

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный
архитектурно-строительный университет

ВЕСТНИК

ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Tom 26

№ 1 2024
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с апреля 1999 г.

[illegible]

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ляхович Л.С., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, профессор кафедры строительной механики ТГАСУ, г. Томск; lls@tsuab.ru
Акимов П.А., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, ректор МГСУ, г. Москва; pavel.akimov@gmail.com
Белостоцкий А.М., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, ген. директор научно-исследовательского центра СтаДиО, г. Москва; amb@stadyo.ru
Беккер А.Т., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, научный руководитель политехнического института ДВФУ, г. Владивосток; bekker.at@dvfu.ru
Бондаренко И.А., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, директор НИИТИАГ, филиал ЦНИИП Минстроя России, г. Москва; niitag@yandex.ru
Власов В.А., докт. физ.-мат. наук, профессор, советник РААСН, ректор ТГАСУ, г. Томск; rector@tsuab.ru
Волокитин Г.Г., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой прикладной механики и материаловедения ТГАСУ, г. Томск; vgg-tomsk@mail.ru
Волокитин О.Г., докт. техн. наук, профессор, советник РААСН, проректор по учебной работе ТГАСУ, г. Томск; study@tsuab.ru
Галютдинов З.Р., докт. техн. наук, доцент, зав. кафедрой железобетонных конструкций ТГАСУ, г. Томск; zgalyautdinov@tsuab.ru
Гныря А.И., докт. техн. наук, профессор, советник РААСН, профессор кафедры технологии строительного производства ТГАСУ, г. Томск; tsp_tgasu@mail.ru
Деттярев В.В., докт. техн. наук, профессор, советник РААСН, зав. кафедрой гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск; ngasu_gts@mail.ru
Есаулов Г.В., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, проректор по научной работе МАРХИ, г. Москва; gvesaulov@raasn.ru
Ефименко В.Н., докт. техн. наук, профессор кафедры автомобильных дорог ТГАСУ, г. Томск; svefimenko_80@mail.ru
Ефименко С.В., докт. техн. наук, проректор по научной работе ТГАСУ, г. Томск; svefimenko@tsuab.ru
Зайченко Н.М., докт. техн. наук, профессор, ректор ДонНАСА, г. Макеевка; mailbox@donnasa.ru
Ильичев В.А., докт. техн. наук, профессор, вице-президент РААСН, академик РААСН, г. Москва; ilyichev@raasn.ru
Каприелов С.С., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, зав. лабораторией НИИЖБ, г. Москва; kaprielov@masterbeton-mb.ru
Копаница Н.О., докт. техн. наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ, г. Томск; kopanitsa@mail.ru
Кудяков А.И., докт. техн. наук, советник РААСН, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ, г. Томск; kudyakov@tsuab.ru
Кумпьяк О.Г., докт. техн. наук, советник РААСН, профессор кафедры железобетонных конструкций ТГАСУ, г. Томск; kumpyak@yandex.ru
Лютос В.А., докт. техн. наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ, г. Томск; valotov@ipu.ru
Люкия Тсантилис, доцент кафедры охраны окружающей среды, земельных ресурсов и организации инфраструктуры Туринского политехнического университета, г. Турин, Италия; lucia.tsanilis@polito.it
Морозов В.И., докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, зав. кафедрой строительных конструкций СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург; morozov@spbgasu.ru
Овсянников С.Н., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой архитектуры гражданских и промышленных зданий ТГАСУ, советник РААСН, г. Томск; ovssn@tsuab.ru
Орозбеков М.О., докт. техн. наук, профессор ОмГУ, г. Ом, Кыргызская Республика; oshsu@mail.ru
Поляков Е.Н., докт. искусствоведения, канд. архитектуры, профессор кафедры теории и истории архитектуры ТГАСУ, член Союза архитекторов России, г. Томск; polyakov-en@ya.ru
Ситникова Е.В., канд. архитектуры, доцент кафедры реставрации и реконструкции архитектурного наследия ТГАСУ, г. Томск; elensi@vtomsk.ru
Сколубович Ю.Л., докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, ректор НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск; sjl1964@mail.ru
Тептаев Б.Б., докт. техн. наук, профессор, академик Национальной инженерной академии РК и Международной академии транспорта, г. Алматы, Республика Казахстан; bagdatbt@yahoo.com
Травуш В.И., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, вице-президент РААСН, г. Москва; travush@mail.ru
Цветков Н.А., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой теплогазоснабжения ТГАСУ, г. Томск; nac@tsuab.ru
Шубенков М.В., докт. архитектуры, профессор, вице-президент РААСН, зав. кафедрой градостроительства МАРХИ, г. Москва; shubenkov@gmail.com
Шубин И.Л., докт. техн. наук, чл.-корр. РААСН, директор НИИСФ РААСН, г. Москва; niisf@niisf.ru
Чулин В.Р., докт. техн. наук, профессор, советник РААСН, зав. кафедрой городского строительства и хозяйства ИНИТУ, г. Ижевск; chupinvr@existu.edu

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ

Журнал «Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета» (подписной индекс 20424) включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по строительству и архитектуре, утвержденный решением Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Решение Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 17.06.2011 г.

