1. Наличие графита в цементобетоне придает ему электропроводящие свойства, способствующие нагреву материала при прохождении электрического тока. При этом чем больше графита в смеси, тем интенсивнее происходит нагрев цементобетона:

- образцы, в качестве мелкого заполнителя в которых применялся графит, увеличили температуру на 40 °C за 45 минут;
- образцы, содержащие в качестве мелкого заполнителя смесь песок – графит в соотношении 1:2, увеличили температуру на 40 °C за 55 минут;
- образцы, содержащие в качестве мелкого заполнителя смесь песок – графит в соотношении 1:1, увеличили температуру на 15 °C за 50 минут;
- образцы, содержащие в качестве мелкого заполнителя смесь песок – графит в соотношении 2:1, увеличили температуру на 6 °C за 50 минут;

- образцы без графита при пропускании через них электрического тока не нагревались.
- 2. Наличие графита в цементобетоне привело к снижению прочности материала:
- средняя прочность серии образцов без графита составила 21.2 МПа, что соответствует классу бетона В15;
- средняя прочность серии образцов с соотношением песка и графита 2:1 составила 15.7 МПа, что соответствует классу бетона В10;
- средняя прочность серии образцов с соотношением песка и графита 1:1 составила 10.8 МПа, что соответствует классу бетона В7.5;
- средняя прочность серии образцов с соотношением песка и графита 1:2 составила 8.1 МПа, материал имеет прочность, не достаточную для присвоения класса;
- средняя прочность серии образцов с графитом, заменяющим песок, составила 4.8 МПа, материал имеет прочность, не достаточную для присвоения класса.

Таким образом, с учетом полученных данных можно сделать вывод, что применение графита в цементобетоне придает материалу электрические свойства, способствующие самонагреву при пропуске электрического тока, вместе с тем наличие графита в цементобетоне снижает его прочность. Зависимость между нагревом и прочностью при разном содержании графита обратно пропорциональная. Несмотря на недостатки применения графита, его использование для получения самонагреваемого цементобетона перспективно, но требует продолжения исследований, направленных на оптимизацию составов смесей, оценку экономической эффективности применения, разработку конструктивных и технологических решений, позволяющих применять материал на объектах.



Вклад авторов. Куюков С. А. – научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; итоговые выводы. Третьяков П. Ю. – разработка программы лабораторных исследований, руководство лабораторными исследованиями по оценке электропроводности. Тестешев А. А. – изучение состояния вопроса, развитие методологии. Замятин А. В. – разработка программы лабораторных исследований, руководство лабораторными исследованиями по оценке прочностных характеристик. Жигайлов А. А. – изучение состояния вопроса, доработка текста.

Author contributions. Sergey A. Kuyukov provided scientific guidance; developed the research concept and methodology; wrote the source text; formulated the final results. Peter U. Tretyakov developed the laboratory research program; supervised the laboratory research on conductivity assessment. Alexander A. Teteshev studied the issue; contributed to the development of the methodology. Alexey V. Zamyatin developed the laboratory research program; supervised the laboratory research on strength characteristic assessment. Alexander A. Zhigaylov conducted a literature review; refined the text.

Конфликт интересов. Авторы сообщают об отсутствии коммерческой заинтересованности в каком-либо продукте или концепции, обсуждаемых в этой статье.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest regarding any product or concept discussed in this article.

Список литературы

1. Санников С. П., Куюков С. А., Жигайлов А. А. Оценка комплексного влияния нагрузки при уплотнении и материала «Типром У» на свойства цементогрунта. В сб.: *Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016. Т. I*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2016. С. 144–149.
2. Sannikov S., Kuyukov S., Zamyatin A., Zhigailov A. The appliance of prefabricated soil-cement slabs processed with a hydrophobizing material for the road construction. In: *MATEC Web of Conferences: XXVII R-S-P Seminar 2018, Theoretical Foundation of Civil Engineering*. 2018;196:04026. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201819604026>
3. Aimenov Zh. T., Aimenov A. Z., Erofeev V. T., Sabitov L. S., Sanyagina Ya. A. The effect of modifying additives on the performance properties of slag-alkali binders and concretes. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2024;20(1):162–170. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2024-20-1-162-170>

4. Рябчевский И. С. Производство ячеистых бетонов с использованием летучей золы. В сб.: *VI Международный студенческий строительный форум – 2021. Белгород, 26 ноября 2021 года. Т. 2.* Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова; 2021. С. 175–178.
5. Altynbekova A. D., Lukranov R. E., Dyusseminov D. S., Tokanov D. T., Orazova D. K. Influence research of modified additives on concrete properties. *Труды университета.* 2023;(4):188–194. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2023_4_188.
6. Uteпов Ye. B., Akhmetov D. A., Akhmatshaeва I. T., Root Ye. N. Study of the influence of fine fillers from technogenic waste and chemical additives on the properties of self-compacting concrete. *Комплексное использование минерального сырья.* 2019;(4):64–73. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.39>
7. Fediuk R. S., Stoyushko N. Yu., Gladkova N. A., Garmashov I. S., Batarshin V. O. Research on electrically conductive concrete. В сб.: *Третий междисциплинарный молодежный научный форум с международным участием «Новые материалы», Москва, 21–24 ноября 2017 г.* Москва: Буки Веди, 2017. С. 654–657. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34983326>.
8. Агунов А. В., Терехин И. А., Баранов И. А. Анализ применения электропроводящих бетонов электроэнергетике. *Транспортные системы и технологии.* 2021;7(2):5–15. <https://doi.org/10.17816/transsyst2021725-15>
9. Иванова Т. А., Колесникова Л. Г., Петрова Т. М. Электропроводящий бетон для тротуаров и пешеходных дорожек. *Вестник гражданских инженеров.* 2021;(6):96–104. <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2021-18-6-96-104>
10. Шишкин Н. О., Углонова А. Е., Зорина О. А. Применение электропроводящего бетона в освещении дорожного покрытия. В сб.: *Молодые – Научкам о Земле: Тезисы докладов X Международной конференции молодых ученых. Москва, 31 марта – 01 апреля 2022 г. В 7-ми томах. Том 7.* Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе. 2022;7:280–283.
11. Подъяпольская Е. Ю., Дмитриев С. М., Долженков В. А. Разработка состава электропроводящего цементобетона и анализ методов его применения в дорожной отрасли. *Автомобиль. Дорога. Инфраструктура.* 2020;(2):7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43921411>.
12. Урханова Л. А., Урханова А. А., Лхасаранов С. А., Смирнягина Н. Н. Исследование электропроводящих свойств бетона. В сб.: *Строительное материаловедение: Настоящее и будущее: Сборник материалов I Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию выдающегося ученого-материаловеда, академика РААСН Ю. М. Баженова, Москва, 01–02 октября 2020 г.* Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; 2020. С. 279–281.
13. Василюк Ю. И. Разработка состава и возможности применения электропроводящего бетона. В сб.: *Серия «Строительство»: Сборник статей магистрантов и аспирантов. В 2-х томах. Т. 2. Выпуск 3.* Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет; 2020. С. 247–256.
14. Денисюк И. Ю., Успенская М. В., Фокина М. И., Логушкова К. Ю. Электропроводящая композиция бетона. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики.* 2018;18(1):158–162. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2018-18-1-158-162>
15. Ибрагимова Д. Ф. Исследование свойств бетона с добавкой технического углерода. *Молодой ученый.* 2023;(19):96–99. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/466/102408/>.
16. Фанина Е. А., Лопанов А. Н. Электропроводность и агрегация частиц антрацита и графита в бетонах. *Химия твердого топлива.* 2009;(1):46–50. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11685406>.
17. Гойсис М. Графен: новые возможности для бетона. *Цемент и его применение.* 2020;(1):108–115. Режим доступа: <https://jcement.ru/magazine/vypusk-1-2020/grafen-novye-vozmozhnosti-dlya-betona/>.
18. Xie P., Gu P., Beaudoin J. J. Electrical percolation phenomena in cement composites containing conductive fibres. *Journal of Materials Science.* 1996;31(15):4093–4097. <https://doi.org/10.1007/bf00352673>
19. Bai Y. H., Tu R., Chen W., Chen B. Research on electrically conductive concrete with double-layered stainless steel fibers for pavement deicing. *ACI Materials Journal.* 2017;114(6):935–943. <https://doi.org/10.14359/51700993>
20. Yoo D.-Y., You I., Lee S.-J. Electrical properties of cement-based composites with carbon nanotubes, graphene, and graphite nanofibers. *Sensors.* 2017;17(5):1064–1076. <https://doi.org/10.3390/s17051064>
21. Rahman Md. L., Malakooti A., Ceylan H., Kim S., Taylor P. C. Identifying the best mixing procedure practice for ready-mix concrete plant production of carbon fibre reinforced electrically conductive concrete. *International Journal of Pavement Engineering.* 2023;24(1). <https://doi.org/10.1080/10298436.2023.2225119>
22. Notani M. A., Arabzadeh A., Ceylan H., Gopalakrishnan K., Kim S. Effect of carbon-fiber properties on volumetrics and ohmic heating of electrically conductive asphalt concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering.* 2019;31(9):04019200. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002868](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002868)
23. Yehia Sh., Tuan C. Y. Thin conductive concrete overlay for bridge deck deicing and anti-icing. *Transportation Research Record.* 2000;1698(1):45–53. <https://doi.org/10.3141/1698-07>

24. Rybin P. K., Terekhin I. A., Baranov I. A. Methodology for the experimental evaluation of the conductive properties of concrete structures for sustainable transport development. *Transportation Research Procedia*. 2023;68:688–693. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.095>

References

1. Sannikov S. P., Kuyukov S. A., Zhigailov A. A. Evaluation of the combined influence of compaction load and "Tiprom U" material on the properties of soil cement. In: *Topical issues in architecture, construction, energy efficiency, and ecology – 2016. Vol. 1*. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2016. P. 144–149. (In Russ.)
2. Sannikov S., Kuyukov S., Zamyatin A., Zhigailov A. The appliance of prefabricated soil-cement slabs processed with a hydrophobizing material for the road construction. In: *MATEC Web of Conferences: XXVII R-S-P Seminar 2018, Theoretical Foundation of Civil Engineering*. 2018;196:04026. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819604026>
3. Aimenov Zh. T., Aimenov A. Z., Erofeev V. T., Sabitov L. S., Sanyagina Ya. A. The effect of modifying additives on the performance properties of slag-alkali binders and concretes. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2024;20(1):162–170. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2024-20-1-162-170>
4. Ryabchevsky I. S. Production of Cellular Concretes Using Fly Ash. In: *The 6th International Student Construction Forum – 2021. Vol. 2*. Belgorod: Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov; 2021. P. 175–178. (In Russ.)
5. Altynbekova A. D., Lukpanov R. E., Dyusseminov D. S., Tokanov D. T., Orazova D. K. Influence research of modified additives on concrete properties. *Trudy universiteta*. 2023;(4):188–194. https://doi.org/10.52209/1609-1825_2023_4_188.
6. Utepov Ye. B., Akhmetov D. A., Akhmatshaeva I. T., Root Ye. N. Study of the influence of fine fillers from technogenic waste and chemical additives on the properties of self-compacting concrete. *Complex Use of Mineral Resources*. 2019;(4):64–73. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.39>.
7. Fediuk R. S., Stoyushko N. Yu., Gladkova N. A., Garmashov I. S., Batarshin V. O. Research on electrically conductive concrete. In: *The 3rd Interdisciplinary Youth Scientific Forum with International Participation "New Materials", Moscow, 21–24 November, 2017*. Moscow: Buki Vedi; 2017. P. 654–657. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34983326>.
8. Agunov A. V., Terekhin I. A., Baranov. I. A. Analysis of the application of electric conducting concrete in the power industry. *Transportation Systems and Technology*. 2021;7(2):5–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/transsyst2021725-15>
9. Ivanova T. A., Kolesnikova L. G., Petrova T. M. Electrically conductive concrete for sidewalks and pedestrian paths. *Bulletin of Civil Engineers*. 2021;(6):96–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2021-18-6-96-104>
10. Shishkin N. O., Uglanova A. E., Zorina O. A. Application of conductive concrete in road surface lighting. In: *Youth to Earth sciences: Abstracts from the 10th International conference for young researchers. Moscow, 31 March – 01 April 2022. In seven volumes. Vol. 7*. Moscow: Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 2022;7:280–283. (In Russ.)
11. Podiapolskaya E. Yu., Dmitriev S. M., Dolzhenkov V. A. Electroconductive cement concrete composite development and its application in the road industry. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2020;(2):7. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43921411>.
12. Urkhanova L. A., Urkhanova A. A., Lkhasaranov S. A., Smirnyagina N. N. Study of the electrical conductivity of concrete. In: *Construction materials science: Present and future: Proceedings of the 1st all-Russian scientific conference in honor of the 90th anniversary of academician Yu. M. Bazhenov, Moscow, 01–02 October 2020*. Moscow: Moscow State University of Civil Engineering; 2020. P. 279–281. (In Russ.)
13. Vasilyuk Yu. I. Development of composition and applications for conductive concrete. In: *Construction Series: A collection of articles by graduate and postgraduate students. In 2 volumes. Vol. 2. Issue 3*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 2020. P. 247–256. (In Russ.)
14. Denisuk I. Yu., Uspenskaya M. V., Fokina M. I., Logushkova K. Yu. Conductive concrete composition. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2018;18(1):158–162. (In Russ.) <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2018-18-1-158-162>
15. Ibragimova D. F. Investigation of concrete properties with the addition of technical carbon. *Molodoy ucheny*. 2023;(19):96–99. Available at: <https://moluch.ru/archive/466/102408/>.
16. Fanina E. A., Lopanov A. N. Electric conductivity and aggregation of anthracite and graphite particles in concretes. *Solid Fuel Chemistry*. 2009;43(1):38–42. <https://doi.org/10.3103/S0361521909010091>
17. Goisis M. Graphene: an opportunity for concrete. *Journal Cement and Its Applications*. 2020;(1):108–115. (In Russ.) Available at: <https://jcement.ru/magazine/vypusk-1-2020/grafen-novye-vozmozhnosti-dlya-betona/>.

18. Xie P., Gu P., Beaudoin J. J. Electrical percolation phenomena in cement composites containing conductive fibres. *Journal of Materials Science*. 1996;31(15):4093–4097. <https://doi.org/10.1007/bf00352673>
19. Bai Y. H., Tu R., Chen W., Chen B. Research on electrically conductive concrete with double-layered stainless steel fibers for pavement deicing. *ACI Materials Journal*. 2017;114(6):935–943. <https://doi.org/10.14359/51700993>
20. Yoo D.-Y., You I., Lee S.-J. Electrical properties of cement-based composites with carbon nanotubes, graphene, and graphite nanofibers. *Sensors*. 2017;17(5):1064–1076. <https://doi.org/10.3390/s17051064>
21. Rahman Md. L., Malakooti A., Ceylan H., Kim S., Taylor P. C. Identifying the best mixing procedure practice for ready-mix concrete plant production of carbon fibre reinforced electrically conductive concrete. *International Journal of Pavement Engineering*. 2023;24(1). <https://doi.org/10.1080/10298436.2023.2225119>
22. Notani M. A., Arabzadeh A., Ceylan H., Gopalakrishnan K., Kim S. Effect of carbon-fiber properties on volumetrics and ohmic heating of electrically conductive asphalt concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2019;31(9):04019200. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002868](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002868)
23. Yehia Sh., Tuan C. Y. Thin conductive concrete overlay for bridge deck deicing and anti-icing. *Transportation Research Record*. 2000;1698(1):45–53. <https://doi.org/10.3141/1698-07>
24. Rybin P. K., Terekhin I. A., Baranov I. A. Methodology for the experimental evaluation of the conductive properties of concrete structures for sustainable transport development. *Transportation Research Procedia*. 2023;68:688–693. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.095>



Информация об авторах

Куюков Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, kujukovsa@tyuiu.ru
Третьяков Петр Юрьевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой физики и приборостроения, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, tretjakovpj@tyuiu.ru
Тестешев Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, testeshevaa@tyuiu.ru

Замятин Алексей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, zamjatinav@tyuiu.ru

Жигайлов Александр Александрович, старший преподаватель кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, zhigajlovaa@tyuiu.ru

Information about the authors

Sergey A. Kuyukov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Roads and Airfields, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, kujukovsa@tyuiu.ru

Peter U. Tretyakov, Cand. Sci. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Head of the Department of Physics and Instrument Engineering, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, tretjakovpj@tyuiu.ru

Alexander A. Testeshev, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Roads and Airfields, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, testeshevaa@tyuiu.ru

Alexey V. Zamyatin, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor in the Department of Roads and Airfields, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, zamjatinav@tyuiu.ru

Alexander A. Zhigailov, Senior Lecturer in the Department of Roads and Airfields, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, zhigajlovaa@tyuiu.ru

Получена 25 сентября 2024 г., одобрена 30 октября 2024 г., принята к публикации 03 декабря 2024 г.
Received 25 September 2024, Approved 30 October 2024, Accepted for publication 03 December 2024



Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов в условиях холодных районов с использованием цифрового двойника автотранспортного предприятия

А. Н. Борисенко ✉

Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета, Абакан, ул. Щетинкина, 27, 655017, Российская Федерация

✉ aiah@mail.ru



Аннотация. Рассмотрена проблема увеличения числа отказов, простоев, затрат на техническое обслуживание и ремонт карьерных автосамосвалов БелАЗ серий 7513 и 7530, которые эксплуатируются на угольных разрезах в экстремальных климатических условиях Республики Хакасия. Проведена оценка удельных фактических простоев автомобилей БелАЗ серий 7513 и 7530 во время ремонта и техобслуживания. Значения варьируются от 3 до 60 часов на 100 мото-часов работы автосамосвала при нормативе для холодного климата Хакасии в 14–15 часов. Предложен метод температурной корректировки периодичности технического обслуживания в зимний период с целью сокращения периодичности плановых техосмотров и уменьшения объема внеплановых ремонтных работ. Предложен порядок совершенствования системы техобслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов БелАЗ в условиях холодного климата с учетом возраста автомобилей, низких температур и анализа надежности конструкции. В целях совершенствования системы технического обслуживания и ремонта автосамосвалов предложено внедрить в работу цифровой двойник автотранспортного предприятия. Он позволит применить индивидуальный подход к планированию технического обслуживания карьерных автосамосвалов с корректировкой периодичности всех видов технических обслуживаний при отрицательных температурах воздуха, внедрить перечень дополнительных операций, приуроченных к плановым, что приведет к уменьшению числа внеплановых ремонтов и линейных отказов.

Ключевые слова: система технического обслуживания и ремонта, карьерные автосамосвалы, технология цифрового двойника, удельное время простоя, дополнительные операции технического обслуживания, температурная корректировка периодичности технического обслуживания

Для цитирования: 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>

Enhancement of the maintenance and repair system for haul trucks in cold regions using a digital twin of the transportation enterprise

Alexander N. Borisenko ✉

Khakas Technical Institute – Branch of the Siberian Federal University, Abakan, 27 Shchetinkina St., 655017, Russian Federation

✉ aiah@mail.ru



Abstract. This study addresses the increasing number of failures, downtime, and maintenance and repair costs associated with BelAZ 7513 and 7530 series haul trucks operating in the extreme climatic conditions of Khakassia's coal mines. An assessment of the actual specific downtime for these trucks during repair and maintenance reveals values ranging from 3 to 60 hours per 100 operating hours, significantly exceeding the 14-15-hour standard for Khakassia's cold climate. A method of temperature correction for maintenance frequency during winter was proposed to reduce scheduled maintenance frequency and the volume of unscheduled repairs. This study further proposes improvements to the maintenance and repair system for BelAZ haul trucks in cold climates, considering truck age, low temperatures, and a reliability analysis of the truck design. To optimize this system, the implementation of a digital twin for the transportation enterprise was suggested. This digital twin will enable individualized maintenance scheduling for each haul truck, adjusting the frequency of all maintenance procedures based on negative air temperatures. The digital twin will also facilitate the integration of additional maintenance list into the scheduled maintenance plan, thereby minimizing unscheduled repairs and equipment failures.

Keywords: maintenance and repair system, haul trucks, digital twin technology, downtime, additional maintenance procedures, temperature correction for maintenance frequency

For citation: 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>



1. Введение

Количество отказов, простоев и затрат при эксплуатации автомобилей увеличивается в холодное время года. Особенно это заметно при эксплуатации большегрузных карьерных автосамосвалов.

В зимний период в Южно-Якутском регионе почти в 6 раз увеличивается поток отказов автосамосвалов, что приводит к значительному увеличению простоев, которые составляют до 50 % календарного времени [1], при эксплуатационных затратах, значительно превышающих аналогичные расходы в районах России с умеренным климатом. Предлагается в условиях Севера независимо от времени года уменьшить периодичность технического обслуживания (ТО) примерно на 10 %, увеличить трудоемкость ТО и регламентированных ремонтов до 15 %. Норматив трудоемкости текущего ремонта (ТР) предлагается увеличить до 66.1 человеко-часов на 100 мото-часов, это означает, что объем внепланового ремонта и линейных отказов предполагается значительным. По нашему мнению, при планировании ТО, планово-предупредительных ремонтов (ППР) в северных и других холодных регионах необходимо учитывать время года и корректировать нормативы при отрицательных температурах воздуха.

В работе [2] приведены результаты исследований надежности автосамосвалов БелАЗ в Кузбассе – холодном климатическом районе. Делается вывод о необходимости организации ТО по фактическому состоянию, то есть когда накоплена база данных параметров технического состояния машин. Для обработки большого количества данных рекомендовано использовать искусственный интеллект.

В ряде зарубежных статей приводятся различные методы и результаты анализа надежности автосамосвалов и другой карьерной техники [3–5]. Авторы отмечают, что система ТО и ремонта должна разрабатываться индивидуально для каждого автомобиля, зависеть от возраста автосамосвалов и формироваться на основании потока отказов и параметров технического состояния автосамосвалов.

Известен зарубежный опыт применения в транспортной сфере систем поддержки принятия решений (СППР) по корректированию периодичности технического обслуживания самолетов на основе поступающей в реальном времени информации от бортовых датчиков [6].

Транспортная стратегия РФ до 2030 г. указывает на необходимость внедрения информационных технологий на автомобильном транспорте. Одним из средств реализации стратегии являются

автоматизированные СППР, помогающие в принятии решений в условиях неопределенности и большого количества исходных данных. В работе [7] рассмотрены уже существующие и хорошо зарекомендовавшие себя СППР на автомобильном транспорте. Например, цифровой двойник автотранспортного предприятия.

В общем понимании цифровой двойник – это виртуальное представление производственной системы. Он может работать на различных моделях и синхронизируется с реальной системой благодаря подключенным интеллектуальным устройствам, математическим моделям и обработке данных в реальном времени.

Зарубежные авторы [8] предлагают классифицировать цифровые двойники на категории в зависимости от уровня интеграции данных. Одной из категорий является «Техническое обслуживание машин». В задачи таких цифровых двойников входит:

- определять влияние изменений состояний машин на общие процессы системы в целом;
- определять и оценивать меры упреждающего обслуживания машин;
- использовать описательные методы и алгоритмы машинного обучения для оценивания состояния машин;
- интегрировать, анализировать и обрабатывать данные, полученные на разных этапах жизненного цикла машины, для достижения большей прозрачности «состояния здоровья» машины и т. п.

На крупных добывающих предприятиях, как правило, уже применяются информационные системы, обновляемые базы данных, которые можно использовать для создания цифрового двойника предприятия. В статье приведен один из возможных алгоритмов совершенствования обработки имеющихся данных и развития информационных систем для постепенного перехода к полноценному цифровому двойнику предприятия.

Ранее нами был проведен анализ эффективности технической эксплуатации автосамосвалов БелАЗ ООО «СУЭК-Хакасия» [9]. Установлено, что холодные зимы с низкими температурами воздуха (до -40 °С) приводят к увеличению количества ремонтов и, соответственно, продолжительности и трудоемкости внеплановых ремонтов техники в зимние месяцы [10].

Предложено фиксировать данные мониторинга не только по отказам и неисправностям агрегатов и систем автомобилей, но и удельные простои в ТО и ремонте (в часах на 100 мото-часов работы), а также температуру окружающего воздуха.

2. Материалы и методы

В статье рассматривается возможность улучшения системы ТО и ремонта карьерных автосамосвалов с помощью СППР. В качестве методов исследования использовались различные технологии обработки данных с целью получения нового информационного продукта для СППР.

Обработка данных в данном случае предполагает три этапа:

1. *Сравнительный анализ фактических и нормативных показателей периодичности ТО*, простоев в ТО и ремонте, коэффициента технической готовности и других по каждому самосвалу за определенный период (например, год). В информационной базе предприятия должны храниться все нормативные показатели и фактические данные по наработкам, отказам и неисправностям, простоям в ТО и ремонте, перечню выполненных операций ТО, температуре окружающего воздуха и т. д.
2. *Анализ надежности (безотказности)*. Он подразумевает обработку информации по отказам и неисправностям каждого автосамосвала и в целом по группе. Определяется фактическая и средняя наработка на отказ, составляются вариационные ряды наработок по основным системам, агрегатам, элементам. Для упрощения каждому элементу может быть присвоен код в соответствии с классификатором элементов. Далее оцениваются точечные и интервальные

показатели эксплуатационной надежности по элементам, выявляются законы распределения наработок на отказ. На данном этапе разрабатываются перечни дополнительных к основным ступеням ТО (1, 2, 3) операций как индивидуально для каждого автомобиля, имеющего высокие удельные простои, так и в целом по группе.

3. *Применение температурной корректировки периодичности ТО в зимний период в холодных климатических районах (предложено автором).*

3. Результаты и обсуждение

На простои автотранспорта влияет множество факторов: погрузка/разгрузка транспортных средств, различные организационные моменты на предприятии, погодные условия, неукомплектованность штата сотрудников и даже обед водителей. Подробный анализ простоя каждого самосвала с указанием количества часов был проведен нами в работе [9] на основании данных, предоставленных предприятием ООО «СУЭК-Хакасия». Годовой фонд времени каждого автомобиля составляет 8 760 ч в условиях круглогодичной круглосуточной посменной (по 12 часов) работы водителей, фактическая наработка зависит от продолжительности простоев.

Время простоев автосамосвалов различается в зависимости от времени года. Так, в летние месяцы простои случаются из-за неравномерности добычи угля, перебоев с отгрузкой на железнодорожный транспорт и др. В зимние месяцы значительно больше простоев из-за отказа/поломки оборудования (рис. 1), что подтверждают инженеры ООО «СУЭК-Хакасия».

В данном исследовании предложены корректирующие действия с учетом температуры воздуха и пробега автомобиля именно в зимнее время по причине увеличения числа отказов.

Первый этап: сравнительный анализ фактических и нормативных показателей

В качестве способа оценки работоспособности автосамосвалов был принят сравнительный анализ фактических и нормативных удельных простоев в ТО, ППР и ремонте (ч/100 мото-часов) для каждой машины.

Согласно положению о техническом обслуживании и ремонте¹, нормативное удельное время простоя в ППР, ТО и ремонте для автосамосвалов БелАЗ серий 7513 и 7530, эксплуатируемых в

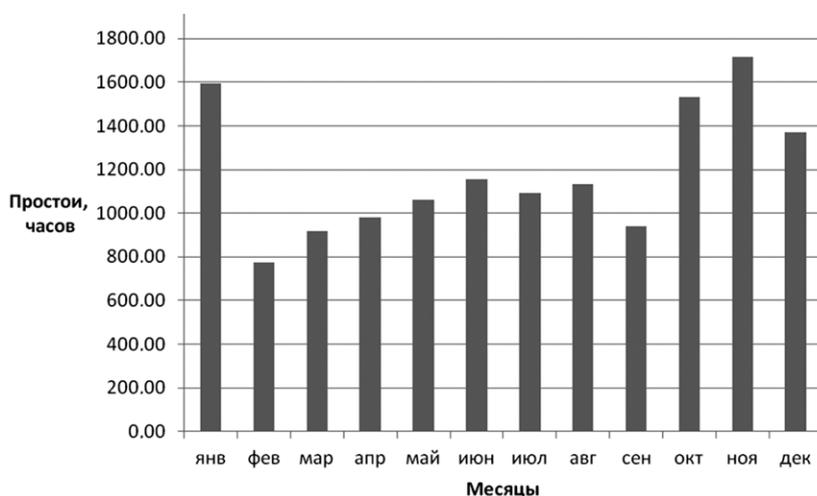


Рис. 1. Простои самосвалов БелАЗ-75306 за 2018 г. по причине отказа/поломки оборудования (график составлен автором)
Fig. 1. Downtime of BelAZ-75306 haul trucks in 2018 due to equipment failure/breakdown (graph compiled by the author)

¹ Положение о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных автосамосвалов «БелАЗ». Жодино; 2013. 22 с.

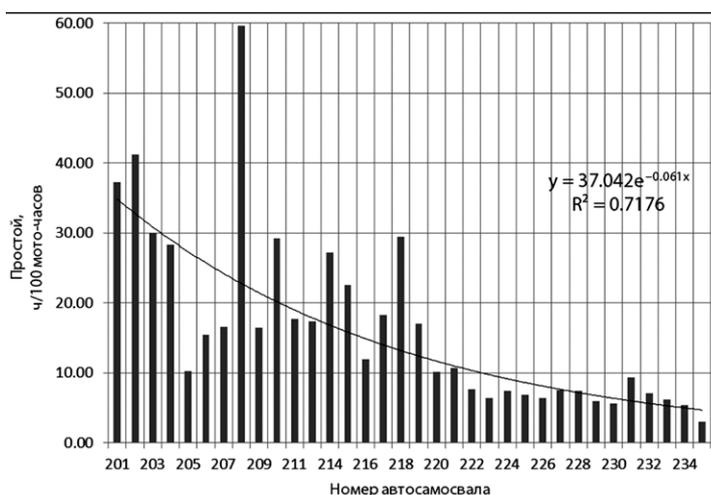


Рис. 2. Удельный простой в ТО и ремонте автосамосвалов БелАЗ серии 7530 (факт) (график составлен автором)

Fig. 2. Specific downtime during maintenance and repair of BelAZ 7530 series haul trucks (actual data) (graph compiled by the author)

холодном климатическом районе Республики Хакасия, составляет не более 14–15 ч/100 мото-часов. Однако, поскольку в конструкцию автомобиля постоянно вносятся изменения для увеличения срока службы без сбоев, нормативное удельное время простоя в соответствии с условиями конкретного предприятия должно определяться самим предприятием и, очевидно, будет уменьшаться для автомобилей, вновь вводимых в эксплуатацию.

В качестве примера на рис. 2 приведен график изменения фактических удельных простоев самосвалов БелАЗ: порядок расположения машин определяется вводом их в эксплуатацию (чем больше номер автомобиля, тем меньше срок его службы).

На графике видно, что показатель удельных простоев, как правило, снижается при уменьшении срока службы машины. На практике это означает, что удельные простои новых автомобилей значительно ниже аналогичных показателей транспорта, находящегося давно в эксплуатации. Увеличение удельных простоев связано с большим объемом внеплановых ремонтов и линейных отказов. Простои в капитальном ремонте здесь не учитывались.

Необходимо отметить, что автомобили 205 (5-й год эксплуатации) и 216 (4-й год эксплуатации) также имеют хорошие показатели. Это объясняется тем, что на данных автосамосвалах работали опытные экипажи водителей. В данном случае отчасти виден эффект влияния опыта и квалификации водителей на эксплуатационные показатели работы транспорта, а также внедрения беспилотных автосамосвалов, настроенных на оптимальные режимы вождения.

Проведение такого анализа позволяет выявить сверхнормативные простои некоторых самосвалов и разработать соответствующие корректирующие мероприятия в виде дополнительных операций, приуроченных к плановым видам ТО. Более низкие показатели простоя в ТО и ремонте наблюдаются у самосвалов, срок службы которых составляет менее двух лет (на рис. 2 это самосвалы с номерами с 222 по 234), у автомобилей с возрастом от 3 лет этот показатель увеличивается и превышает норматив.

Второй этап: анализ надежности (безотказности)

Проводится по методике, приведенной в [11]. Для самосвалов, у которых удельные простои превышают норматив, рекомендуется корректировка номенклатуры и периодичности проводимых работ с учетом фактического изменения технического состояния.

Для группы самосвалов БелАЗ-7530б наработки наиболее часто встречающихся отказов и неисправностей оказались в интервале 250–4500 мото-часов (по данным за 2018 г.). В работе [9] предложено внедрить дополнительный перечень операций, приуроченных к плановым работам ТО (1, 2, 3), с целью уменьшения внеплановых ремонтов и линейных отказов. В таблице 1 приведены их количество и периодичность.

Таблица 1. Количество дополнительных операций и их периодичность для группы автомобилей БелАЗ-75306
 Table 1. Number of additional operations and their frequency for a group of BelAZ-75306 haul trucks

Периодичность операций, мото-часы	Количество операций, ед.	Периодичность операций, мото-часы	Количество операций, ед.
250	8	1 500	1
500	3	2 250	2
750	3	3 750	3
1 000	4	4 500	2
1 250	1		

При внедрении цифрового двойника автотранспортного предприятия дополнительные перечни операций должны разрабатываться оперативно в режиме реального времени индивидуально для каждого автосамосвала с повышенными показателями удельных простоев в ТО и ремонте.

Третий этап: применение температурной корректировки периодичности ТО в зимний период

Дальнейшее совершенствование системы ТО и ремонта автомобилей, в том числе карьерных самосвалов, на наш взгляд, должно заключаться в более тщательном учете климатических и других условий. Например, в холодных климатических районах корректировку нормативов нужно проводить именно в зимнее время, когда температура окружающего воздуха отрицательная. Однако такой подход возможен только на основе применения информационных технологий и систем на автомобильном транспорте [12].

Чтобы устранить недостатки существующего традиционного метода планирования, мы предлагаем встроить в существующие СППР алгоритм индивидуального подхода к процессу планирования ТО. Для этого необходимо корректировать не норматив периодичности ТО, а ежедневный фактический пробег (км) или наработку (мото-часы) автомобиля L_E с помощью коэффициента сложности маршрута K_M и коэффициента низких температур K_T :

$$L'_E = L_E \cdot K_M \cdot K_T$$

Полученные скорректированные данные ежедневных фактических пробегов и ежедневных скорректированных пробегов следует учитывать в электронных лицевых карточках автомобилей для целей планирования ТО.

Понятие коэффициента сложности маршрута здесь аналогично тому, что используется при внедрении дифференцированных маршрутных норм расхода топлива [13]. На наш взгляд, коэффициент K_M при корректировании ежедневных пробегов должен находиться в интервале от 1.00 до 1.40, чтобы не противоречить положению о ТО и ремонте подвижного состава АТ², хотя значения интервала могут быть уточнены в результате специально проведенных исследований. Например, значения коэффициента K_M можно установить дифференцировано, учитывая дорожное покрытие, рельеф местности, количество остановок на 1 км пробега, среднюю скорость движения на маршруте и т. д. Для карьерных автосамосвалов этот коэффициент рекомендуется увеличивать при плохом дорожном покрытии, превышении уклонов сверх норматива, коэффициенте использования грузоподъемности более 1 и пр.

При выборе значений коэффициента низких температур K_T можно опираться на исследования тюменских ученых, например, на [14].

¹ Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=131510> (дата обращения: 10.08.2024).

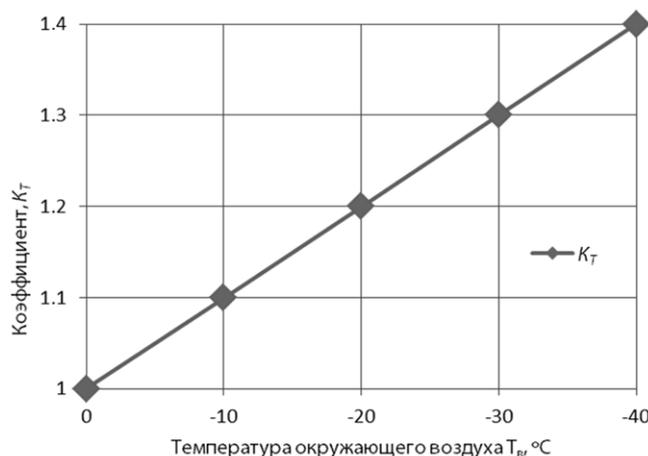


Рис. 3. Зависимость коэффициента K_T от температуры окружающего воздуха T_B (график составлен автором)

Fig. 3. Dependence of the coefficient K_T on ambient air temperature T_B (graph compiled by the author)

Установлено [15, 16], что при эксплуатации автомобилей в зимнее время в холодном климатическом регионе теряется приблизительно 30 % ресурса двигателя. В первом приближении значения коэффициента K_T можно определять, используя зависимость K_T от температуры окружающего воздуха T_B . Принята аналогичная линейная зависимость, используемая в системе корректирования зимних норм расхода топлива (рис. 3).