Электронные версии журнала «Вестник ТГАСУ» представлены на сайтах «Научная электронная библиотека»: www.elibrary.ru; «Российская книжная палата»: <https://online.bookchamber.ru/book/ru/>; «Российская государственная библиотека»: <https://www.rsl.ru/>; «Томская областная универсальная научная библиотека имени А.С. Пушкина»: <https://www.lib.tomsk.ru>; «EBSCO»: <https://www.ebsco.com>; «КиберЛенинка»: <https://cyberleninka.ru>; «IPRbooks»: www.iprbookshop.ru, а также на сайте «Вестник ТГАСУ»: <https://vestnik.tgasu.ru>

Научное издание

ВЕСТНИК ТГАСУ № 1 – 2024

ISSN 1607-1859 (для печатной версии) ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций ПИ №77-9483 от 30 июля 2001 г.
Журнал перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС77-81849 от 24 сентября 2021 г.

Учредитель: ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

Редакторы Т.С. Володина, В.Н. Коршунова, Е.А. Кулешова. Переводчик М.В. Воробьева. Дизайн Е.И. Кардаш.

Технический редактор Н.В. Удлер.

Подписано в печать 22.02.2024. Формат 70×108/16. Гарнитура Таймс.

Уч.-изд. л. 14,22. Усл. печ. л. 16,89. Тираж 200 экз. Зак. № 13.

Дата выхода: 29.02.2024.

Цена: свободная.

Адрес редакции/издателя: 634003, Томск, пл. Соляная, 2, тел. (3822) 65-37-61, e-mail: vestnik_tgasu@tsuab.ru
Отпечатано в ООП ТГАСУ, Томск, ул. Партизанская, 15

16+

© Томский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2024

The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

VESTNIK
TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO
ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA

JOURNAL
OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Volume 26

№ 1 2024
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Published since April 1999

[illegible]

EDITORIAL STAFF

Lyakhovich L.S., DSc, Professor, RAACS Academician, Structural Mechanics Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; lls@tsuab.ru
Akimov P.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS, Rector, MGSU, Moscow, Russia; pavel.akimov@gmail.com
Belostotskii A.M., DSc, Professor, RAACS Academician, Director General Research Center StaDiO, Moscow, Russia; amb@stadyo.ru
Bekker A.T., DSc, Professor, RAACS Academician, Academic Adviser, Polytechnic Institute of Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; becker.at@dvfu.ru
Bondarenko I.A., DSc, Professor, RAACS Academician, Director Scientific Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning, Branch of the Central Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, Moscow, Russia; niitag@yandex.ru
Chupin V.R., DSc, Professor, Head of Urban Planning and Economy Dept., National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russia; chupinvr@ex.istu.edu
Degtyarev V.V., DSc, Professor, RAACS Adviser, Head of Hydraulic Engineering, Safety and Ecology Dept., Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russia; ngasu_gts@mail.ru
Efimenko V.N., DSc, Professor, Automobile Roads Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; svefimenko_80@mail.ru
Efimenko S.V., DSc, Vice-Rector for Research, TSUAB, Tomsk, Russia; svefimenko@tsuab.ru
Esaulov G.V., DSc, Professor, RAACS Academician, Vice-Rector for Research of Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia; esaulovgv@raasn.ru
Galyautdinov Z.R., DSc, A/Professor, Head of Reinforced Concrete Construction Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; zgalyautdinov@tsuab.ru
Gnyrya A.I., DSc, Professor, RAACS Adviser, Construction Engineering Technology Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; tsp_tgasu@mail.ru
Il'ichev V.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President, Moscow, Russia; ilyichev@raasn.ru
Kaprielov S.S., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Head of Laboratory at Gvozdev Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete, Moscow, Russia; kaprielov@masterbeton-mb.ru
Kopanitsa N.O., DSc, Professor, Building Materials and Technologies, TSUAB, Tomsk, Russia; kopanitsa@mail.ru
Kudryakov A.I., DSc, Professor, RAACS Adviser, Head of Construction Engineering Technology Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; kudryakov@tsuab.ru
Kumpyak O.G., DSc, Professor, RAACS Adviser, Reinforced Concrete and Masonry Structures Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; kumpyak@yandex.ru
Lotov V.A., DSc, Professor, Construction Engineering Technology Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; valotov@tpu.ru
Morozov V.I., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Head of Engineering Constructions Dept., SPSUACE, Saint-Petersburg, Russia; morozov@spbgasu.ru
Orozbekov M.O., DSc, Professor, Rector, Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic; oshsu@mail.ru
Ovsyannikov S.N., DSc, Professor, RAACS Adviser, Head of Architecture of Civil and Industrial Buildings Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; ovssn@tsuab.ru
Polyakov E.N., DArts, Professor, Member of the Union of Architects of Russia; Theory and History of Architecture Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; polyakov-en@ya.ru
Skolubovich Yu.L., DSc, Professor, RAACS Correspondent Member, Rector, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russia; sjl1964@mail.ru
Sitnikova E.V., DArts, A/Professor, Restoration and Renovation of Architectural Heritage Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; elensi@vtomske.ru
Shubenkov M.V., DArts, Professor, Head of Urban Planning Dept., Moscow Architectural Institute (State Academy), RAACS Vice President, Moscow, Russia; shubenkov@gmail.com
Shubin I.L., DSc, RAACS Corresponding Member, Director Structural Physics Research Institute, RAACS, Moscow, Russia; niisf@niisf.ru
Teltaev B.B., DSc, Professor, Academician, National Academy of Engineering of Kazakhstan and International Academy of Transport, Almaty, Kazakhstan; bagdatbt@yahoo.com
Travush V.I., DSc, Professor, RAACS Vice President, RAACS Academician, Moscow, Russia; travush@mail.ru
Tsantilis L., A/Professor, Environment, Land and Infrastructure Engineering Dept., Polytechnic University of Turin, Turin, Italy; lucia.tsantilis@polito.it
Tsvetkov N.A., DSc, Professor, Head of Heat and Gas Supply Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; nac@tsuab.ru
Vlasov V.A., DSc, Professor, RAACS Adviser, Rector, TSUAB, Tomsk, Russia; rector@tsuab.ru
Volokitin G.G., DSc, Professor, Head of Applied Mechanics and Materials Science Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; vgg-tomsk@mail.ru
Volokitin O.G., DSc, Professor, RAACS Adviser, Vice-Rector for Academic Affairs, TSUAB, Tomsk, Russia; study@tsuab.ru
Zaichenko N.M., DSc, Professor, Rector, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka, Russia; mailbox@donnasa.ru