Можно констатировать, что в современных условиях эксплуатации карьерных автосамосвалов в холодных климатических районах дальнейшее совершенствование системы ТО и ремонта возможно только на основе обработки большого количества оперативных данных [14, 17]. Это предполагает наличие на предприятии развитой информационной системы, желательно с внедрением СППР, например, в виде цифрового двойника автотранспортного предприятия.

Следует также отметить, что ранее Положение о ТО и ремонте подвижного состава АТ состояло из двух обязательных частей. Во второй части приводились нормативы ТО и ремонта для определенной марки автомобилей, а в первой части – система корректирования нормативов в зависимости от условий эксплуатации. В настоящее время первая часть Положения утратила практическое значение. Нормативы ТО и ремонта заводы-изготовители (например, БелАЗ) предлагают в виде собственных положений либо в виде сервисных книжек. В этих документах, как правило, отсутствуют рекомендации по корректированию нормативов в разных условиях эксплуатации, не прописаны права дилеров и эксплуатирующих организаций на возможности внедрения более совершенных систем ТО и ремонта. То есть отсутствует правовая основа внедрения всех новшеств, о которых упоминалось выше. На наш взгляд, для нашей страны с ее многообразием климатических и других условий рекомендации по корректировке режимов ТО и ремонта должны быть. Также должны быть прописаны права эксплуатирующих организаций на внедрение современных высокоэффективных СППР.

4. Заключение

В условиях холодного климата вопросы эксплуатации и ремонта карьерной техники приобретают особую актуальность, особенно в зимнее время. Предложено усовершенствовать алгоритм обработки данных по оценке работоспособности каждого самосвала, используя метод температурной корректировки (в данном исследовании учитывались только простои транспорта в ТО, ППР и ремонте). Определено:

1. Простои карьерных автомобилей БелАЗ во время проведения ремонта и техобслуживания составляют от 3 до 60 часов на 100 мото-часов работы при нормативе в 14–15 часов. Доля удельных фактических простоев в ТО и ремонте для карьерных самосвалов возрастом до 3 лет невысока, следовательно, рекомендуем применять систему ТО и ремонта в соответствии

- с рекомендациями завода-изготовителя. Для автомобилей старше 3-х лет требуется ввести дополнительные корректирующие мероприятия, приуроченные к плановым видам ТО.
2. Постоянный мониторинг потока отказов и неисправностей, удельных простоев в ТО и ремонте индивидуально по каждому автомобилю серии БелАЗ 75306 показал, что необходимо введение дополнительных операций, приуроченных к ТО, на основе анализа надежности с целью уменьшения объема внеплановых ремонтов. В статье рассмотрена периодичность операций от 250 до 4 500 мото-часов, количество дополнительных операций варьируется от 1 до 8.
 3. В холодных климатических районах, к которым относится Хакассия, в связи с увеличением сверхнормативных простоев в зимнее время необходимо проводить температурную корректировку периодичности ТО. Она предполагает корректировку не норматива периодичности ТО, а ежедневного фактического пробега машины L_E с учетом коэффициента сложности маршрута K_M и коэффициента низких температур K_T (наблюдается линейная зависимость значения коэффициента от температуры: так, если при $0\text{ }^\circ\text{C}$ $K_T = 1$, то при $-40\text{ }^\circ\text{C}$ $K_T = 1.4$). Температурная корректировка позволит уменьшить периодичность первого, второго и третьего технических обслуживаний в зимнее время и сократит объем внеплановых работ.

Важно отметить, что успешно реализовать предложенный метод с использованием той информационной системы, которая в настоящее время есть на предприятии, невозможно. Спрогнозировать необходимый график ТО с учетом технического состояния, фактических простоев и других важных показателей каждого карьерного самосвала, применить метод температурной корректировки можно только на основании анализа большого количества оперативных данных. Решить данную проблему можно посредством внедрения цифрового двойника автотранспортного предприятия (программа уже успешно реализуется на ряде крупных предприятиях страны). Это позволит планировать ТО каждого карьерного автосамосвала индивидуально с учетом оперативных данных (технического состояния, удельных простоев и т. д.), корректировать периодичность ТО при отрицательных температурах воздуха, осуществлять наряду с плановыми дополнительные операции с целью предупреждения внеплановых ремонтов и линейных отказов.



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

Список литературы

1. Квагинидзе В. С., Корецкая Н. А. Эффективность системы технических обслуживаний и ремонтов большегрузных карьерных автосамосвалов, эксплуатирующихся в условиях Севера. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2011;(55):198–217. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17231246>.
2. Кузин Е. Г., Пудов Е. Ю., Дубинкин Д. М. Анализ отказов узлов карьерных самосвалов в условиях эксплуатации. *Горное оборудование и электромеханика*. 2021;(2):55–61. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2021-2-55-61>
3. Alla H. R., Hall R., Apel D. B. Performance evaluation of near real-time condition monitoring in haul trucks. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020;30(6):909–915. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.05.024>
4. Kalra V. M., Thakur T., Pabla B. S. Condition based maintenance management system for improvement in key performance indicators of mining haul trucks – a case study. In: *IEEE International Conference on Innovative Research and Development*. Bangkok: IEEE; 2018. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICIRD.2018.8376300>
5. Suresh A., Diwakar G., Naidu B. A. Reliability design and maintenance formulation for dumpers used in mining industries. *CVR Journal of Science and Technology*. 2020;19(1):144–150. <https://doi.org/10.32377/cvrjst.1924>
6. Elodie R., Christophe B., Keomany B., Hoceane T., Romain L. Joint dynamic scheduling of missions and maintenance for a commercial heavy vehicle: value of on-line information. *IFAC PapersOnLine*. 2018;51(24):837–842. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.09.672>
7. Козин Е. С., Захаров Н. С., Панфилов А. А., Вохмин Д. М. *Системы поддержки принятия решений на транспорте*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2023. 170 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/bzsjil>.

8. Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn, W. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*. 2018;51(11):1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
9. Борисенко А. Н., Олейников А. В., Семенов М. Н. К вопросу о совершенствовании регламентов технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов карьерных автосамосвалов в ООО «СУЭК-Хакасия». *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2021;(6):104–119. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_6_0_104
10. Килин А. Б., Азев В. А., Шаповаленко Г. Н., Сухарьков И. Н., Вакулин Е. А., Султанова Н. В., Хажиев В. А. Развитие ремонтного обслуживания и эксплуатации автосамосвалов БелАЗ на разрезе «Черногорский». *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2016;(534):129–137. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35281161>.
11. Олейников А. В., Васильев В. А., Суетова А. А. *Основы теории надежности*. Абакан: Сибирский федеральный университет, Хакасский технический университет – филиал Сибирского федерального университета; 2014. 144 с.
12. Борисенко А. Н. Применение информационных технологий при планировании технического обслуживания автомобилей. *Автотранспортное предприятие*. 2005;(5):27–28.
13. Максимов В. А., Нгуен В. Т., Чан Д. К. З. Анализ факторов, влияющих на расход топлива, с учетом современных условий эксплуатации городских автобусов. В сб.: *Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта, Москва, 31 января – 02 февраля 2023 года*. Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет; 2023. С. 21–30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50250081>.
14. Захаров Н. С., Абакумов Г. В., Вознесенский А. В. *Влияние сезонных условий на расходование ресурсов при эксплуатации автомобилей*. Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет; 2011. 115 с.
15. Гусельников А. С., Захаров Н. С. Влияние сезонных условий на параметр потока отказов элементов системы питания двигателей автомобилей КАМАЗ-43118. *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2023;(2):111–120. <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-111>
16. Яковенко В. В., Захаров Н. С. Природно-климатические факторы, влияющие на надежность автомобилей. В сб.: *Транспортные и транспортно-технологические системы, Тюмень, 15 апреля 2021 года*. Тюмень: Тюменский индустриальный университет; 2021. С. 325–328.
17. Тюлин А. Е., Асанова Е. А., Ревяков Г. А. Научно-методические подходы к решению задачи формирования модели цифрового двойника предприятия. *Экономические стратегии*. 2024;26(2):54–63. <https://doi.org/10.33917/es-2.194.2024.54-63>

References

1. Kvaginidze V. S., Koretskaya N. A. Efficiency of the system of technical services and repairs of heavy-duty quarry dump trucks operated in the conditions of the North. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2011;(55):198–217. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17231246>.
2. Kuzin E. G., Pudov E. Yu., Dubinkin D. M. Analysis of failures of mining dump truck assemblies under operating conditions. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2021;(2):55–61. <https://doi.org/10.26730/1816-4528-2021-2-55-61>
3. Alla H. R., Hall R., Apel D. B., Performance evaluation of near real-time condition monitoring in haul trucks. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2020;30(6):909–915. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.05.024>
4. Kalra V. M., Thakur T., Pabla B. S. Condition based maintenance management system for improvement in key performance indicators of mining haul trucks—a case study. In: *IEEE International Conference on Innovative Research and Development*. Bangkok: IEEE; 2018. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICIRD.2018.8376300>
5. Suresh A., Diwakar G., Naidu B. A. Reliability design and maintenance formulation for dumpers used in mining industries. *CVR Journal of Science and Technology*. 2020;19(1):144–150. <https://doi.org/10.32377/cvrjst.1924>
6. Elodie R., Christophe B., Keomany B., Hoceane T., Romain L. Joint dynamic scheduling of missions and maintenance for a commercial heavy vehicle: value of on-line information. *IFAC PapersOnLine*. 2018;51(24):837–842. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.09.672>
7. Kozin Ye. S., Zakharov N. S., Panfilov A. A., Vokhmin D. M. *Decision support systems for transportation*. Тюмень: Industrial University of Tyumen; 2023. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/bzsjil>.
8. Kritzinger W., Karner M., Traar G., Henjes J., Sihn, W. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*. 2018;51(11):1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
9. Borisenko A. N., Oleinikov A. V., Semenov M. N. Improving maintenance and preventive overhaul programs for open pit dump trucks at SUEK-Khakassia. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2021;(6):104–119. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_6_0_104

10. Kilin A. B., Azev V. A., Shapovalenko G. N., Sukharkov I. N., Vakulin E. A., Sultanova N. V., Khazhiev V. A. Development of repair maintenance and operation service for BelAZ dump trucks at Chernogorsk open pit mine. *Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2016;(534):129–137. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35281161>.
11. Oleynikov A. V., Vasil'yev V. A., Suyetova A. A. *Fundamentals of reliability theory*. Abakan: Siberian Federal University, Khakas Technical Institute – Branch of the Siberian Federal University; 2014. (In Russ.)
12. Borisenko A. N. Application of information technologies in vehicle maintenance planning. *Avtotransportnoye predpriyatiye*. 2005;(5):27–28. (In Russ.)
13. Maksimov V. A., Nguyen V. T., Chan D. K. Z. Analysis of factors affecting fuel consumption, taking into account the current operating conditions of urban buses. In: *Aktual'nyye voprosy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta = Actual issues of technical operation and maintenance of rolling stock of road transport, Moscow, January 31 – February 02, 2023*. Moscow: Moscow Automobile and Road Construction State Technical University; 2023. P. 21–30. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50250081>.
14. Zakharov N. S., Abakumov G. V., Voznesenskiy A. V. *Influence of seasonal conditions on resource consumption in vehicle operation*. Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University; 2011. (In Russ.)
15. Guselnikov A. S., Zakharov N. S. Influence of seasonal conditions on the failure rate parameter of elements of the KAMAZ-43118 engine power supply system. *Intellect. Innovations. Investments*. 2023;2:111–120. (In Russ.) <https://doi.org/10.25198/2077-7175-2023-2-111>
16. Yakovenko V. V., Zakharov N. S. Natural and climate factors affecting the reliability of cars. In: *Transportnyye i transportno-tekhnologicheskkiye sistemy = Transport and transport-technological systems, Tyumen, April 15, 2021*. Tyumen: Industrial University of Tyumen; 2021. P. 325–328. (In Russ.)
17. Asanova E., Tulin A., Revyakov G. Scientific and methodological approaches to the problem of creating a model of an enterprise's digital twin. *Ekonomicheskkiye strategii = Economic strategies*. 2024;26(2):54–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.33917/es-2.194.2024.54-63>



Информация об авторе

Борисенко Александр Николаевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электроэнергетики, машиностроения и автомобильного транспорта, Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета, Абакан, Российская Федерация, aiah@mail.ru

Information about the author

Alexander N. Borisenko, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Electric Power Engineering, Mechanical Engineering and Automobile Transportation, Khakas Technical Institute – Branch of the Siberian Federal University, Abakan, Russian Federation, aiah@mail.ru

Получена 22 октября 2024 г., одобрена 16 ноября 2024 г., принята к публикации 03 декабря 2024 г.

Received 22 October 2024, Approved 16 November 2024, Accepted for publication 03 December 2024

Научная статья / Original research article
УДК 624.04
<https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-98-106>

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



Симбиоз аддитивных технологий, бионики и фрактального подхода в мостостроении

И. Г. Овчинников¹ ✉, И. О. Разов¹, Н. Б. Кудайбергенов²

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

² Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, 010008, Республика Казахстан

✉ bridgesar@mail.ru



Аннотация. Применение эффективных конструкций, технологий и материалов является одним из требований, предъявляемых к современным мостовым сооружениям. Традиционные технологии ориентированы на создание конструкций достаточно простых форм, в то время как современные решения позволяют расширить класс получаемых конструкций и спектр архитектурных форм. В настоящем исследовании на примере реальных объектов рассматривается положительный опыт применения в мостостроении таких современных технологий, как 3D-печать, бионический и фрактальный подходы. Анализируется возможность использования симбиоза данных технологий для создания современных мостовых сооружений, что представляется наиболее эффективным.

Ключевые слова: аддитивные технологии, бионика, фракталы, мостостроение, эффективные конструкции, фрактальные структуры, компьютерный инжиниринг

Благодарности. Статья подготовлена в рамках реализации государственного задания в сфере науки на выполнение научных проектов, реализуемых коллективами научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России по проекту «Новые материалы и технологии возведения зданий, сооружений и их элементов с применением роботизированных аддитивных систем» (№ FEWN-2003-0004).

Для цитирования: Овчинников И. Г., Разов И. О., Кудайбергенов Н. Б. Симбиоз аддитивных технологий, бионики и фрактального подхода в мостостроении. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):98–106. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-98-106>

Synergy of additive technologies, bionics and fractal approach in bridge engineering

Igor G. Ovchinnikov¹ ✉, Igor O. Razov¹, Nurlan B. Kudaibergenov²

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

² L. N. Gumilev Eurasian National University, 2 Satpayeva St., Astana, 010008, Republic of Kazakhstan

✉ bridgesar@mail.ru



Abstract. Modern bridge construction demands efficient designs, technologies, and materials. Traditional methods tend towards simpler designs, whereas modern approaches enable a wider variety of structures and

architectural forms. This research explores successful examples of 3D printing, bionics and fractal approaches in bridge engineering, and analyzes the potential of combining these technologies for optimal results in modern bridge construction.

Keywords: additive technologies, bionics, fractals, bridge construction, efficient structures, fractal structures, computer engineering

Acknowledgements. The work was prepared as part of the state assignment for the implementation of scientific projects by teams of laboratories of higher education institutions under the Ministry of Science and Higher Education of Russia; project No. FEWN-2003-0004 "New materials and technologies for the construction of buildings, structures and their elements using robotic additive systems".

For citation: Ovchinnikov I. G., Razov I. O., Kudaibergenov N. B. Synergy of additive technologies, bionics and fractal approach in bridge engineering. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4):98–106. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-98-106>



1. Введение

По сравнению с традиционными методами строительства современные технологии обладают рядом преимуществ, которые позволяют оптимизировать строительный процесс и повысить качество конечного продукта. В настоящей статье рассматривается возможность симбиоза таких технологий, как 3D-печать, бионический и фрактальный подходы, для создания эффективных инженерных сооружений, в частности, мостов.

2. Результаты и обсуждение

Особенности применения аддитивных технологий в мостостроении. В мостостроении, в отличие от промышленного и гражданского строительства, аддитивные технологии применяются не так широко. Первым мостовым сооружением, созданным в 2016 г. с использованием аддитивных технологий, был пешеходный мост в Алькобендасе (Испания) (рис. 1). Конструкция моста длиной 12 м состояла из восьми сочлененных элементов. Мост был запроектирован так, чтобы хорошо вписываться в природу.

Еще один пешеходный мост с использованием аддитивных технологий был создан, по заверениям компании MX3D, в Амстердаме (Голландия). В лаборатории Joris LAARMAN Lab этой компанией был разработан 3D-принтер, который мог создавать достаточно сложные конструкции из различных металлов и сплавов посредством технологий электродуговой сварки и непрерывной подачи металлов. Таким образом, конструкция состояла из мелких расплавленных капель металла, т. е. создавался сплошной сварной шов (рис. 2).



Рис. 1. Пешеходный мост в Алькобендасе (Испания), напечатанный на 3D-принтере, 2016 г.¹
Fig. 1. 3D-printed pedestrian bridge in Alcobendas (Spain), 2016¹

¹ Первый 3D-печатный мост возведен в Испании. Режим доступа: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/the-first-3dprinted-bridge-was-built-in-spain> (дата обращения: 07.05.2024).



Рис. 2. Создание сварочной мостовой конструкции, Амстердам (Голландия)²

Fig. 2. Fabrication of a welded bridge structure, Amsterdam (Holland)²



Рис. 3. Испытания модели Крымского моста в аэродинамической трубе³

Fig. 3. Aerodynamic testing of a Crimean Bridge model in a wind tunnel³

При строительстве пешеходного моста через канал роботы, обладающие шестью степенями подвижности, двигались навстречу друг другу с противоположных берегов и пошагово печатали в воздухе сложную мостовую конструкцию пролетом 8 м (рис. 2). Хотелось бы отметить, что сварные узлы считаются самыми опасными с точки зрения возможных повреждений. В связи с этим возникает вопрос: как быть, если весь мост представляет собой сварной шов?

Аддитивные технологии в мостостроении применяются также для создания макетов объектов. Уменьшенные копии можно использовать для

проведения испытаний модели конструкции, чтобы получить информацию о поведении реального прототипа и оценить дизайн будущего объекта. Например, при создании Крымского моста проводились аэродинамические испытания с целью определения воздействия ветровых нагрузок на мост (рис. 3).

Следует заметить, что традиционные технологии ориентированы на создание конструкций достаточно простых форм, в то время как современные программные комплексы, основанные на нейросетях, способны работать с большими объемами данных, рассчитывать разные варианты и находить оптимальные с точки зрения расхода материала и формы конструкции, при этом данные формы могут быть весьма необычными.

Использование бионического подхода в мостостроении. Несмотря на наличие как в России, так и за рубежом ряда публикаций, посвященных применению бионического подхода [1–18], эта тема все еще недостаточно разработана, и результаты применения данного подхода не всегда эффективны. Бионический подход к созданию объектов называется биомиметикой или биомимикрией. Под биомиметикой понимается создание объектов, основные части которых «заимствуются» из природы [19], биомимикрия [20] подразумевает использование принципов устойчивого развития (Sustainable Design [21]), обеспечивающих сохранение природных ресурсов и минимизирующих отрицательное воздействие процессов создания и эксплуатации объектов на окружающую среду. В [20] сформули-

² В Голландии 3D-принтеры построят мост. Режим доступа: http://www.dp.ru/a/2015/06/18/V_Gollandii_3D-printeri_p/gallery/24406/182269/ (дата обращения: 12.06.2024).

³ Исследования Крымского моста в ландшафтной аэродинамической трубе. Режим доступа: http://krylov-centre.ru/press/video/1270/?sphrase_id=39665 (дата обращения: 14.06.2024).

рованы следующие принципы биомимикрии: форма объекта определяется его функциями; используется только та энергия, которая необходима; основой всего является многообразие; перерабатывается все, что возможно; взаимодействие поощряется; максимально используются ограниченные возможности; все создаваемое природой ориентируется на условия конкретной местности.

Следуя [22], можно отметить два алгоритма заимствования из живой природы при создании новых объектов: снизу вверх и сверху вниз (таблица 1).

На основе биомимикрии был запроектирован и реализован ряд мостовых сооружений в разных странах мира. Например, бионический подход применялся при создании в Сингапуре моста Волны Хендерсона [5] (рис. 4а) и моста Хеликс, напоминающего своей спиралевидной формой молекулу ДНК (рис. 4б). К сожалению, проектирование и строительство мостов такой сложности является непростой и дорогостоящей задачей.

Архитекторы пешеходной развязки в китайском городе Шэньчжэне, расположенной над транспортной магистралью, за основу взяли форму цветка (рис. 4с). Данный пешеходный мост считается одним самых красивых современных строений, но проект его также оказался неэффективным.

Конструкция моста Мира через реку Боу в канадском городе Калгари (рис. 4д) напоминает своим видом дождевого червя. Это проект знаменитого испанского архитектора Сантьяго Калатравы, автора ряда необычных сооружений, построенных в разных городах мира. Известно, что ни один проект Калатравы не уложился в смету и не был закончен вовремя.

Бионический подход к проектированию может быть реализован на макро- и на микроуровне. В первом случае при проектировании мостовых сооружений в целом или отдельных элементов (фундаментов, опор, пролетных строений и т. д.) используется внешний вид природных объектов, то есть применяется информация о форме биологических объектов (растений, животных, насекомых, рыб, микробов, человека), текстур поверхностей, характеристик механических структур, свойств биологических материалов и т. п. Примером применения бионического подхода на макроуровне может послужить вышеупомянутый мост Мира в Калгари или мост Питон в Амстердаме (рис. 4е).

Бионический подход на микроуровне подразумевает использование для конструирования или оптимизации мостов информации о внутренней структуре и особенностях функционирования живых созданий, иными словами, о внутреннем строении биологических организмов, процессах преобразования энергии в организмах, включая механизм нейронных реакций, передачу и обработку информации, возможность регулирования поведения, а также способность адаптироваться в окружающей среде. В качестве примера можно назвать спиралевидный мост Хеликс.

Таблица 1. Алгоритмы заимствований из живой природы для решения инженерных задач
 Table 1. Bio-inspired algorithms for solving engineering problems

Снизу вверх		Сверху вниз	
Исходные данные	Фундаментальные биологические исследования	Исходные данные	Инженерная проблема
Исследования	Анализ биологических аналогов	Поиск аналогов	Нахождение биологических аналогов
Формулирование биологических принципов	Нахождение биологических принципов в биологических аналогах	Подбор биологических принципов для инженерной реализации	Анализ и систематизация подобранных биологических принципов
Обобщение	Преобразование биологических принципов в форму, пригодную для решения инженерной проблемы	Преобразование	Преобразование биологических принципов в форму, пригодную для решения инженерной проблемы
Решение инженерной проблемы	Применение биологических принципов для решения инженерной проблемы	Решение инженерной проблемы	Применение биологических принципов для решения инженерной проблемы

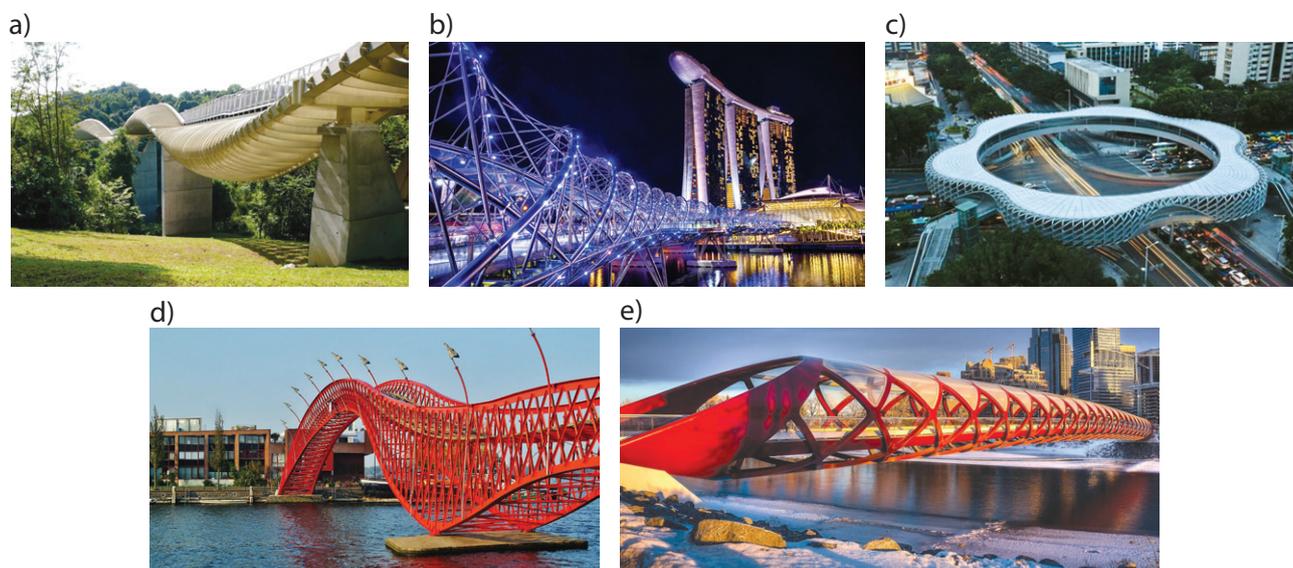


Рис. 4. Примеры применения бионического подхода в мостостроении за рубежом⁴
Fig. 4. Overseas applications of bionics approach in bridge building⁴

Использование фрактального подхода при проектировании сооружений. Перед проектировщиками инженерных сооружений обычно стоит задача создания конструкции, оптимальной с точки зрения соответствия ряду критериев, нередко конфликтующих. Это форма, размеры, вес, прочность, жесткость, устойчивость, грузоподъемность, долговечность, стоимость изготовления, монтажа и эксплуатации. Сроки проектирования также имеют значение, так как напрямую влияют на стоимость объекта. Опираясь лишь на свой опыт и интуицию, конструктор не в состоянии предложить оптимальное с точки зрения всех этих критериев решение.

Однако такую сложную задачу можно решить с помощью компьютерных методов многопараметрической, топологической, междисциплинарной оптимизации. Цель решения задачи оптимизации конструкции заключается в нахождении оптимального распределения материала в пространстве, которое занимает конструкция, с учетом внешних воздействий и условий опирания, а также сопряжения с другими элементами конструкции. При этом найденное решение должно удовлетворять требованиям прочности, жесткости, устойчивости, долговечности и наименьшего веса. Согласно [23], есть три типа топологической оптимизации:

- оптимизация размеров, реализуемая за счет варьирования толщины стенок элементов, толщины слоев, площади поперечного сечения и т. д. (рис. 5а),
- оптимизация формы, осуществляемая посредством изменения внутренних и внешних границ, контуров многосвязных тел, отверстий и др. (рис. 5б),
- оптимизация топографии, которая применима к двумерным объектам, толщина которых на порядок меньше характерных поперечных размеров (пластины, оболочки, проще говоря, произвольные поверхности), и обычно сводится к местным утолщениям несущей поверхности (рис. 5с).

В настоящее время компьютерные технологии оптимизации, как правило, используются не только в процессе проектирования, но и на этапе разработки концепции проекта. Это позволяет избежать полуинтуитивных методик, основанных на модернизации уже существующих конструктивных решений. При этом начинает достаточно широко применяться парадигма «моделирование и оп-

⁴ Фото из открытых источников.

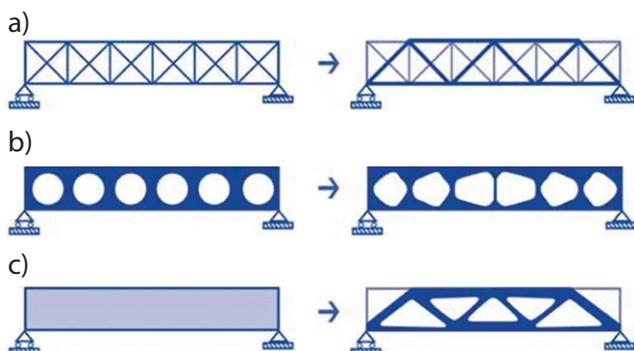


Рис. 5. Три типа топологической оптимизации [23]
Fig. 5. Three types of topological optimization [23]

В мостовых конструкциях широко используются балки в качестве элементов пролетных строений и колонны в виде опор. Причем балки пролетных строений нередко выполняются из стали или алюминиевых сплавов, имеющих высокие прочностные показатели. Но при проектировании этих конструкций необходимо выполнять расчет на действующие нагрузки.

Исследователь Йонг Мао с сотрудниками Университета Ноттингема предложил использовать для создания балочных конструкций фрактальные структуры, выполняемые по технологии 3D-печати [27]. Авторы полагают, что балочные конструкции, изготовленные с помощью аддитивных технологий (рис. 8), имеют очень высокую прочность при относительно малом весе. Разработчики утверждают, что при достаточно высокой жесткости прочность таких балок в тысячи раз превышает прочность балок, созданных по обычной технологии. Причем жесткость изготавливаемых конструкций можно настраивать под вид прикладываемой нагрузки. При этом отходы производства и затраты на их изготовление сокращаются. Следует заметить, что процесс создания фрактальных структур, из которых состоит балочная конструкция, весьма сложен.

Имитируя природные механизмы формирования фрактальных структур, специалистам удалось разработать целый ряд теоретических основ, которые можно использовать в том числе и для создания строительных конструкций. Речь идет о конструкциях, иерархический порядок в структуре которых находится в прямой зависимости от вида и степени воздействий и нагрузки на них.

Таким образом, симбиоз компьютерных технологий и аддитивного производства позволяет создавать структуры, способные подстраиваться под действующую нагрузку. К сожалению, на прочность этих фрактальных структур большое влияние оказывают возникающие в процессе изготовления дефекты, поэтому повышение живучести, то есть сопротивляемости конструкций к таким дефектам, является важной задачей.

3. Заключение

Проведенный анализ позволяет предположить, что симбиоз аддитивных технологий, бионики и фрактального подхода в мостостроении может оказаться эффективным. К сожалению, он пока развивается в зарубежных научных и инженерных организациях, но есть определенная надежда, что скоро и в России появятся подобные разработки.

тимизация» [24, 25], позволяющая посредством наукоемкого компьютерного моделирования и оптимизации достаточно быстро создавать объекты нового поколения повышенного качества. Трудность заключается в том, что конструкции, созданные с помощью современных компьютерных технологий по вышеуказанной парадигме, имеют сложную геометрическую форму, которую сложно изготовить. Эту непростую инженерную задачу можно было бы решить посредством сочетания компьютерных технологий [26] с эффективными аддитивными технологиями и с учетом бионического подхода.

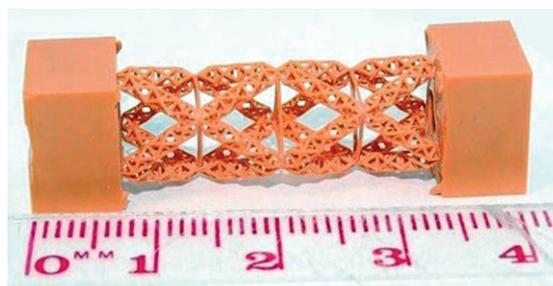


Рис. 8. Образец балочной конструкции, созданной с использованием фрактальных структур [27]

Fig. 8. A beam structure specimen created using fractal structures [27]



Вклад авторов. И. Г. Овчинников – общее руководство авторским коллективом, работа с текстом рукописи. И. О. Разов, Н. Б. Кудайбергенов – работа с текстом рукописи.

Author contributions. Igor G. Ovchinnikov: overall team leadership, and worked on the manuscript. Igor O. Razov, and Nurlan B. Kudaibergenov: worked on the manuscript.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Темнов В. Г. *Конструктивные системы в природе и строительной технике*. Ленинград: Стройиздат; 1987. 256 с. Режим доступа: <https://m.eruditor.one/file/1323456/>.
2. Ковырягин М. А., Овчинников И. Г. *Управляемые конструкции (в мостостроении)*. Саратов: Саратовский государственный технический университет; 2003. 95 с.
3. Овчинников И. Г., Караханян А. Б. Применение бионического подхода к проектированию пешеходных мостов. В сб.: *Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе: Международная научно-практическая конференция, Пермь, 23-24 апреля 2015 г.* Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет; 2015. С. 430–436. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23646394>.
4. Овчинников И. Г., Овчинников И. И., Караханян А. Б. *Пешеходные мосты современности: тенденции проектирования. Часть 1. Использование бионического подхода*. Науковедение. 2015;7(2):81TVN215. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/81TVN215.pdf>.
5. Овчинников И. И., Караханян А. Б., Овчинников И. Г., Скачков Ю. П. *Современные пешеходные и велосипедные мосты (основные концепции проектирования и примеры)*. Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства; 2018. 140 с.
6. Aldersey-Williams H. Towards biomimetic architecture. *Nature Materials*. 2004;3:277–279. <https://doi.org/10.1038/nmat1119>
7. Bonser R.H.C. Patented Biologically-inspired technological innovations: A twenty year view. *Journal of Bionic Engineering*. 2006;3(1):39–41. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(06\)60005-X](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(06)60005-X)
8. Vincent J. F. V., Bogatyreva O. A., Bogatyrev N. R., Bowyer A., Pahl A.-K. Biomimetics: its practice and theory. *Journal of The Royal Society Interface*. 2006;3(9):471–482. <https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127>
9. Mak T. W., Shu L. H. Using descriptions of biological phenomena for idea generation. *Research in Engineering Design*. 2008;19:21–28. <https://doi.org/10.1007/s00163-007-0041-y>
10. Bhushan B. Biomimetics: lessons from nature-an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2009;367(1893):1445–1486. <https://doi.org/10.1098/rsta.2009.0011>
11. Helms M., Vattam S. S., Goel A. K. Biologically inspired design: process and products. *Design Studies*. 2009;30(5):606–622. <https://doi.org/10.1016/J.DESTUD.2009.04.003>
12. Liu K, Jiang L. Bio-inspired design of multiscale structures for function integration. *Nano Today*. 2011;6(2):155–175. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2011.02.002>
13. Santulli C., Langella C. Introducing students to bio-inspiration and biomimetic design: a workshop experience. *International Journal of Technology and Design Education*. 2011;21:471–485. <https://doi.org/10.1007/s10798-010-9132-6>
14. Shu L. H., Ueda K., Chiu I., Cheong H. Biologically inspired design. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2011;60(2):673–693. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.06.001>
15. Chen P.-Y., McKittrick J., Meyers M. A. Biological materials: Functional adaptations and bioinspired designs. *Progress in Materials Science*. 2012;57(8):1492–1704. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2012.03.00>
16. Knippers J., Speck T. Design and construction principles in nature and architecture. *Bioinspiration & Biomimetics*. 2012;7(1):015002. <https://doi.org/10.1088/1748-3182/7/1/015002>
17. Bar-Cohen Y. Nature as a model for mimicking and inspiration of new technologies. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*. 2012;13(1):1–13.
18. Maglic Michael J. Biomimicry: Using Nature as a Model for Design. *Masters Theses*. 2012. P. 871. <https://doi.org/10.7275/2820720>
19. Murugan R., Wang X., Chen G., Guoping Ch., Peter M., Fu-Zhai C. (eds.) *Biomimetics: Advancing nanobiomaterials and tissue engineering*. Salem: Scrivener Publishing; 2013. 384 p. Available at: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/4133/1/21.pdf>.
20. Benyus J. *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. New York: William Morrow & Co.; 1997. 308 p. <https://doi.org/10.1002/inst.12116>

21. Ovchinnikov I. G., Ovchinnikov I. I. Sustainable bridge design in Russia. In: *Railway Transport and Technologies (RTT-2021)*, Ekaterinburg, November 24–25 2021. USA: Aip Publishing; 2023. P.030021. <https://doi.org/10.1063/5.0133764>
22. Freitas Salgueiredo C. Modeling biological inspiration for innovative design. *i3 Conference 2013, October 15 2013*. P. 1–17. Available at: https://i3.cnrs.fr/wp-content/uploads/2016/05/Freitas__conferencel32013.pdf.
23. Olason A., Tidman D. *Methodology for topology and shape optimisation in the design process. Master's Thesis in the Master's programme Solid and Fluid Mechanics*. Goteborg: Chalmers University of Technology; 2011. Available at: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/130136.pdf>.
24. Мальцева Т. В., Трефилина Е. Р. Моделирование двухфазного тела с учетом несущей способности жидкой фазы. *Математическое моделирование*. 2004;16(11):845–852. Режим доступа: https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=mm&paperid=222&option_lang=rus.
25. Боровков А. И., Бурдаков С. Ф., Клявин О. И., Мельникова М. П., Михайлова А. А., Немов А. С. и др. *Компьютерный инжиниринг*. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; 2012. 93 с.
26. Melnikov R., Zazulya Ju., Stepanov M., Ashikhmin O., Maltseva T. OCR and POP parameters in Plaxis-based numerical analysis of loaded over consolidated soils. *Procedia Engineering*. 2016;165:845–852. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.783>
27. Rayneau-Kirkhope D, Maoa Y., Farr R., Segal J. Hierarchical space frames for high mechanical efficiency: Fabrication and mechanical testing. *Mechanics Research Communications*. 2012;46:41–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechrescom.2012.06.011>