INFORMATION FOR AUTHORS AND READERS

Journal «Journal of Construction and Architecture» is included in the list of the peer reviewed scientific journals and editions published in the Russian Federation. The main results of PhD and DSc theses obtained in construction and architectural field studies should be published in this journal. The journal was approved by the decision of the Supreme Attestation Commission of the Ministry of Science and Higher Education.

Decision of the Supreme Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of Russia,
17 June, 2011

The electronic version of the journal is available at www.elibrary.ru; <https://online.bookchamber.ru/book/ru/>; <https://www.rsl.ru/>; <https://www.lib.tomsk.ru/>; <https://www.ebsco.com>; <https://cyberleninka.ru>; www.iprbookshop.ru; <https://vestnik.tsuab.ru>

Scientific Edition
VESTNIK TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA
JOURNAL OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE № 1 – 2024
Print ISSN 1607-1859 Online ISSN 2310-0044

The journal is registered by the Federal Agency on Press and Mass Communications of the Russian Federation PI N77-9483, 30 July, 2001.
The journal is re-registered by the Federal Supervision Service for Communication, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)
PI N FS77-81849, September 24, 2021.

Founder: Tomsk State University of Architecture and Building

Editors T.S. Volodina, V.N. Korshunova, E.A. Kuleshova. Translator M.V. Vorob'eva. Design: E.I. Kardash. Technical editor N.V. Udler
Passed for printing: 22.02.2024. Paper size: 70×108/16. Typeface: Times New Roman Issue date: 29.02.2024.
Published sheets: 14,22. Conventional printed sheets: 16,89. Print run: 200 copies Price: free.
Order N 13.

Editorial address: 2, Solyanaya Sq., Tomsk, 634003
Phone: +7 (3822) 653-761; E-mail: vestnik_tgasu@tsuab.ru
TSUAB Printing House, 15, Partizanskaya Str., Tomsk, 634003



© Tomsk State University
of Architecture and Building, 2024

С О Д Е Р Ж А Н И Е

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Мицаева Х.В., Поляков Е.Н. Роль ландшафтного дизайна в благоустройстве детских игровых площадок.....	9
Залесов В.Г., Манонина Т.Н., Перетягина Е.В. Здание Общественного собрания в Томске: вопросы реставрации.....	25
Кулаков Д.С., Карелин Д.В. Нормирование информационных параметров виртуального паспорта для цифровой модели здания	41
Солдаткина С.А. Перспективы развития жилища на территориях, предназначенных для дачного и садоводческого строительства (на примере Ростова-на-Дону).....	56
Астафьев С.А., Астафьева П.С. Влияние средств индивидуальной мобильности на повышение комфортности городской среды.....	70
Савчук Д.Ю., Смолина О.О. Особенности разработки и аспекты применения экологического паспорта природопользования на основе разновидностей древесно-кустарниковых пород для озеленения города Новосибирска	83

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Ле Чунг Хиеу, Нгуен Ван Дат, Нго Суан Хунг. К вопросу о состоянии применения BIM-технологий в строительной отрасли Вьетнама	96
Курасов О.А., Бурков П.В. Стохастический анализ структурной надежности сложных технических систем	108
Подшивалов И.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния металлического каркаса промышленного здания из трубчатых ферм и решетчатых прогонов покрытия с учетом несовершенств	118

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Василовская Н.Г., Баранова Г.П., Роот Л.О., Верещагин В.И. Исследование теплоизоляционных материалов с использованием заполнителей на основе вспененных природных силикатов	127
--	-----

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Продоус О.А., Якубчик П.П., Терехов Л.Д., Шлычков Д.И. Повышение точности гидравлического расчета напорных трубопроводов из полимерных и металлополимерных труб	140
--	-----

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Саенко И.А., Шпенькова Т.А., Саенко Я.Д. Исследование системы управления инвестиционно-строительными проектами с применением технологии информационного моделирования.....	152
Каширипур М.М., Николюк В.А. Возможности искусственного интеллекта в строительной индустрии	163

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Никифоров С.В. Особенности конструкции фундамента высотного здания «Лахта Центра»	179
--	-----

C O N T E N T S

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Mitsaeva Kh.V., Polyakov E.N. Landscape design in children's playgrounds	9
Zalesov V.G., Manonina T.N., Peretyagina E.V. Public meeting building in Tomsk: Problems of restoration.....	25
Kulakov D.S., Karelin D.V. Normalization of information parameters of virtual passport for digital building model	41
Soldatkina S.A. Housing development on country territories in Rostov-on-Don	56
Astafiev S.A., Astafieva P.S. Influence of personal mobility devices on environmental amenities	70
Savchuk D.Yu., Smolina O.O. Development and application of environmental passport of hardy-shrub species for Novosibirsk landscaping	83

BUILDING AND CONSTRUCTION

Le Trung Hieu, Nguyen Van Dat, Ngo Xuan Hung. BIM technology application in construction industry of Vietnam	96
Kurasov O.A., Burkov P.V. Stochastic analysis of structural reliability of complex engineering systems.....	108
Podshivalov I.I. Stress-strain state model of building metal frame made of tube trusses and bar joists with regard to geometrical imperfections	118

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Vasilovskaya N.G., Baranova G.P., Root L.O., Vereshchagin V.I. Heat-insulating foam-silicate materials	127
--	-----

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Prodous O.A., Yakubchik P.P., Terekhov L.D., Shlychkov D.I. Hydraulic calculation improvement of polymer and metal-polymer pressure pipelines	140
---	-----

CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

Saenko I.A., Shpen'kova T.A., Saenko Ya.D. Investment and construction project management system with the use of building information modeling	152
Kashiripoor M.M. Artificial intelligence in construction industry	163

BASES, FOUNDATIONS AND SUBSTRUCTURES

Nikiforov S.V. High-rise building foundation design of the Lakhta Center	179
---	-----

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 26. № 1. С. 9–24.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 26 (1): 9–24.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 721.012

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-9-24

EDN: AQDOEQ

РОЛЬ ЛАНДШАФТНОГО ДИЗАЙНА В БЛАГОУСТРОЙСТВЕ ДЕТСКИХ ИГРОВЫХ ПЛОЩАДОК

Хава Виситаевна Мицаева, Евгений Николаевич Поляков

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Элементы ландшафтного дизайна, включаемые в систему благоустройства современных детских игровых площадок, имеют целью обеспечение здоровья и безопасности детей разного возраста, создание благоприятной среды для их общения и общего физического развития. В настоящее время игровые площадки содержат образовательные элементы, способствуя развитию детей в когнитивном, социальном и эмоциональном планах.

Рассмотрен современный отечественный и зарубежный опыт организации ландшафтного дизайна детских площадок, новейшие приёмы создания разнообразных игровых пространств из естественных и искусственных ландшафтных элементов.

В результате исследования выявлены ключевые факторы и аспекты, которые требуются для современного и безопасного ландшафтного дизайна игровых площадок с учетом современных потребностей детей, климатических условий, а также важности включения природной среды.

Ключевые слова: градостроительство, дворовые территории, благоустройство территории, ландшафтный дизайн, функциональная организация, детская игровая площадка, геопластика, безопасность, природные элементы, малые архитектурные формы

Для цитирования: Мицаева Х.В., Поляков Е.Н. Роль ландшафтного дизайна в благоустройстве детских игровых площадок // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 9–24. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-9-24. EDN: AQDOEQ

ORIGINAL ARTICLE

LANDSCAPE DESIGN IN CHILDREN'S PLAYGROUNDS

Khava V. Mitsaeva, Evgeny N. Polyakov

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The landscape design includes the improvement of modern children's playgrounds and is aimed at ensuring health and safety of children of various ages, creating a favorable environment for their communication and general physical development. Nowadays, children's playgrounds include educational elements, contributing to the development of children cognition, socialization and emotions. Russian and foreign experience and the latest techniques of landscaping playgrounds are considered herein.

Keywords: urban planning, children's playground, landscape design, environment

For citation: Mitsaeva Kh.V., Polyakov E.N. Landscape design in children's playgrounds. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 9–24. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-9-24. EDN: AQDOEQ

Введение

Специалисты в области ландшафтной архитектуры часто сталкиваются с очень важной проблемой – разработкой высококачественных открытых пространств для детей, ориентированных на их потребности. Такие пространства охватывают разнообразные формы, начиная от небольших игровых площадок для различных возрастных групп и заканчивая обширными городскими парками. В свете постоянных изменений в предпочтениях и потребностях детей ключевым аспектом в проектировании становится гибкость, что позволяет адаптироваться к эволюции детских запросов.

Ландшафтный дизайн детских игровых площадок не просто стремится удовлетворить функциональные потребности, но и является источником вдохновения и стимулирует развитие детей. Эта область включает в себя создание привлекательной и интеллектуально насыщенной среды, способствующей формированию физических и познавательных навыков, а также обогащению детской фантазии за счет внедрения различных элементов растительности. Разнообразие текстур, форм и цветового решения в ландшафтном дизайне направлено на формирование увлекательного и многостороннего пространства, которое способствует развитию творческого мышления детей.