References

1. Temnov V. G. *Structural systems in nature and construction technology*. Leningrad: Stroyizdat; 1987. (In Russ.) Available at: <https://m.eruditor.one/file/1323456/>.
2. Kovyryagin M. A., Ovchinnikov I. G. *Controlled structures (in bridge construction)*. Saratov: Saratov State Technical University; 2003. (In Russ.)
3. Ovchinnikov I. G., Karakhanyan A. B. Applying a bionic approach to the design of pedestrian bridges. In: *Modernization and Scientific Research in the Transport Complex: International Scientific and Practical Conference, Perm, April 23-24, 2015*. Perm: Perm National Research Polytechnic University; 2015. P. 430–436. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23646394>.
4. Ovchinnikov I. G., Ovchinnikov I. I., Karakhanyan A. B. Pedestrian Bridges: modern trends design. Part 1. Using the bionic approach. *Naukovedenie*. 2015;7(2):81TVN215. (In Russ.) Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/81TVN215.pdf>.
5. Ovchinnikov I. I., Karakhanyan A. B., Ovchinnikov I. G., Skachkov Yu. P. *Modern pedestrian and bicycle bridges (basic design concepts and examples)*. Penza: Penza State University of Architecture and Construction; 2018. (In Russ.)
6. Aldersey-Williams H. Towards biomimetic architecture. *Nature Materials*. 2004;3:277–279. <https://doi.org/10.1038/nmat1119>
7. Bonser R. H. C. Patented Biologically-inspired technological innovations: A twenty year view. *Journal of Bionic Engineering*. 2006;3(1):39–41. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(06\)60005-X](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(06)60005-X)
8. Vincent J. F. V., Bogatyreva O. A., Bogatyrev N. R., Bowyer A., Pahl A.-K. Biomimetics: its practice and theory. *Journal of The Royal Society Interface*. 2006;3(9):471–482. <https://doi.org/10.1098/rsif.2006.0127>
9. Mak T.W., Shu L.H. Using descriptions of biological phenomena for idea generation. *Research in Engineering Design*. 2008;19:21–28. <https://doi.org/10.1007/s00163-007-0041-y>
10. Bhushan B. Biomimetics: lessons from nature—an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2009;367(1893):1445–1486. <https://doi.org/10.1098/rsta.2009.0011>
11. Helms M., Vattam S. S., Goel A. K. Biologically inspired design: process and products. *Design Studies*. 2009;30(5):606–622. <https://doi.org/10.1016/J.DESTUD.2009.04.003>
12. Liu K, Jiang L. Bio-inspired design of multiscale structures for function integration. *Nano Today*. 2011;6(2):155–175. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2011.02.002>
13. Santulli C., Langella C. Introducing students to bio-inspiration and biomimetic design: a workshop experience. *International Journal of Technology and Design Education*. 2011;21:471–485. <https://doi.org/10.1007/s10798-010-9132-6>
14. Shu L. H., Ueda K., Chiu I., Cheong H. Biologically inspired design. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 2011;60(2):673–693. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.06.001>
15. Chen P.-Y., McKittrick J., Meyers M. A. Biological materials: Functional adaptations and bioinspired designs. *Progress in Materials Science*. 2012;57(8):1492–1704. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2012.03.00>

16. Knippers J., Speck T. Design and construction principles in nature and architecture. *Bioinspiration & Biomimetics*. 2012;7(1):015002. <https://doi.org/10.1088/1748-3182/7/1/015002>
17. Bar-Cohen Y. Nature as a model for mimicking and inspiration of new technologies. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*. 2012;13(1):1–13. <https://doi.org/10.5139/IJASS.2012.13.1.1>
18. Maglic Michael J. *Biomimicry: Using Nature as a Model for Design*. Masters Theses. 2012. P. 871. <https://doi.org/10.7275/2820720>
19. Murugan R., Wang X., Chen G., Guoping Ch., Peter M., Fu-Zhai C. (eds.) *Biomimetics: Advancing nanobiomaterials and tissue engineering*. Salem: Scrivener Publishing; 2013. Available at: <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/4133/1/21.pdf>.
20. Benyus J. *Biomimicry: Innovation inspired by nature*. New York: William Morrow & Co.; 1997. <https://doi.org/10.1002/inst.12116>
21. Ovchinnikov I. G., Ovchinnikov I. I. Sustainable bridge design in Russia. In: *Railway Transport and Technologies (RTT-2021), Ekaterinburg, November 24–25 2021*. USA: Aip Publishing; 2023. P. 030021. <https://doi.org/10.1063/5.0133764>
22. Freitas Salgueiredo C. Modeling biological inspiration for innovative design. *i3 Conference 2013, October 15 2013*. P. 1–17. Available at: https://i3.cnrs.fr/wp-content/uploads/2016/05/Freitas__conference132013.pdf.
23. Olason A., Tidman, D. *Methodology for topology and shape optimisation in the design process*. Masters Thesis in the Master's programme Solid and Fluid Mechanics. Goteborg: Chalmers University of Technology; 2011. Available at: <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/130136.pdf>.
24. Maltseva T. V., Trefilina E. R. Modeling of the two-phase body with account of carrying abilities of the fluid phase. *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2004;16(11):845–852. (In Russ.) Available at: https://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=mm&paperid=222&option_lang=rus.
25. Borovkov A. I., Burdakov S. F., Klyavin O. I., Melnikova M. P., Mikhailova A. A., Nemov A. S. et al. *Computer Engineering*. St. Petersburg: St. Petersburg and Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; 2012. (In Russ.)
26. Melnikov R., Zazulya Ju., Stepanov M., Ashikhmin O., Maltseva T. OCR and POP parameters in Plaxis-based numerical analysis of loaded over consolidated soils. *Procedia Engineering*. 2016;165:845–852. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.783>
27. Rayneau-Kirkhope D, Maoa Y., Farr R., Segal J. Hierarchical space frames for high mechanical efficiency: Fabrication and mechanical testing. *Mechanics Research Communications*. 2012;46:41–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mechrescom.2012.06.011>



Информация об авторах

Овчинников Игорь Георгиевич, д-р техн. наук, профессор, профессор базовой кафедры АО «Мостострой-11», Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, bridgesar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0617-3132>

Разов Игорь Олегович, канд. техн. наук, доцент, доцент базовой кафедры АО «Мостострой-11», Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-4829-7080>

Кудайбергенов Нурлан Баязитович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры строительства, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан, Knб_1955@mail.ru

Information about the authors

Igor G. Ovchinnikov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor in the Basic Department of JSC "Mostostroy-11", Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, bridgesar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0617-3132>

Igor O. Razov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Basic Department of JSC "Mostostroy-11", Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4829-7080>

Nurlan B. Kudaibergenov, Dr. Sci. (Engineering), Professor, Professor in the Department of Construction, L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan, knб_1955@mail.ru

Получена 15 сентября 2024 г., одобрена 17 ноября 2024 г., принята к публикации 03 декабря 2024 г.
Received 15 September 2024, Approved 17 November 2024, Accepted for publication 03 December 2024

Научная статья / Original research article

УДК 001.89

<https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-107-113>



Совершенствование методики критериальной оценки научных исследований магистров инженерных программ обучения

И. А. Чекардовская ✉, С. М. Чекардовский, М. Н. Чекардовский
Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000,
Российская Федерация

✉ chekardovskajaia@tyuiu.ru



Аннотация. Целью настоящего исследования являлось совершенствование методики оценивания научно-исследовательской деятельности магистров инженерных направлений. Критериальная оценка является одним из основных инструментов учета степени сформированности научно-исследовательских компетенций. На основании обработки данных, полученных от профессиональных экспертов, и требований нормативных документов определены критерии оценки научной работы обучающихся. Введены обозначения параметров кредитной системы оценивания. Предложена методика расчета суммарной оценки научной работы, которая позволяет сформировать целостное и объективное представление о проведенном научном исследовании, не зависящее от мнения руководящего звена или какого-то отдельного человека.

Ключевые слова: критериальная оценка, научное исследование, кредитная система, экспертные методы, интеллектуальная образовательная среда

Для цитирования: Чекардовская И. А., Чекардовский С. М., Чекардовский М. Н. Совершенствование методики критериальной оценки научных исследований магистров инженерных программ обучения. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):107–113. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-107-113>

Improving the criteria-based evaluation assessment for master's research in engineering programs

Irina A. Chekardovskaya ✉, Sergey M. Chekardovsky, Mikhail N. Chekardovsky
Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation

✉ chekardovskajaia@tyuiu.ru



Abstract. This study aimed to improve the methodology for evaluating the research activities of engineering master's students. Criterion-based evaluation is one of the main tools for assessing the development of research competences. Based on data from professional experts and relevant regulatory documents, evaluation criteria for student research were defined. Parameters for a credit-based evaluation system were introduced. The methodology proposed for calculating a composite research assessment provides a holistic and objective evaluation of the research conducted, independent of the opinions of supervisors or individuals.

Keywords: criteria-based evaluation, scientific research, credit system, expert methods, intelligent educational environment

For citation: Chekardovskaya I. A., Chekardovsky S. M., Chekardovsky M. N. Improving the criteria-based evaluation assessment for master's research in engineering programs. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4):107–113. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-107-113>

1. Введение

Компетентностный подход и методологическая основа федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования обуславливают системность подготовки магистров инженерных вузов и формирование у них общекультурных и профессиональных компетенций. Оценка сформированности данных компетенций является важным этапом образовательного процесса, отдельные аспекты которого, в частности, рассмотрены в работах [1, 2]. Методы оценивания, основанные на обработке данных, полученных от профессиональных экспертов [3], представляют ценность лишь тогда, когда результаты опроса проходят математическую обработку [4] и оценку согласованности мнений экспертов, что достаточно трудно осуществить.

Уровень качества научной работы магистров определяется на основании результатов опроса членов экспертной комиссии. Эксперты, привлекаемые к опросу (из числа ученых по направлениям), должны обладать необходимым объемом знаний и в совершенстве знать требования к защите научной работы обучающихся [5, 6]. Однако результаты научной деятельности могут быть по-разному оценены членами комиссии, что может стать причиной конфликта [7]. Самостоятельное оценивание магистрами результатов научных работ могло бы решить данную проблему. Некоторые аспекты данного вопроса, в частности, оценка результатов научной деятельности магистрами на основе разработанной кредитной системы, рассматривались авторами в [3].

Для формирования целостного и объективного представления о проведенных в рамках учебного процесса научных исследованиях необходимо решение следующих задач: актуализация современных подходов к самооцениванию и критериальной оценке научных исследований [8, 9]; разработка кредитной системы обучения; разработка методики критериальной оценки научных исследований для обеспечения индивидуального темпа работы магистров.

В настоящем исследовании предложена усовершенствованная методика оценки научного материала, позволяющая определить его ценность на этапе предпечатной подготовки [3, 6, 10].

2. Материалы и методы

Критериальная оценка научной работы магистра рассчитывается по формулам таблицы 1 [3]. Суммарная оценка научной работы определяется по формуле:

$$\sum K_{1-11} = B_{акт} + Y_{нн} + C_p + \underline{C}_p + Y_{фз} + \underline{P}_{зр} + T_{зр} + B + A_l + H_{тд} + \Gamma. \quad (1)$$

Рассмотрим примеры выставления критериальной оценки.

Пример 1.

Принимаем условие, что анализируемый критерий оценки научной работы равен 1 б (например, $B_{акт1} = 1$ б (критерий «Актуальность темы», согласно таблице 1). Значит, два оставшихся параметра по значимости равны $B_{акт2} = B_{акт3} = 0$ б. Такое же условие действует для остальных десяти критериев оценки научной работы.

Исходные данные:

$$B_{сум} = Y_{сум} = C_{сум} = \underline{C}_{сум} = Y_{сум} = \underline{P}_{сум} = T_{сум} = B_{сум} = A_{сум} = H_{сум} = \Gamma_{сум} = 3 \text{ б (СИБ);}$$

$$\text{если } B_{акт1} = 1 \text{ б, то арифметически } B_{акт2} = B_{акт3} = 0 \text{ б;}$$

$$\text{если } Y_{нн1} = 1 \text{ б, то арифметически } Y_{нн2} = Y_{нн3} = 0 \text{ б;}$$

$$\text{если } C_{p1} = 1 \text{ б, то арифметически } C_{p2} = C_{p3} = 0 \text{ б и так далее:}$$

$$\underline{C}_{p1} = 1 \text{ б, } \underline{C}_{p2} = \underline{C}_{p3} = 0 \text{ б;}$$

$$Y_{пз1} = 1 \text{ б, } Y_{пз2} = Y_{пз3} = 0 \text{ б;}$$

$$\underline{P}_{зр1} = 1 \text{ б, } \underline{P}_{зр2} = \underline{P}_{зр3} = 0 \text{ б;}$$

$$T_{зр1} = 1 \text{ б, } T_{зр2} = T_{зр3} = 0 \text{ б;}$$

Таблица 1. Критерии оценки научной работы
 Table 1. Criteria for evaluation of scientific work

Критерий	Формула	Расшифровка параметров
1. Актуальность темы	$B_{акт} = \frac{B_{акт1} + B_{акт2} + B_{акт3}}{B_{сум}}$	$B_{акт1} = 1 б$ – актуальность темы определена, $B_{акт2} = 0.5 б$ – актуальность частично определена, $B_{акт3} = 0 б$ – неактуальная тема, $B_{сум} = 3 б$ – СИБ**
2. Уровень прогрессивности решаемой проблемы	$y_{nn} = \frac{y_{nn1} + y_{nn2} + y_{nn3}}{y_{сум}}$	$y_{nn1} = 1 б$ – проблема раскрыта, $y_{nn2} = 0.5 б$ – проблема не полностью раскрыта, $y_{nn3} = 0 б$ – проблема не раскрыта, $y_{сум} = 3 б$ – СИБ
3. Степень разработанности темы	$C_p = \frac{C_{p1} + C_{p2} + C_{p3}}{C_{сум}}$	$C_{p1} = 1 б$ – полное описание СРТ отечественными и зарубежными учеными, $C_{p2} = 0.5 б$ – частичное описание СРТ, $C_{p3} = 0 б$ – фактически не описана СРТ, $C_{сум} = 3 б$ – СИБ
4. Цель работы	$Ц_p = \frac{Ц_{p1} + Ц_{p2} + Ц_{p3}}{Ц_{сум}}$	$Ц_{p1} = 1 б$ – представлены направление и результат исследования в соответствии с проблемой, $Ц_{p2} = 0.5 б$ – частично представлены направление и результат исследования в соответствии с проблемой, $Ц_{p3} = 0 б$ – не представлены направление и результат исследования в соответствии с проблемой, $Ц_{сум} = 3 б$ – СИБ
5. Уровень постановки задач	$y_{пз} = \frac{y_{пз1} + y_{пз2} + y_{пз3}}{y_{сум}}$	$y_{пз1} = 1 б$ – задачи раскрывают цель работы, $y_{пз2} = 0.5 б$ – частично раскрывают, $y_{пз3} = 0 б$ – задачи не раскрывают цель работы, $y_{сум} = 3 б$ – СИБ
6. Практическая значимость работы	$П_{зр} = \frac{П_{зр1} + П_{зр2} + П_{зр3}}{П_{сум}}$	$П_{зр1} = 1 б$ – практическая, документально реализованная работа, $П_{зр2} = 0.5 б$ – практические рекомендации производству, $П_{зр3} = 0 б$ – нет практических рекомендаций и реализаций, $П_{сум} = 3 б$ – СИБ
7. Теоретическая значимость работы	$T_{зр} = \frac{T_{зр1} + T_{зр2} + T_{зр3}}{T_{сум}}$	$T_{зр1} = 1 б$ – усовершенствованная математическая модель, $T_{зр2} = 0.5 б$ – выполнены стандартные расчеты, $T_{зр3} = 0 б$ – отсутствует ТЗР, $T_{сум} = 3 б$ – СИБ
8. Уровень выводов	$B = \frac{B_1 + B_2 + B_3}{B_{сум}}$	$B_1 = 1 б$ – соответствуют поставленным задачам, $B_2 = 0.5 б$ – частично соответствуют цели работы, $B_3 = 0 б$ – не соответствуют цели и задачам работы, $B_{сум} = 3 б$ – СИБ
9. Анализ литературы	$A_{л} = \frac{A_{л1} + A_{л2} + A_{л3}}{A_{сум}}$	$A_{л1} = 1 б$ – издана не более 5 лет назад, $A_{л2} = 0.5 б$ – издана 5–10 лет назад, $A_{л3} = 0 б$ – издана более 10 лет назад, $A_{сум} = 3 б$ – СИБ
10. Научно-техническая документация	$H_{мд} = \frac{H_{мд1} + H_{мд2} + H_{мд3}}{H_{сум}}$	$H_{мд1} = 1 б$ – работа выполнена по современным требованиям, $H_{мд2} = 0.5 б$ – выполнена по устаревшим требованиям, $H_{мд3} = 0 б$ – не соответствует техническому уровню современных требований, $H_{сум} = 3 б$ – СИБ
11. ГОСТы	$\Gamma = \frac{\Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3}{\Gamma_{сум}}$	$\Gamma_1 = 1 б$ – применяются новые отечественные и зарубежные ГОСТы, $\Gamma_2 = 0.5 б$ – частично применяются новые ГОСТы, $\Gamma_3 = 0 б$ – применяются устаревшие или отмененные ГОСТы; $\Gamma_{сум} = 3 б$ – СИБ

Примечание: * б – балл; ** СИБ – сумма используемых баллов.

$$\begin{aligned} B_1 &= 1 \text{ б}, B_2 = B_3 = 0 \text{ б}; \\ A_{л1} &= 1 \text{ б}, A_{л2} = A_{л3} = 0 \text{ б}; \\ H_{мд1} &= 1 \text{ б}, H_{мд2} = H_{мд3} = 0 \text{ б}; \\ \Gamma_1 &= 1 \text{ б}, \Gamma_2 = \Gamma_3 = 0 \text{ б}. \end{aligned}$$

Суммарная оценка научной работы по формуле (1) будет $\Sigma K_{1\div 11} = 11 \cdot 1/3 = 3.666$.