Таким образом, ландшафтный дизайн игрового пространства становится неотъемлемой частью образовательной и развивающей среды, обеспечивая не только функциональные, но и эстетически приятные и стимулирующие условия для детей.

Значение ландшафтного дизайна для детских игровых площадок

Ландшафт детской площадки является ключевым фактором при планировании и контроле процесса проектирования [1]. Разнообразие окружающего ландшафта делает игру более интересной, позволяет детям расширять границы своих возможностей, стать физически развитыми [2]. Он включает в себя

размещение игровых элементов, выбор материалов, ландшафтных форм и растительности, а также учет окружающей среды и климатических условий.

Особенности ландшафта могут существенно влиять на проектирование детской площадки. В городской среде, внутри кварталов и жилых районов, обычно встречаются ровные или слегка наклонные участки, что ограничивает возможности их целевого использования. Однако, если детская площадка размещается в парковой зоне или на участках с разнообразным рельефом (горы, островки, побережья озер и рек), можно воспользоваться этими особенностями, воплотив их в ландшафтном дизайне и расширив функциональное назначение площадки.

Рассмотрим несколько важных аспектов, которые следует учесть в ландшафтном дизайне детских игровых площадок.

Функциональность. Создание детских игровых площадок требует тщательного проектирования, учитывающего многообразие возрастных групп и индивидуальных потребностей детей. Эффективное пространство должно быть разнообразным и адаптивным, способным удовлетворять различные потребности детей на разных этапах их развития и предоставлять им возможности для физического, социального и когнитивного роста.

Важным аспектом является разнообразие игровых элементов, предназначенных для поддержания активного взаимодействия. Для младших возрастных групп включение безопасных и стимулирующих песочных площадок может быть ключевым элементом, в то время как наличие горок, качелей и специализированных спортивных зон будет способствовать физическому развитию более старших детей. Вдобавок к этому важно предусмотреть зоны для творчества и фантазии, где дети могут свободно выражать свою креативность и развивать свое воображение.

Проектирование таких площадок требует не только учета структурных и функциональных аспектов, но и понимания детской психологии. Внимание к деталям, таким как цветовая гамма, текстуры и формы игровых элементов, является неотъемлемой частью создания привлекательной и вдохновляющей среды. В результате детские игровые площадки, спроектированные с учетом разнообразных интересов и индивидуальных потребностей детей, могут стать не только местом их развлечения, но и площадкой для всестороннего развития и социального взаимодействия.

Доступность и инклюзивность. Ландшафтный дизайн должен быть основан на принципах доступности и инклюзивности. Площадка должна быть доступной для детей с ограниченными возможностями, способствовать их включению в игровую активность. Удобные пути передвижения, подъездные пути для колясок, специальные игровые элементы и зоны для отдыха – все это важные аспекты, которые следует учесть при проектировании инклюзивных детских игровых площадок.

Например, сенсорные игровые площадки позволяют обеспечить возможность игры для детей с ограниченными физическими возможностями или аутизмом, которые могут быть особенно чувствительными к перевозбуждению. Сенсорные конструкции воздействуют на органы чувств через зрение, осязание и слух. Для детей, которым необходима сенсорная стимуляция, важ-

но использовать яркие и текстурированные элементы ландшафта, которые способствуют их эмоциональному развитию. Кроме того, сенсорные ландшафтные элементы, такие как лабиринты из кустов или дорожки, имитирующие природный ландшафт, улучшают визуальное восприятие и активизируют тактильные ощущения детей.

Безопасность. Одним из основных аспектов ландшафтного дизайна детских игровых площадок является обеспечение безопасности детей. Необходимо учитывать возможные риски (падение с высоты, физические травмы и т. п.).

В целях обеспечения безопасности детей, находящихся на площадке, настоятельно рекомендуется применять элементы прочного ограждения, например заборы. Они необходимы для предотвращения возможности самовольного ухода детей с предназначенной для них игровой зоны, а также для их защиты от неблагоприятных внешних факторов (порывистый ветер, посторонние люди, агрессивные подростки, транспортные средства, управляемые неадекватными водителями, и т. п.). Такие ограждения должны быть прочны, надежны и безопасны. Необходимо, чтобы они были достаточно высокими, чтобы дети не могли перелезть через них, а также имели минимальные промежутки между прутьями или панелями, чтобы избежать застревания в них конечностей. В качестве материала для ограждения обычно используется стальная или алюминиевая мелкая ячейчатая сетка, сочетающая прочность и прозрачность. Это позволяет родителям и воспитателям следить за детьми, не мешая им играть. Другой востребованный материал – искусственный пластик. Пластиковые ограждения имеют яркую расцветку и оригинальные силуэты, что делает площадку более привлекательной. Подобные яркие конструкции в какой-то мере способствуют эстетическому воспитанию детей [3].

Кроме того, материал или покрытие ограждений должны быть стойкими к коррозии, не допускать деформации от влаги, солнечного излучения и перепадов температуры [4].



Рис. 1. Металлический забор¹
Fig. 1. Metal fence

Периметральные ограждения детской игровой площадки могут быть различных типов, в зависимости от конкретного дизайна и требований безопасности. Приведем несколько примеров типовых периметральных ограждений.

1. Металлические заборы обычно состоят из прочных вертикальных стоек, горизонтальных перекладин и панелей. Они могут быть выполнены из стальных или алюминиевых материалов. Такие заборы обеспечивают прочную защиту и имеют долгий срок службы (рис. 1).

2. Деревянные ограждения также создают привлекательную обстановку на детской игровой площадке. Они могут быть выполнены из пропитанной лаком древесины, которая защищена от погодных условий и гниения. Деревянные ограждения обычно имеют вертикальные доски, перила и горизонтальные брусья (рис. 2).



Рис. 2. Деревянное ограждение¹
Fig. 2. Wooden fence

3. Сетчатые ограждения, выполненные из прочной металлической или пластиковой сетки, гарантируют хорошую видимость и позволяют детям наблюдать за происходящим вокруг, а родителям – следить за детьми. Они обычно устанавливаются на металлические рамы, могут иметь встроенные двери или ворота для удобного доступа на игровую площадку (рис. 3).

4. Пластиковые ограждения широко используются на детских площадках из-за своей легкости, прочности и безопасности. Они могут быть выполнены в виде панелей или разноцветных перегородок, соединенных вместе. Пластиковые ограждения обычно имеют гладкую поверхность, лишены острых углов и кромок (рис. 4).



Рис. 3. Сетчатое ограждение²
Fig. 3. Mesh fencing



Рис. 4. Пластиковое ограждение³
Fig. 4. Plastic fencing

Факторы, влияющие на ландшафтный дизайн детских игровых площадок

При проектировании ландшафтного дизайна детских игровых площадок необходимо учитывать ряд факторов, которые могут влиять на создание безопасной и стимулирующей среды. Перечислим некоторые из них.

¹ URL: <https://domnamne.ru/zabory/osobennosti-vybora/kakie-byvayut-ograzhdeniya-dlya-detskih-ploshhadok-montazhnye-raboty>

² URL: <https://gardis.ru/about/news/vybiraem-pravilnoe-ograzhdenie-dlya-detskoy-ploshchadki/>

³ URL: <https://www.tekplas.co.uk/product/childrens-play-area-fencing/>

Климатические условия. При проектировании детских игровых площадок обязательным фактором является учет климатических условий, в которых эти площадки будут функционировать. Температура, количество осадков, интенсивность ветра – все эти аспекты имеют большое значение при выборе материалов и конструктивных элементов площадок для обеспечения их долговечности, безопасности и функциональности. Например, в регионах с высокой влажностью или большим количеством осадков использование «антискользящих» покрытий на игровых поверхностях становится особо важным. Покрытия, специально разработанные для предотвращения скольжения, обеспечивают безопасность детей во время дождя или снегопада. Такие материалы создают устойчивую поверхность, минимизируя риск травм и обеспечивая детям возможность безопасно и активно играть в любую погоду.

Кроме того, климатические условия также влияют на выбор материалов для конструкций и элементов игровых площадок. Морозостойкость и устойчивость к влаге и ультрафиолетовому излучению становятся важными параметрами для обеспечения долгого срока службы игровых структур. Такой подход гарантирует, что детские игровые площадки будут приспособлены к экстремальным климатическим условиям и сохраняют свою функциональность и безопасность на протяжении длительного времени.

Уровень безопасности. Оценка и учет рисков, связанных с безопасностью детей, является важной задачей при проектировании детских игровых площадок, включающей в себя анализ возможных опасных ситуаций, ограждение от автомобильных дорог, использование безопасных экологических материалов и поверхностей, обеспечение видимости для наблюдения со стороны взрослых. Также детские площадки необходимо защитить от пыли, насекомых, выгула домашних животных и от запахов хозяйственных площадок. Площадки должны быть окружены зеленью, защищены от ветра, обеспечены солнечным светом и в то же время иметь достаточно тени и хорошо проветриваться [5].

Устойчивость и экологичность. Ландшафтный дизайн игровых площадок должен обеспечивать эстетическую привлекательность и гармоничное взаимодействие с природной средой. При выборе материалов и растительности уделяется внимание их устойчивости к внешним воздействиям и экологической безопасности. Использование натуральных перерабатываемых материалов, устойчивых к высоким температурам и повышенной влажности, способствует созданию экологичного ландшафтного дизайна.

При проектировании игровых площадок учитываются особенности местного климата. Оптимальные места для создания игровых зон часто располагаются на склонах холмов и около водных источников. В зависимости от климатических условий выбирают участки, защищенные от ветра и обеспечивающие теневую зону для создания комфортных условий детской игры.

Характер игр. Шумные и тихие игры оказывают различное влияние на композиционное решение детской игровой площадки. Акустика игр становится ключевым аспектом, особенно когда активные игры создают высокий уровень шума, что может стать проблемой, если площадка расположена близко к жилым зданиям или другим учреждениям. Создание баланса между шумными и тихими играми, соблюдение правил безопасности и регулирование

уровня шума являются не менее важными аспектами при благоустройстве детской площадки.

Озеленение. Использование различных элементов озеленения в ландшафтном дизайне детской игровой площадки, таких как газоны, цветочные клумбы, деревья, кустарники, камни и геопластика, добавляет разнообразие и красоту площадке. Они предоставляют детям возможность играть на мягкой поверхности, наслаждаться красотой природы, укрыться в теневых зонах и взаимодействовать с природными элементами. Учет безопасности и постоянный уход за элементами ландшафтного дизайна помогут создать безопасную и вдохновляющую среду для детей. Применение разнообразных элементов позволяет создать уникальные и привлекательные детские игровые площадки, способствуя физическому, интеллектуальному и эмоциональному развитию детей.