Полученный результат можно трактовать следующим образом:

- в соответствии с 5-балльной системой оценивания – отлично;
- в соответствии с рейтинговой 100-балльной системой оценивания – от 91 до 100 баллов.

Пример 2.

Принимаем условие, что анализируемый критерий оценки научной работы равен 0.5 б (например, $B_{акт1} = 0.5 \text{ б}$ (критерий «Актуальность темы», согласно таблице 1). Значит, два оставшихся параметра по значимости равны $B_{акт2} = B_{акт3} = 0 \text{ б}$. Такое же условие действует для остальных критериев оценки.

Исходные данные:

$$B_{сум} = Y_{сум} = C_{сум} = \Pi_{сум} = U_{сум} = T_{сум} = V_{сум} = A_{сум} = H_{сум} = \Gamma_{сум} = 3 \text{ б (СИБ);}$$

$$\text{если } B_{акт2} = 0.5 \text{ б, то арифметически } B_{акт1} = B_{акт3} = 0 \text{ б};$$

$$\text{если } Y_{нн2} = 0.5 \text{ б, то арифметически } Y_{нн1} = Y_{нн3} = 0 \text{ б и так далее:}$$

$$C_{р2} = 0.5 \text{ б}, C_{р1} = C_{р3} = 0 \text{ б};$$

$$\Pi_{р2} = 0.5 \text{ б}, \Pi_{р1} = \Pi_{р3} = 0 \text{ б};$$

$$U_{нз2} = 0.5 \text{ б}, U_{нз1} = U_{нз3} = 0 \text{ б};$$

$$\Pi_{зр2} = 0.5 \text{ б}, \Pi_{зр1} = \Pi_{зр3} = 0 \text{ б};$$

$$T_{зр2} = 0.5 \text{ б}, T_{зр1} = T_{зр3} = 0 \text{ б};$$

$$V_2 = 0.5 \text{ б}, V_1 = V_3 = 0 \text{ б};$$

$$A_{л2} = 0.5 \text{ б}, A_{л1} = A_{л3} = 0 \text{ б};$$

$$H_{мд2} = 0.5 \text{ б}, H_{мд1} = H_{мд3} = 0 \text{ б};$$

$$\Gamma_2 = 0.5 \text{ б}, \Gamma_1 = \Gamma_3 = 0 \text{ б}.$$

Общая суммарная оценка научной работы, определяемая по формуле (1), будет $\Sigma K_{1\div 11} = 11 \cdot 0.5/3 = 1.833 < 3.666$.

Полученный результат можно трактовать следующим образом:

- в соответствии с 5-балльной системой оценивания – хорошо;
- в соответствии с рейтинговой 100-балльной системой оценивания – от 76 до 91 балла.

При наборе нуля баллов по четырем любым критериям по примеру 2 получаем $\Sigma K_{1\div 11} = 7 \cdot 0.5/3 = 1.166$.

Полученный результат означает:

- в соответствии с 5-балльной системой оценивания – удовлетворительно;
- в соответствии с рейтинговой 100-балльной системой оценивания – от 61 до 75 баллов.
- При наборе нуля баллов по пяти любым критериям по примеру 2 получаем $\Sigma K_{1\div 11} = 5 \cdot 0.5/3 = 0.833$.

Полученный результат:

- в соответствии с 5-балльной системой оценивания – неудовлетворительно;
- в соответствии с рейтинговой 100-балльной системой оценивания – от 1 до 60 баллов.

Таким образом, общие суммарные оценки научной работы по формуле (1) будут иметь следующие значения:

$$\Sigma K_{1\div 11} = 3.66 - \text{отлично};$$

$$1.833 \leq \Sigma K_{1\div 11} < 3.66 - \text{хорошо};$$

$$1.166 < \Sigma K_{1\div 11} < 1.833 - \text{удовлетворительно};$$

$$\Sigma K_{1\div 11} \leq 0.833 - \text{неудовлетворительно}.$$

3. Результаты и обсуждение

Критериальная оценка помогает сформировать целостное и независимое представление о процессе обучения и его результатах [6, 10], однако должна быть усовершенствована на основе новых требований [11]. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 15.101-2021¹, авторами были предложены и внесены изменения в методику критериальной оценки научной работы обучающихся (таблица 2).

Таблица 2. Дополнительные критерии оценки научной работы
Table 2. Additional criteria for evaluation of scientific work

Критерий	Формула	Расшифровка параметров
Критерии 1–11 соответствуют данным таблицы 1		
12. Оценка ожидаемых результатов	$O_{цр} = \frac{O_{цр1} + O_{цр2} + O_{цр3}}{O_{сум}}$	$O_{цр1} = 1 б$ – результат полностью соответствует, $O_{цр2} = 0.5 б$ – результат отличается от заявленного, $O_{цр3} = 0 б$ – результат полностью не соответствует; $O_{сум} = 3 б$ – СИБ
13. Уровень обобщения и анализа проработанности вопросов (задач)	$y_{оа} = \frac{y_{оа1} + y_{оа2} + y_{оа3}}{y_{сум}}$	$y_{оа1} = 1 б$ – анализ произведен в полном объеме, $y_{оа2} = 0.5 б$ – обобщение произведено лишь частично, $y_{оа3} = 0 б$ – обобщение не проведено; $y_{сум} = 3 б$ – СИБ
14. Формулирование цели и задач исследования	$\Phi_{ц} = \frac{\Phi_{ц1} + \Phi_{ц2} + \Phi_{ц3}}{\Phi_{сум}}$	$\Phi_{ц1} = 1 б$ – цель и задачи раскрыты и взаимосвязаны, $\Phi_{ц2} = 0.5 б$ – цель и задачи раскрыты и взаимосвязаны частично, $\Phi_{ц3} = 0 б$ – цель и задачи не раскрыты и не взаимосвязаны; $\Phi_{сум} = 3 б$ – СИБ
15. Формулировка гипотезы для технических статей	$\Phi_{г} = \frac{\Phi_{г1} + \Phi_{г2} + \Phi_{г3}}{\Phi_{сум}}$	$\Phi_{г1} = 1 б$ – гипотеза сформулирована четко, $\Phi_{г2} = 0.5 б$ – гипотеза сформулирована не четко, $\Phi_{г3} = 0 б$ – гипотеза отсутствует, $\Phi_{сум} = 3 б$ – СИБ
16. Качество разработки программы и планирование исследования (эксперимента)	$\mathcal{E}_{к} = \frac{\mathcal{E}_{к1} + \mathcal{E}_{к2} + \mathcal{E}_{к3}}{\mathcal{E}_{сум}}$	$\mathcal{E}_{к1} = 1 б$ – программа и планирование исследования соответствует общим требованиям, $\mathcal{E}_{к2} = 0.5 б$ – программа и планирование исследования частично соответствует общим требованиям, $\mathcal{E}_{к3} = 0 б$ – программа и планирование исследования не соответствует общим требованиям, $\mathcal{E}_{сум} = 3 б$ – СИБ
17. Обработка результатов с применением современных методов	$I_{у} = \frac{I_{у1} + I_{у2} + I_{у3}}{I_{сум}}$	$I_{у1} = 1 б$ – современные методы обработки применены корректно, $I_{у2} = 0.5 б$ – современные методы обработки применены некорректно, $I_{у3} = 0 б$ – современные методы обработки не применены, $I_{сум} = 3 б$ – СИБ
18. Оценка результатов исследования (рецензирование)	$P_{у} = \frac{P_{у1} + P_{у2} + P_{у3}}{P_{сум}}$	$P_{у1} = 1 б$ – результаты исследования оценены полностью, $P_{у2} = 0.5 б$ – результаты исследования оценены частично, $P_{у3} = 0 б$ – результаты исследования не оценены, $P_{сум} = 3 б$ – СИБ
19. Определение экономического эффекта	$\mathcal{E} = \frac{\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3}{P_{сум}}$	$\mathcal{E}_1 = 1 б$ – экономический эффект определен корректно, $\mathcal{E}_2 = 0.5 б$ – экономический эффект определен некорректно, $\mathcal{E}_3 = 0 б$ – отсутствует, $\mathcal{E}_{сум} = 3 б$ – СИБ

Определение оценок на основе дополнительных критериев (таблица 2, пункты 12–19) должно осуществляться по аналогии с примерами 1 и 2, прошедшими обсуждение и апробацию.

¹ ГОСТ Р 15.101-2021 Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ = System of product development and launching into manufacture. Procedure of scientific researches and development. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200180680> (дата обращения: 11.06.2024).

Апробация проводилась в рамках предмета «Методология научно-исследовательских работ» среди магистров кафедры транспорта углеводородных ресурсов и кафедры инженерных систем и сооружений Тюменского индустриального университета (всего 60 человек). Студентам для критериальной оценки в соответствии с разработанной методикой были предложены прикладные научно-исследовательские работы, последовательность выполнения которых была следующей [11]: ознакомление с проблемой; ознакомление с литературой; формулирование гипотезы, ожидаемые результаты; оценка ожидаемых результатов; ознакомление с отчетами по научно-техническим темам; аннотации по отчетам; написание рефератов по предложенным темам; критика собранной информации; определение цели и задач работы; определение физической сущности процессов; описание гипотезы; разработка цели и задач эксперимента; планирование эксперимента; составление программы исследований; комплектование средств измерений; сбор информации о средствах проведения эксперимента; обоснование способов измерений; описание проведения эксперимента в лаборатории, на предприятии; описание результатов измерений; описание теории эксперимента; анализ несоответствий; корректировка теоретических моделей; повторение экспериментов их анализ; описание научного результата (гипотезы); описание научных, производственных выводов; написание отчета о НИР [4]; написание доклада; составление технического задания на ОКР [4].

Благодаря использованию усовершенствованной методики критериальной оценки удалось получить более полное представление о новизне научно-исследовательских работ студентов. Эффективность методики (с учетом фактора времени (не менее трех лет)) была подтверждена тем, что в 2024 г. после двойной проверки работ (преподавателями и студентами) с первого раза были приняты в печать 60 научных статей (100 %). Применение методики с учетом критериев 12–19 (таблица 2), сформированных на основе требований ГОСТ Р 15.101-2021, способствует расширению знаний магистров посредством использования широкого спектра научных методов: эмпирических (сравнение, описание, измерение); теоретических (аксиоматический, гипотетико-дедуктивный методы); общенаучных логических методов и приемов познания (анализ, синтез, абстрагирование, идеализация, индукция и дедукция, аналогия, моделирование).

4. Заключение

Усовершенствованная методика критериальной оценки научных исследований магистров, дополненная критериями на основании государственного стандарта, позволяет более полно и достоверно определять степень сформированности научно-исследовательских компетенций у обучающихся и качество проведенных ими исследований. Методика является универсальной и может быть использована для оценки работ как экспертами (преподавателями), так и студентами.



Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Берсенева О. В. Критериальная модель и уровни сформированности исследовательских компетенций будущих учителей математики. *Наукоедение*. 2015;7(5):24PVN515. Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/24PVN515.pdf>.
2. Глаголев М. В., Лапшина Е. Д. Методика расчета эффективности научной деятельности в научно-образовательном центре ДОСигИК ЮГУ. *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*. 2012;2:EDCCmis0004. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21194515>.
3. Чекардовская И. А., Бакановская Л. Н. Программа автоматизации методики критериальной оценки научной работы обучающихся по направлению магистратуры «Нефтегазовое дело». *Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности*. 2019;8(553):44–48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39174868>.

4. Рыжов Э. В., Горленко О. А. *Математические методы в технологических исследованиях*. Киев: Наукова думка; 1990. 184 с.
5. Гуринович А. И. *Как оформить материалы заявки на изобретение и полезную модель*. Минск: Учебно-исследовательское республиканское унитарное предприятие интеллектуальной собственности; 2002. 190 с.
6. Канке В. И. *Основы философии*. Москва: Логос; 2003. 288 с.
7. Герасимов И. Г. *Структура научного исследования*. Москва: Мысль; 1985. 217 с.
8. Белова О. В. *Интеллектуальная собственность. Основные понятия*. Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана; 2004. 119 с.
9. Бонич М. *Научное исследование и научная информация*. Москва: Наука; 1987. 155 с.
10. Котарбинский Т. *Элементы теории познания, формальной логики и методологии наук*. Биробиджан: Тривиум; 2000.
11. Винокурова Н. Ф., Соткина С. А., Ефимова О. Е. Интеграция современного научного знания как ценностно-содержательная основа становления культуры устойчивого развития у будущего учителя географии. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(6):529. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25390114>.

References

1. Berseneva O. V. Criterion model and levels of formed research competence of future teachers of mathematics. *Naukovedeniye*. 2015;7(5):24PVN515. (In Russ.) Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/24PVN515.pdf>.
2. Glagolev M. V., Lapshina E. D. The methodology for estimation of scientific activity in UNESCO department of Yugra State University. *Environmental Dynamics And Global Climate Change*. 2012;2:EDCCmis0004. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21194515>.
3. Chekardovskaya I. A., Bakanovskaya L. N. A program of automation of a criteria assessment methodology for master's students scientific work studying "Oil and Gas Business". *Automation, Telemechanization And Communication In Oil Industry*. 2019;8(553):44–48. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39174868>.
4. Ryzhov E. V., Gorlenko O. A. *Mathematical methods in technological research*. Kiev: Naukova dumka; 1990. (In Russ.)
5. Gurinovich A. I. *How to formalize the application materials for invention and utility model*. Минск: Uchebno-issledovatel'skoye respublikanskoye unitarnoye predpriyatiye intellektual'noy sobstvennosti; 2002. (In Russ.)
6. Kanke V. I. *Fundamentals of philosophy*. Moscow: Logos; 2003. (In Russ.)
7. Gerasimov I. G. *Structure of scientific research*. Moscow: Mysl'; 1985. (In Russ.)
8. Belova O. V. *Intellectual property. Basic concepts*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University; 2004. (In Russ.)
9. Bonitz M. *Scientific research and scientific information*. Moscow: Nauka; 1987. (In Russ.)
10. Kotarbin'skiy T. *Elements of the theory of cognition, formal logic and methodology of sciences*. Birobidzhan: Trivium; 2000. (In Russ.)
11. Vinokurova N. F., Sotkina S. A., Efimova O. E. Integration of modern scientific knowledge as a value-content basis of a culture sustainable future teacher of geography. *Modern problems of science and education*. 2015;(6):529. (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25390114>.



Информация об авторах

Чекардовская Ирина Александровна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, chekardovskajaia@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3580-205X>

Чекардовский Сергей Михайлович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры транспорта углеводородных ресурсов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, chekardovskijsm@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9303-5648>

Чекардовский Михаил Николаевич, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры инженерных систем и сооружений, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, chekardovskijmn@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7166-1936>

Information about the authors

Irina A. Chekardovskaya, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Hydrocarbon Resources Transportation, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, chekardovskajaia@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3580-205X>

Sergey M. Chekardovskiy, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Hydrocarbon Resources Transportation, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, chekardovskijsm@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9303-5648>

Mikhail N. Chekardovskiy, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor in the Department of Engineering Systems and Structures, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, chekardovskijmn@tyuiu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7166-1936>

Получена 10 августа 2024 г., одобрена 13 октября 2024 г., принята к публикации 03 декабря 2024 г.
Received 10 August 2024, Approved 13 October 2024, Accepted for publication 03 December 2024



Разработка онлайн-приложения для автоматизации построения «дома качества» при проведении QFD-анализа

М. С. Остапенко ✉, У. Ш. Холбоева, А. М. Тверяков
Тюменский индустриальный университет, ул. Володарского, 38, Тюмень, 625000, Российская Федерация

✉ ms_ostapenko@mail.ru

► **Аннотация.** QFD-анализ – один из немногих инструментов качества, который позволяет охватить широкий спектр процессов при производстве продукции. Данный анализ позволяет эффективно планировать внедрение различных инструментов технической поддержки, которые дополняют друг друга для определения приоритетности каждой проблемы – несовершенства продукции, низкой конкурентоспособности. Но существенным недостатком QFD-анализа следует считать то, что построение итоговой таблицы/матрицы – «дома качества», требует значительных затрат времени и сил. В ходе исследования были изучены существующие решения для сокращения времени на проведение анализа и определены основные параметры их реализации. На основании полученных данных были выявлены основные достоинства и недостатки существующих решений и разработано собственное веб-приложение. Цель статьи – разработка онлайн-приложения, направленного на упрощение и ускорение QFD-анализа. Веб-приложение, разработанное в рамках данного исследования, способствует автоматизации процесса проведения QFD-анализа, что значительно повысит эффективность работы специалистов в области управления качеством и позволит сократить время на данную процедуру.

Ключевые слова: «дом качества», QFD-анализ, управление качеством, инструменты качества

Для цитирования: Остапенко М. С., Холбоева У. Ш., Тверяков А. М. Разработка онлайн-приложения для автоматизации построения «дома качества» при проведении QFD-анализа. *Архитектура, строительство, транспорт*. 2024;(4):114–123. <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-114-123>

Developing an online application for automating "house of quality" construction for QFD analysis

Maria S. Ostapenko ✉, Umida S. Kholboeva, Andrey M. Tveryakov
Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St., Tyumen, 625000, Russian Federation

✉ ms_ostapenko@mail.ru

► **Abstract.** QFD analysis is among the few quality tools that can encompass a wide range of processes in product manufacturing. This analysis enables effective planning for the implementation of various technical support tools, which complement each other in prioritizing each problem - product imperfections and low competitiveness. A significant drawback of QFD analysis is the considerable time and effort required to construct the final table/matrix, known as the "house of quality". The study investigated existing solutions aimed at reducing analysis time and identified the main parameters for their implementation. Based on the collected data, the key strengths and weaknesses of existing solutions were identified, and a web application

was developed. This article aimed to develop an online application that simplifies and accelerates QFD analysis. The developed application facilitates the automation of the QFD analysis process, significantly enhancing the efficiency of quality management professionals and reducing the time required for this procedure.