Газон обеспечивает мягкую поверхность для игр и физической активности детей. Это комфортное место для бега, прыжков и игр на открытом воздухе (рис. 5). Газон также может быть использован для размещения спортивных площадок, где дети могут играть в футбол, баскетбол и другие игры. При выборе газона для детской игровой площадки важно учитывать его способность к восстановлению после нагрузок и использовать сорта газонных трав, которые хорошо переносят активное воздействие. Травяное покрытие также экологически дружелюбно, помогает сохранять почву, поглощать дождевую воду, снижает температуру окружающего воздуха и улавливает пыль и загрязнения. Оно также устойчиво к износу и может прослужить долгое время.



Рис. 5. Газон в роли основания для детской площадки⁴

Fig. 5. Playground lawn

Цветочные клумбы добавляют красоту и обогащают цветовой решение детской игровой площадки. Разнообразие цветов и форм растений привлекает внимание детей и создает приятную атмосферу. Цветочные клумбы могут быть организованы вокруг игровых конструкций или расположены в центре площадки. Растения с яркими цветами, такие как нарциссы, тюльпаны и георгины, могут стать украшением площадки и способствовать развитию эстетического восприятия детей.

⁴ URL: [https://www.playgroundgrass.com/play-solutions/commercial/#!jig\[1\]/NG/88](https://www.playgroundgrass.com/play-solutions/commercial/#!jig[1]/NG/88)

Деревья и кустарники имеют множество преимуществ для ландшафтного дизайна детской игровой площадки (рис. 6). Они служат естественными теневыми зонами, обеспечивая укрытие от солнечных лучей и создавая комфортные условия для игры и отдыха. Деревья также могут быть использованы для создания природных «крыш-навесов» над игровыми конструкциями, обеспечивая дополнительную защиту от погодных условий.



Рис. 6. Деревья и кустарники в оформлении детских игровых площадок⁵

Fig. 6. Trees and shrubs

В построении садово-парковых композиций, в формировании паркового пейзажа не менее важную роль, чем деревья и цветы, играют декоративные кустарники [6]. Они могут создавать зеленые «стены» и отделять различные зоны на площадке. Важно помнить, что при озеленении игровых площадок нельзя применять ядовитые растения. Степень возможного отравления детей различна, она зависит от количества съеденных ядовитых плодов или интенсивности прикосновения к ним [7].

Внедрение естественных и искусственных *водоемов* на детских игровых площадках представляет собой эстетически привлекательное решение, а большие и малые бассейны, пруды, ручейки, каскады и фонтаны не только улучшают микроклимат, но и делают игры детей интереснее [8]. Предоставление детям возможности взаимодействовать с водными элементами способствует развитию координации движений, улучшению моторики и обогащению тактильных восприятий (рис. 7). Обширные водоёмы, такие как бассейны или пруды, создают возможность для детей наблюдать за водными растениями и животными, поддерживая интерес к природе и экосистеме.

По мнению авторов, вода также способствует созданию уникальных игровых сценариев, где дети могут развивать коммуникативные навыки, участвуя в водных соревнованиях. Искусственные каскады и фонтаны могут добавить в игровую зону интересные элементы, создавая визуальные и звуковые эффекты, которые делают игровой процесс более захватывающим.

Использование *камней* на детской площадке в качестве природного элемента благоустройства может придать ей интересный и эстетичный вид. Камни могут служить строительным материалом для создания небольших

⁵ URL: <https://www.miracle-recreation.com/markets/landscape-architects/?lang=can>

холмиков, возвышенностей или даже имитации горных массивов. Они также могут использоваться для создания водопадов, потоков или даже небольших прудов, предоставляя детям возможность взаимодействия с элементами природы и развития экологического сознания (рис. 8).



Рис. 7. Естественные и искусственные водоемы:

a – детская площадка «Зоопарк Аделаиды»⁶; *б* – детская площадка «Салют» в парке Горького, Москва⁷

Fig. 7. Natural and artificial reservoirs:

a – “Adelaide Zoo”; *b* – “Salyut” playground in Gorky Park, Moscow



Рис. 8. Камни как природный элемент благоустройства⁸

Fig. 8. Stones as natural elements of landscaping

Рельефные элементы на детских игровых площадках, такие как холмы и покатые склоны, предоставляют уникальные возможности для детского развития.

Одним из популярных вариантов таких элементов является инновационный материал – геопластика, широко применяемый в благоустройстве детских игровых площадок (рис. 9). Изготовленный из переработанного пластика, он обладает рядом преимуществ, делающих его идеальным выбором для детских игровых площадок. Геопластика не только обеспечивает долговечность оборудования, безопасность детей, но и представляет собой экологически ответственное решение, подчеркивающее важность заботы об окружаю-

⁶ URL: <https://landezine.com/adelaide-zoo-natures-playground-by-wax-design/>

⁷ URL: <https://mos-holidays.ru/bolshaya-detskaya-ploshhadka-v-parke-gorkogo-salyut/>

⁸ URL: <https://www.hendrickfarm.ca/gallery/playground-gallery/>

щей среде в процессе благоустройства. Данный вид материала, предназначенный для создания насыпей и других элементов детских игровых зон, подчеркивает необходимость сочетания функциональности с устойчивостью и заботой о природе для обеспечения высококачественного и безопасного игрового пространства для развития детей.