Keywords: "house of quality", QFD analysis, quality management, quality tools

For citation: Ostapenko M. S., Kholboeva U. S., Tveryakov A. M. Developing an online application for automating "house of quality" construction for QFD analysis. *Architecture, Construction, Transport*. 2024;(4):114–123. (In Russ.) <https://doi.org/10.31660/2782-232X-2024-4-114-123>



1. Введение

В настоящее время автоматизация внедряется в различные области управления проектами, что значительно повышает эффективность работы специалистов не только в области управления качеством, но и во всех сферах производства продукции и предоставления услуг потребителям. Обеспечение удовлетворенности потребителей исходя из их ожиданий и потребностей является основной целью производства. Необходимость проведения анализа ожиданий и перевод их в конкретные технические характеристики продукции становится основной целью данного рода исследований. Одним из наиболее популярных и эффективных инструментов, позволяющих интерпретировать ожидания потребителей в технические характеристики, проводить глубокий анализ рынка и учитывать при этом мнение экспертов в области производства определенной продукции, является анализ Quality Function Deployment (QFD-анализ). Данный инструмент применяется в машиностроении [1–4], авиастроении [5], оборонной промышленности [6], пищевой промышленности [7], медицине [8, 9], образовании [10], в банковской [11], а также в социальной [12] сферах. Но у данного анализа есть существенный недостаток: без автоматизации процесс проведения QFD-анализа значительно затягивается, что сказывается на задержках в разработке продукции и увеличении издержек. Классический метод проведения QFD-анализа и, как результат, построения «домов качества» требует значительных временных затрат, что приводит к отказу от данного инструмента качества в пользу более простых и быстрых [1, 3, 13–15].

Данное исследование было проведено с целью разработки онлайн-приложения, которое способствовало бы упрощению и ускорению QFD-анализа при помощи автоматизации процесса построения «дома качества». Приложение позволяет авторизованным пользователям создавать QFD-команды, где они могут в онлайн-режиме работать над проектом, сохранять результаты исследований в базу данных, обрабатывать их в автоматизированном режиме и оформлять «дом качества» для дальнейшего использования.

Применение разработанного веб-приложения способствует повышению эффективности процедуры обработки ожиданий потребителей, увеличению скорости обработки полученных данных и принятия решений командой, а также оптимизации работы QFD-команд.

2. Материалы и методы

QFD является методологией, которая была разработана для систематической интерпретации потребностей и пожеланий потребителей и перевода их в конкретные технические параметры и характеристики продукции или услуг. Данная методология позволяет внедрять определенные производственные процессы и процедуры для реализации продукции или услуг, соответствующих ожиданиям и потребностям потребителей. Основные принципы QFD-анализа:

1. Регулярная оценка ожиданий и потребностей потребителей, которая заключается в определении динамически развивающихся пожеланий и предпочтений потребителей по отношению к определенной продукции или услуге, при этом оценка должна отвечать не только требованиям потребителей, но и техническим возможностям производственных процессов в организации.

- Интерпретация потребностей потребителей и перевод их в технические характеристики и операции проектирования продукции. Определение должно проводиться при помощи кросс-функциональных команд, что обеспечит глубокий анализ полученных результатов исследований.
- Создание кросс-функциональных команд с целью интеграции различных областей производственного процесса, начиная от маркетинга и заканчивая проектированием производственных процедур, для обеспечения учета всех потребностей потребителей на всех этапах разработки продукции или услуг.
- Постоянное совершенствование процессов как часть управления качеством, которое позволяет производству адаптироваться к постоянно меняющимся требованиям рынка и оперативно реагировать на реакцию потребителей.

Приведенные выше принципы позволяют QFD-анализу быть универсальным инструментом качества во всех сферах производства или предоставления услуг.

QFD-анализ широко применяется на различных этапах производственного процесса, самым распространенным примером может служить разработка и проектирование новых продуктов или услуг, но также он может служить инструментом для совершенствования уже существующих продуктов или услуг с учетом изменений на рынке или ожиданий потребителей или лечь в основу методологии для проектирования производственных процессов и улучшения уже существующих бизнес-процессов и операций [1, 8, 12, 14].

В качестве объекта исследования был выбран металлорежущий инструмент (токарные резцы).

3. Результаты и обсуждение

Был проведен обзор наиболее популярных решений для автоматизации процесса применения QFD-анализа на рынке, проанализированы их сильные и слабые стороны для дальнейшего применения при разработке приложения (таблица 1).

Проведенный анализ существующих программ позволил определить основные характеристики, которые были учтены при разработке собственного приложения. Приложение должно обеспечивать следующие требования: давать возможность одновременного доступа всех пользователей к рабочему документу и предоставлять доступ к обмену данными, интерфейс приложения должен быть интуитивно понятным и применять метод рока-уоке для анализа пользовательских историй, иметь гибкие инструменты для формирования «дома качества», давать пользователям возможность доступа к приложению через веб-браузер без необходимости установки дополнительных программных обеспечений, поддерживать различные форматы данных.

Таблица 1. Анализ существующих решений для проведения QFD-анализа
Table 1. Review of existing solutions for conducting QFD analysis

Название программы	Сильные стороны	Слабые стороны
QI Macros for Excel	Интеграция с Excel, простота использования, широкий набор инструментов для проведения анализа QFD	Ограниченные возможности для совместной работы, зависимость от Excel, необходимость дополнительного обучения пользователей
QFD Online	Возможность совместной работы и обмена данными, доступ через веб-браузер, гибкие функции настройки	Платная подписка, возможные ограничения в функциональности в зависимости от выбранного тарифного плана
TeamworkIQ	Автоматизация рабочих процессов, гибкие инструменты для совместной работы, удобство использования	Ориентированность на широкий спектр бизнес-процессов, а не только на QFD, что может затруднить поиск специализированных инструментов
QFD Designer	Широкий набор функций для проведения анализа, поддержка различных форматов данных, интеграция с другими инструментами	Платная лицензия, ограниченные возможности для совместной работы

Описание архитектуры онлайн-приложения. На основе проведенного анализа полученных данных была создана архитектура онлайн-приложения, которая состоит из клиентской и серверной частей, базы данных, веб-сервера, а также модуля обработки полученной от клиента информации.

Разработка клиентской части приложения (frontend) включала в себя проектирование пользовательского интерфейса. Работа с приложением, с точки зрения пользователя, заключается в вводе необходимых данных для построения «дома качества», а именно: формы для регистрации и авторизации, формы для введения и выбора технических характеристик и ожиданий потребителей, формы для ранжирования показателей, формы для работы с пользователями и также формы с работой базы данных. Приложение разработано с использованием языка программирования JavaScript для клиентской части, а также HTML и CSS для создания гипертекстового интерфейса.

Серверная часть приложения (backend) занимается обработкой полученных от пользователей данных, взаимодействует с базой данных для сохранения, редактирования и удаления этих данных, обрабатывает запросы на формирование таблицы «дома качества», генерирует и отправляет ссылки участникам команды QFD для доступа к редактированию форм таблицы «дома качества», обрабатывает полученные ранги и формирует итоговую таблицу. Серверная часть приложения разработана на языке программирования Python с использованием встроенных библиотек и фреймворков.

База данных SQLite хранит полученные из форм данные, предоставляет доступ к их обработке, хранит информацию о пользователях, сгенерированные ссылки доступа к формам, а также сформированную базу технических характеристик, к которым предоставляет доступ в формах приложения.

Модуль обработки данных анализирует полученную от пользователей информацию и выполняет необходимые вычисления для формирования окончательных результатов в таблице «дома качества». Модуль отправки уведомлений обеспечивает своевременную отправку уведомлений авторизованным пользователям со ссылками на таблицу «дома качества». Модуль аутентификации и авторизации управляет доступом пользователей к функционалу онлайн-приложения и предоставляет возможность аутентификации пользователей перед получением доступа к данным и внесением изменений в таблицу. Модуль интерфейса загрузки таблицы позволяет пользователям получать доступ к загрузке таблицы «дома качества» после завершения анализа и внесения данных.

Веб-сервер обеспечивает связь между клиентской и серверной частями приложения и обрабатывает HTTP-запросы от пользователей и передает их соответствующим модулям приложения.

Основной функционал и особенности приложения. Приложение для построения «дома качества» состоит из нескольких блоков, а сам процесс включает в себя семь этапов работы. Приложение представляет собой онлайн-платформу, в которой пользователь поэтапно работает над проектом. У проекта «дома качества» может быть только один владелец, который согласовывает промежуточные и итоговые результаты, но у пользователя или владельца проекта может быть в работе несколько проектов, находящихся на разных этапах. Работа пользователя с приложением начинается на этапе авторизации либо регистрации, новые пользователи в качестве логина вводят адрес электронной почты, куда впоследствии будут приходить уведомления, а также пароль.

После авторизации пользователь попадает на главную страницу приложения. В верхнем правом углу находится кнопка «Инструкция» с подробной инструкцией по работе с приложением, также на верхней панели находится меню для простой навигации по сайту. Для удобства пользователей в приложении также имеется боковое меню, доступ к которому можно получить, наведя мышью на верхний правый угол сайта.

Из верхнего и бокового меню пользователи получают доступ к проектам, участникам QFD-команды, базе данных технических характеристик и личному кабинету.

В разделе «QFD-команда» пользователь может добавлять участников к себе в команду (при наличии зарегистрированной учетной записи на сайте) либо отправлять ссылки для регистрации

неавторизованным пользователям, так как редактирование и создание проектов возможно только для авторизованных пользователей. Если пользователь уже имеет учетную запись в приложении, владелец проекта может его найти в разделе «Поиск участников», добавить его к себе в команду и в дальнейшем при проведении проекта выбрать его из списка для отправки уведомлений для совместной работы над проектом. Поиск участников проводится по электронной почте пользователя. Структура раздела «QFD-команда» приведена на рис. 1.

В случаях, когда владелец проекта не создал команду QFD, ему дается возможность добавления новых участников при помощи указания адреса электронной почты, куда также будет выслана ссылка для регистрации. После регистрации проект будет доступен новому пользователю в разделе «Проекты».

В разделе «База данных» хранится база технических характеристик, касающихся объекта исследования. На данный момент база технических характеристик токарных резцов собрана из ГОСТов, применяющихся на территории РФ [1]. Внешний вид страницы приведен на рис. 2.

Построение «дома качества» начинается с раздела «Проекты», где пользователю дается возможность не только создать новый проект, но и управлять уже существующими. Ранее упоминалось, что пользователь может быть как владельцем проекта, так и участником команды, но пользователь, который создал проект, автоматически становится его владельцем без возможности передачи прав. После создания нового проекта пользователю необходимо выбрать дополнительные колонки и строки «дома качества», указать количество исследуемых конкурентов и название проекта. На рис. 3 приведен внешний вид страницы со структурой «дома качества». Дополнительные колонки являются рекомендательными и не входят в основу «дома качества», который состоит из блоков: «Потребительские ожидания», «Технические характеристики», «Матрица взаимосвязей», «Корреляционная матрица технических характеристик» и «Ранг значимости потребительских ожиданий».

После определения структуры «дома качества» владелец проекта вводит результат анализа «голоса потребителей» в виде характеристик потребительских ожиданий и формирует команду QFD. Указанным участникам на адрес электронной почты отправляется ссылка со страницей ранжирования потребительских ожиданий, также новый проект появляется у участника в разделе «Проекты». На самой странице с определением рангов потребительских ожиданий есть подсказка для пользователей с описанием значения каждого ранга, после указания всех рангов участник проекта сохраняет данные. После получения рангов от всех участников команды QFD формируется промежуточная

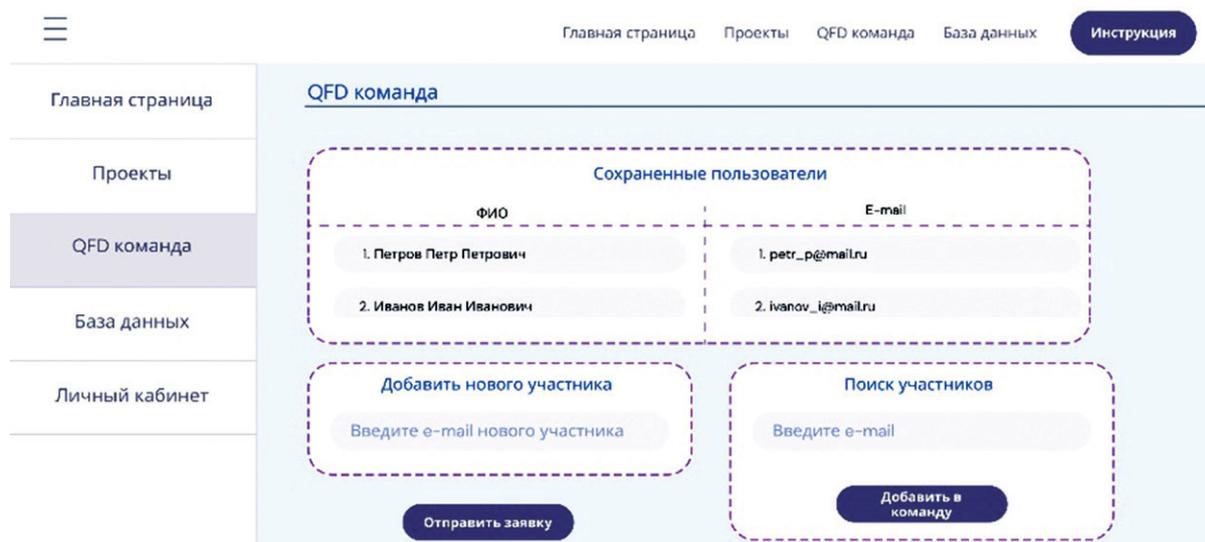


Рис. 1. Структура страницы «QFD-команда» (фото авторов)
Fig. 1. Structure of "QFD Team" page (authors' photo)



Рис. 2. Страница «База данных» (фото авторов)
Fig. 2. "Database" page (authors' photo)

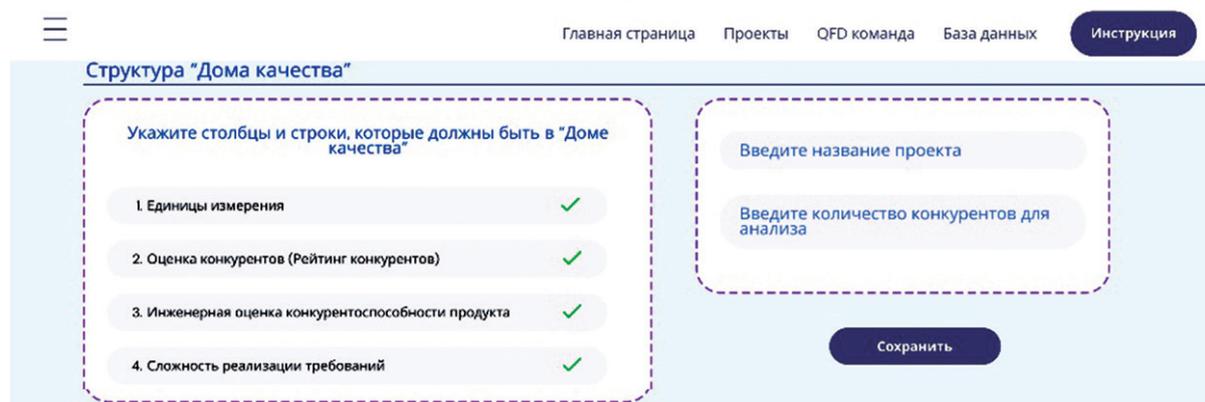


Рис. 3. Страница «Структура "дома качества"» (фото авторов)
Fig. 3. "House of quality" structure page (authors' photo)

таблица с потребительскими предпочтениями и отправляется на согласование владельцу проекта, после согласования результатов ранжирования проект переходит на следующий этап – указания технических характеристик.

Технические характеристики могут вноситься непосредственно владельцем проекта либо он может выбрать их из базы данных. Сама база технических характеристик является уникальным инструментом для сокращения времени на определение необходимых требований. Также при определении технических характеристик пользователю необходимо указать единицы измерения (кг, г, т и др.). На рис. 4 изображен вид страницы определения технических характеристик, владелец проекта в правой части окна приложения либо вводит собственные технические характеристики, либо выбирает из базы данных и добавляет их в правую часть приложения. После определения всех характеристик сохраняет данные, и далее формируется промежуточная таблица «дома качества», которая отправляется всем участникам команды QFD для определения взаимосвязей.

Каждому участнику команды QFD на адрес электронной почты приходит ссылка на промежуточную таблицу. В правой части приложения находятся подсказки для пользователей. Им необходимо установить взаимосвязь между техническими характеристиками и потребительскими ожиданиями, определить уровень зависимости технических характеристик между собой, оценить уровень выполнения потребительских требований для подобной продукции, существующей на рынке, провести инженерную оценку технических характеристик рассматриваемой продукции с конкурирую-

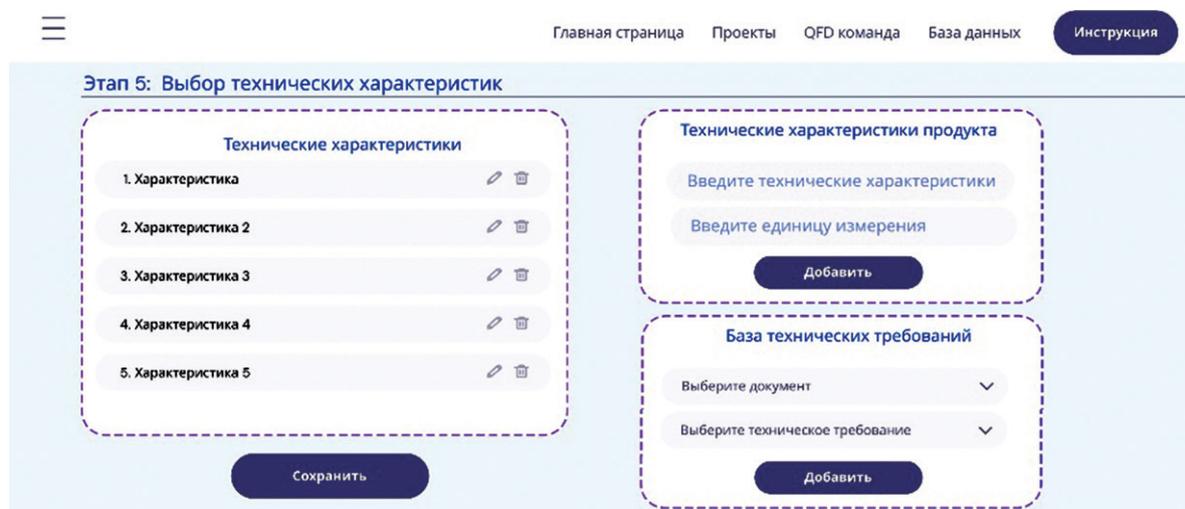


Рис. 4. Страница «Выбор технических характеристик» (фото авторов)
Fig. 4. "Technical feature selection" page (authors' photo)

щей, установить сложность реализации инженерных характеристик, а также определить направления для их улучшения (рис. 5).

После введения всех рангов формируется таблица со средними показателями, полученными от команды, и отправляется на согласование владельцу проекта. Если владелец проекта не будет удовлетворен результатами (ввиду опечаток, значительного расхождения значений и т. д.), он может сверить данные с членом команды и скорректировать оценки на этапе согласования. После согласования результатов формируется окончательный вариант таблицы «дома качества», после этого необходимо завершить проект. Полученную таблицу пользователи могут скачивать либо возвращаться к ней, но после завершения проекта у них не будет возможности редактировать данные.

Особенность приложения в том, что оно дает доступ к многопользовательской работе над одним проектом, каждый участник имеет возможность вносить, изменять и удалять введенные данные, также онлайн-платформа не привязывает пользователей к определенному времени работы над проектом и не требует установки сторонних приложений. Простота интерфейса позволяет пользователям легко ориентироваться в работе над проектом и на сайте приложения. На данном этапе проекта проводится апробация удобства и скорости работы при проведении QFD-анализа специалистами и рассчитывается время при применении данного инструмента.

4. Заключение

Данная работа посвящена описанию функционала работы созданного в ходе исследования онлайн-приложения для построения «дома качества» при проведении QFD-анализа. В ходе разработки были учтены лучшие практики существующих программ и приложений для проведения QFD-анализа на рынке, исследование позволило определить ключевые характеристики, необходимые для создания эффективного приложения: одновременный доступ всех пользователей к рабочему документу и обмену данными; интуитивно понятный интерфейс приложения; гибкие инструменты для формирования «дома качества»; доступ пользователей к приложению через веб-браузер (без установки дополнительных программных обеспечений); поддержка различных форматов данных. Разработанное приложение предоставляет возможность работы над проектом всем участникам команды и обладает базой собранных технических характеристик, что обеспечивает сокращение времени на проведение анализа. Оно также обладает доступом через веб-браузер, что делает его удобным для использования на различных устройствах без необходимости установки дополнительного программного обеспечения.

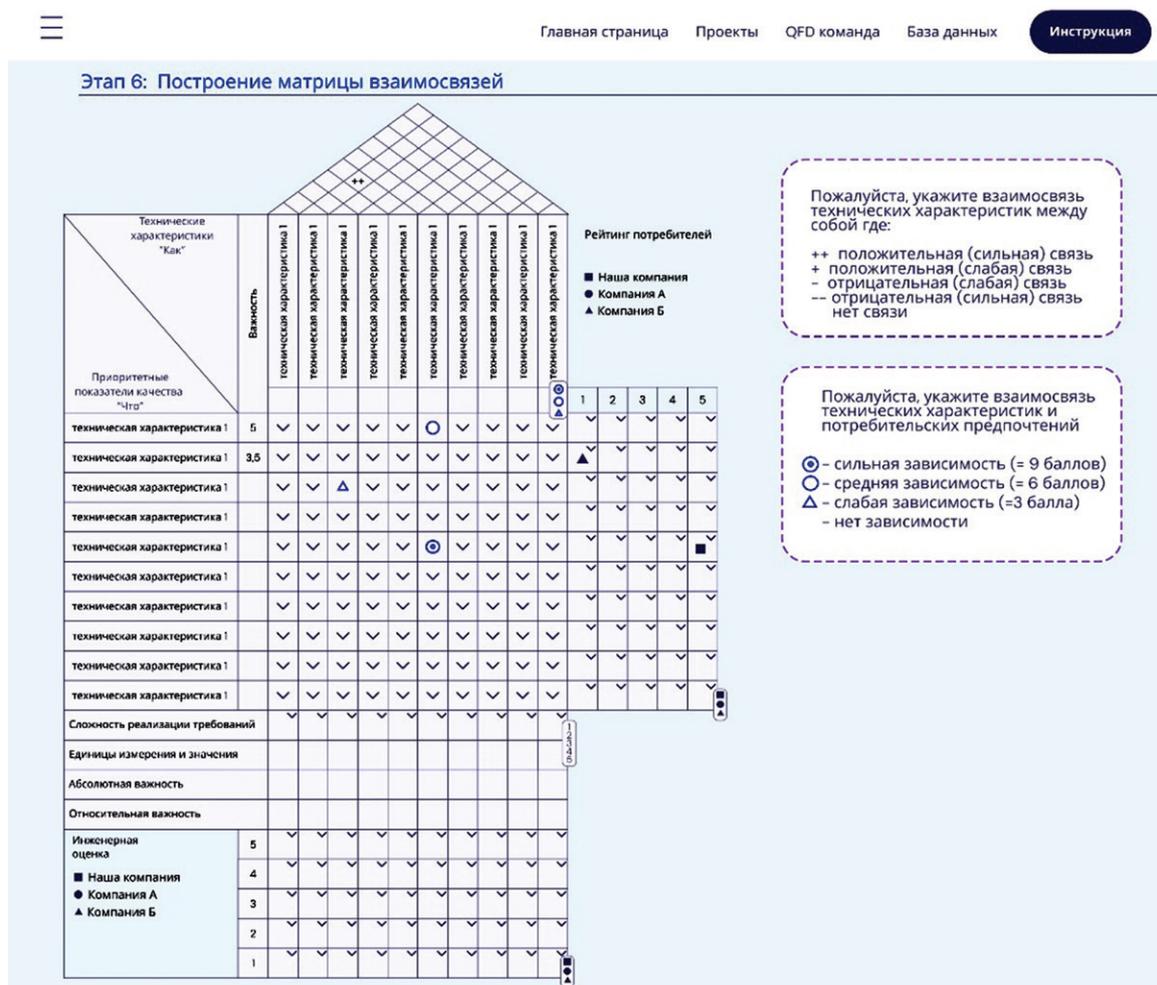


Рис. 5. Страница «Построение матрицы взаимосвязей» (фото авторов)
 Fig. 5. "Relationship matrix construction" page (authors' photo)

В перспективе для развития приложения необходимо сосредоточиться на более глубоком анализе потребительских предпочтений, интеграции различных инструментов качества с QFD и расширении функционала приложения. Планируется сосредоточиться на удовлетворении потребностей пользователей программного обеспечения, повышении качества проведения анализа и обеспечении конкурентоспособности на рынке программного обеспечения для инструментов управления качеством. Данное приложение является инструментом для организаций, которые стремятся повысить качество своих продуктов и услуг путем более эффективного понимания и учета потребностей клиентов.



Вклад авторов. Авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Authors contributions. The authors contributed equally to the preparation of this publication.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Остapенко М. С. Применение методики QFD для стандартизации параметров металлорежущего инструмента. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* 2020;22(1):31–42. Режим доступа: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2020/2020_1_31_42.pdf.

2. Фирсов А.С. QFD-метод макропроектирования металлорежущих станков. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2003;(5):72–77.
3. Шакаруба Н. Ж., Леонов О. А., Темасова Г. Н., Вергазова Ю. Г., Черкасова Э. И., Голиницкий П. В., Антонова У. Ю. *Совершенствование QFD-анализа для оценки качества специальной техники*. Москва: Логос; 2020. 90 с.
4. Fatma Kutlu Gündoğdu, Cengiz Kahraman. A novel spherical fuzzy QFD method and its application to the linear delta robot technology development. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2020;87:103348. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103348>
5. Norhafizah Dasuki, Fairuz Izzuddin Romli. Quality function deployment for new standing cabin concept of commercial transport aircraft. *Journal of Mechanical Engineering*. 2018;SI(5):247–257. Available at: https://www.researchgate.net/publication/327528753_Quality_Function_Deployment_for_new_standing_cabin_concept_of_commercial_transport_aircraft.
6. Лаптев Н. И., Зорин Ю. В., Газизулина А. Ю., Карсунцева А. А. Развитие методологии QFD на примере производства удлиненных кумулятивных зарядов. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2016;18(4):53–57. Режим доступа: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2016/2016_4_53_57.pdf.
7. Kai-Jung Chen, Tsu-Ming Yeh, Fan-Yun Pai, Der-Fa Chen. Integrating refined Kano model and QFD for service quality improvement in healthy fast-food chain restaurants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018;(7):1310. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071310>
8. Gonzalez M. E. Improving customer satisfaction of a healthcare facility: reading the customers' needs. *Benchmarking: An International Journal*. 2019;(3):854–870. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2017-0007/full/html>.
9. Alireza Alinezad, Azadeh Seif, Nima Esfandiari. Supplier evaluation and selection with QFD and FAHP in a pharmaceutical company. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013;68(1):355–364. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-4733-3>.
10. Karanjekar S. B., Lakhe R. R., Deshpande V. S. Building QFD model for technical education: Students as stakeholders. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*. 2018;8(1):621–634. Available at: https://www.academia.edu/36512606/BUILDING_QFD_MODEL_FOR_TECHNICAL_EDUCATION_STUDENTS_AS_STAKEHOLDERS.
11. Kazemi M. A. A., Poorebrahimi A., Estemdad N. Developing the model of CRM and QFD in the banking industry by customer participation in service delivery. *European Journal of Business and Social Sciences*. 2014;3(1):137–145. Available at: https://www.academia.edu/6940240/DEVELOPING_THE_MODEL_OF_CRM_AND_QFD_IN_THE_BANKING_INDUSTRY_BY_CUSTOMER_PARTICIPATION_IN_SERVICE_DELIVERY.
12. Pandey R., Mukherjee T. Fuzzy QFD for decision support model in evaluating basic cause of children falling into Blue whale game Mumbai. In: *2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), Mumbai, 13 August, 2018*. Mumbai, India; 2018. P. 108–110. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2018.00032>.
13. Кушнир В. И. Опыт внедрения статистических методов управления качеством в системе TechnologiCS. *CADmaster*. 2003;(2):14–18. Режим доступа: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_17_technologics.html.
14. Klochkov Y. S., Tveryakov A. M. Approaches to the improvement of quality management methods. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2020;11(2):163–172. <https://doi.org/10.1007/s13198-019-00939-x>
15. Papić L., Klochkov Yu., Aronov J., Gazizulina A. *Systems reliability: statistical analysis and applications*. Belgrad: The Research Center of Dependability and Quality Management DQM; 2022. 164 p.

References

1. Ostapenko M. S. Application of the QFD method for standardization of metal-cutting tool parameters. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2020;22(1):31–42. (In Russ.) Available at: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2020/2020_1_31_42.pdf.
2. Firsov A. S. QFD Method for macro-design of metal-cutting machines. *Vestnik of Vitebsk State Technological University*. 2003;(5):72–77. (In Russ.)
3. Shkaruba N. Zh., Leonov O. A., Temasova G. N., Vergazova Yu. G., Cherkasova E. I., Golitskiy P. V., Antonova U. Yu. *Improving QFD analysis for evaluating the quality of special machinery*. Moscow: Logos; 2020. (In Russ.)
4. Fatma Kutlu Gündoğdu, Cengiz Kahraman. A novel spherical fuzzy QFD method and its application to the linear delta robot technology development. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2020;87:103348. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2019.103348>
5. Norhafizah Dasuki, Fairuz Izzuddin Romli. Quality function deployment for new standing cabin concept of commercial transport aircraft. *Journal of Mechanical Engineering*. 2018;SI(5):247–257. Available at: https://www.researchgate.net/publication/327528753_Quality_Function_Deployment_for_new_standing_cabin_concept_of_commercial_transport_aircraft.

- researchgate.net/publication/327528753_Quality_Function_Deployment_for_new_standing_cabin_concept_of_commercial_transport_aircraft.
6. Laptev N. I., Zorin Y. V., Gazizullina A. Y., Karsuntseva A. A. QFD methodology development on the example to elongated shaped charge. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016;18(4):53–57. Available at: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2016/2016_4_53_57.pdf.
 7. Kai-Jung Chen, Tsu-Ming Yeh, Fan-Yun Pai, Der-Fa Chen. Integrating refined Kano model and QFD for service quality improvement in healthy fast-food chain restaurants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018;(7):1310. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071310>
 8. Gonzalez M. E. Improving customer satisfaction of a healthcare facility: reading the customers' needs. *Benchmarking: An International Journal*. 2019;(3):854–870. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2017-0007/full/html>.
 9. Alireza Alinezad, Azadeh Seif, Nima Esfandiari. Supplier evaluation and selection with QFD and FAHP in a pharmaceutical company. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2013;68(1):355–364. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-4733-3>.
 10. Karanjekar S. B., Lakhe R. R., Deshpande V. S. Building QFD model for technical education: Students as stakeholders. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*. 2018;8(1):621–634. Available at: https://www.academia.edu/36512606/BUILDING_QFD_MODEL_FOR_TECHNICAL_EDUCATION_STUDENTS_AS_STAKEHOLDERS.
 11. Kazemi M. A. A., Poorebrahimi A., Estemdad N. Developing the model of CRM and QFD in the banking industry by customer participation in service delivery. *European Journal of Business and Social Sciences*. 2014;3(1):137–145. Available at: https://www.academia.edu/6940240/DEVELOPING_THE_MODEL_OF_CRM_AND_QFD_IN_THE_BANKING_INDUSTRY_BY_CUSTOMER_PARTICIPATION_IN_SERVICE_DELIVERY.
 12. Pandey R., Mukherjee T. Fuzzy QFD for decision support model in evaluating basic cause of children falling into Blue whale game Mumbai. In: *IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), Mumbai, 13 August, 2018*. Mumbai, India; 2018. Pp. 108–110. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2018.00032>.
 13. Kushnir V. I. Experience of implementing statistical methods of quality management in TechnologiCS system. *CADmaster*. 2003;(2):14–18. (In Russ.) Available at: https://www.cadmaster.ru/magazin/articles/cm_17_technologics.html.
 14. Klochkov Y. S., Tveryakov A. M. Approaches to the improvement of quality management methods. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. 2020;11(2):163–172. <https://doi.org/10.1007/s13198-019-00939-x>
 15. Papić L., Klochkov Yu., Aronov J., Gazizullina A. *Systems reliability: statistical analysis and applications*. Belgrad: The Research Center of Dependability and Quality Management DQM; 2022. 164 p.



Информация об авторах

Остапенко Мария Сергеевна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры станков и инструментов, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, ms_ostapenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3838-3815>

Холбоева Умида Шавкатовна, обучающийся, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, umida.kholboeva@mail.ru

Тверяков Андрей Михайлович, канд. техн. наук, доцент, директор Нефтегазового института, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация, tverykov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6444-2559>

Information about the authors

Maria S. Ostapenko, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Machines and Tools, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, ms_ostapenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3838-3815>

Umida S. Kholboeva, Student, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, umida.kholboeva@mail.ru

Andrey M. Tveryakov, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Director of Oil and Gas Institute, Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation, tverykov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6444-2559>

Получена 14 мая 2024 г., одобрена 08 октября 2024 г., принята к публикации 15 октября 2024 г.
Received 14 May 2024, Approved 08 October 2024, Accepted for publication 15 October 2024

Правила подготовки рукописи

1. К предоставляемой рукописи должны быть приложены 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. Поступающие в редакцию рукописи должны содержать не менее 75 % оригинального текста.

3. Рукописи проходят процедуру двойного слепого рецензирования с целью их экспертной оценки. Рецензии хранятся в редакции в течение 5 лет.

4. Технические требования к тексту.

Объем статьи – не менее 5 и не более 15 страниц. Все графические объекты должны быть предоставлены отдельными файлами. Фото в формате JPG (не менее 300 dpi). Ссылки на рисунки в тексте обязательны. Объем иллюстративных материалов не должен превышать 1/3 общего объема рукописи. Список литературы (не менее 15 источников) должен содержать ссылки на актуальные научные работы отечественных и зарубежных специалистов. Объем самоцитирования – не более 30 % от общего числа ссылок.

5. Рукопись статьи должна включать сведения на русском и английском языках: название статьи; инициалы и фамилию автора, название и полный почтовый адрес организации, город, название страны; аннотацию (не более 500 знаков); ключевые слова (до 10 слов и (или) словосочетаний), список литературы; вклад авторов; сведения о наличии либо отсутствии конфликта интересов авторов статьи; информацию об авторах (полные Ф.И.О., должность, ученая степень, звание, место работы, телефон, e-mail, ORCID). Основной текст статьи представляется на языке оригинала (русский или английский).

6. Структура основного текста статьи, согласно стандарту IMRAD, должна включать: введение (актуальность, обзор литературы по теме исследования, постановка проблемы, формулирование цели и задач исследования); материалы и методы (методы и схемы, материалы, приборы, оборудование и другие условия проведения экспериментов/наблюдений); результаты и обсуждение (анализ полученных результатов, их интерпретация, сравнение с результатами других авторов); заключение (итоги научного исследования).

7. Плата за опубликование рукописей не взимается.

Ссылка на журнал «Архитектура, строительство, транспорт» обязательна!



Manuscript preparation guidelines

1. Submitted manuscripts should include a cover letter from the author to the journal's editor-in-chief, stating that the article has not been published previously; and an expert evaluation from the author's institution attesting to the manuscript's suitability for open publication.

2. Manuscripts submitted to the editorial office must contain at least 75% original text.

3. Manuscripts corresponding to the subject matter of the journal undergo a double-blind peer review procedure for the purpose of their expert evaluation. The reviews are kept in the editorial office for 5 years.

4. Article format requirements.

The article should be no less than 5 and no more than 15 pages. All graphic objects must be submitted in separate files. Raster images (photos) are submitted in JPG format (at least 300 dpi). References to figures in the text are required. The volume of illustrative materials should not exceed 1/3 of the total manuscript volume. The list of references (at least 15 sources) must contain links to current scientific works of national and foreign specialists. Self-citations should not exceed 30 % of the total number of links.

5. The manuscript must include, in both Russian and English, the following: article title; author's initials and last name; the organization's name and full mailing address including city and country; an abstract (max. 500 characters); keywords (up to 10 terms); references; author contributions; conflict of interest declaration; and author information (full name, title, academic degree, academic rank, affiliation, phone number, email, ORCID). The body of the article must be in the original language (Russian or English).

6. The main body of the article, following the IMRAD standard, should be structured as follows: introduction (background, literature review, problem statement, research aim and objectives); materials and methods (methodology, materials, instrumentation, and conditions); results and discussion (analysis of results, interpretation, comparison with other findings); conclusion (summary of the research).

7. There is no fee for the publication of manuscripts.

A link to journal "Architecture, Construction, Transport" is required!

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