Рис. 9. Геопластика на территории игровой площадки⁹
Fig. 9. Geoplastics in playground architecture

Одно из ключевых преимуществ геопластики – безопасность для детей. Она обладает амортизационными свойствами, которые смягчают удары и снижают риск получения травм. Это особенно важно на детских игровых площадках, где дети активно двигаются и играют на различных сооружениях. Геопластика также устойчива к погодным условиям. Она не подвержена воздействию

⁹ URL: <https://www.premierparkplay.com/news/2021/playground-surface-ideas-and-options>; <https://mp.weixin.qq.com/s/iPR8VGu6v6Uev5FPHahpEA>

влаги, ультрафиолетового излучения и температурных перепадов, что делает ее долговечной и позволяет использовать на открытых площадках. Благодаря своей гибкости и формовочным свойствам геопластика предлагает широкий спектр возможностей для создания разнообразных форм и фигур на игровых площадках. Материал может быть легко адаптирован к различным дизайнерским концепциям, что позволяет создавать уникальные и привлекательные игровые среды для детей.

Геопластиковые поверхности легко обслуживаются и очищаются. Они не требуют специальных средств ухода и могут быть очищены от пыли или других загрязнений с помощью простых моющих средств и воды. Использование геопластика в благоустройстве детских игровых площадок позволяет создавать безопасные, экологически устойчивые и эстетически привлекательные среды, способствующие развитию детей и их полноценной игровой активности.

Покрытия площадок. При планировании ландшафта игровой площадки рекомендуется интегрировать покрытие в окружающую местность. Если площадка находится в городской среде, следует рассмотреть использование тротуарной плитки. В случае, если площадка расположена в парке, можно применять травяные дорожки или древесную стружку.

Детские игровые площадки обычно имеют различные виды покрытий, которые служат для обеспечения безопасности детей и смягчения ударов при падении. Безусловно, *газон* является самым безопасным и естественным покрытием для игровой площадки. Однако существует множество других видов покрытий для открытого игрового пространства.

Резиновая крошка, которая изготавливается из переработанной автомобильной резины, гарантирует отличную амортизацию при падении (рис. 10). Она способствует смягчению удара и уменьшению риска получения травм. Резиновая крошка также проницаема для воды и обеспечивает хорошую дренажную систему.



Рис. 10. Покрытие из резиновой крошки¹⁰
Fig. 10. Rubber crumb coating

Резиновая плитка является столь же популярным видом покрытия детских площадок. Она обеспечивает дополнительную защиту при падении, а также создает плоскую и прочную поверхность для игры (рис. 11). Резиновые

¹⁰ URL: https://trampplinsport.ru/pokrytiya_dlya_detskih_ploschadok

плитки легко укладываются и заменяются при необходимости, а широкая цветовая гамма позволяет подобрать подходящий узор для любого экстерьера [9].



Рис. 11. Покрытие из резиновой плитки¹¹

Fig. 11. Rubber tile coating

Песчаная насыпь – это классическое покрытие для детских площадок. Песок обеспечивает мягкую «подушку», защищая от травм при падении, и позволяет детям строить песочные замки. Однако стоит отметить, что песок в какой-то мере опасен для маленьких детей, т. к. они могут случайно проглотить его (рис. 12).



Рис. 12. Песчаное покрытие детской площадки¹²

Fig. 12. Sandy surface

Искусственная трава становится все более популярным видом покрытия детских площадок. Она обеспечивает мягкую и удобную поверхность для игр, гарантирует безопасность падений, требует минимального обслуживания и обладает хорошими дренажными качествами (рис. 13).

¹¹ URL: <https://larsprom.ru/rezinovoe-pokrytie-dlya-detskih-ploschadok/>

¹² URL: <https://xn--63-vlch8au.xn--p1ai/blog/staty/bezopasnost-detskih-ploshadok>



Рис. 13. Покрытие из искусственной травы¹³

Fig. 13. Artificial grass cover

Полиуретановое покрытие представляет собой гладкую и прочную поверхность, обеспечивающую безопасность и амортизацию при падении (рис. 14). Оно легко чистится, может иметь различную расцветку и узор.



Рис. 14. Полиуретановое покрытие¹⁴

Fig. 14. Polyurethane coating

При выборе варианта покрытия для детской игровой площадки следует уделять особое внимание требованиям безопасности и определенным потребностям конкретного места. Регулярное обслуживание и периодическая проверка состояния покрытия обязательны для поддержания оптимального уровня безопасности детей. Это включает в себя не только устранение возможных повреждений или износа материала, но и адаптацию покрытия к изменяющимся климатическим условиям, другим внешним факторам. Такой подход обеспечивает долгосрочную эффективность и безопасность игровой среды для детей.

Пешеходные зоны и малые архитектурные формы. Пешеходные зоны являются ключевым элементом ландшафтного дизайна детской площадки, обеспечивая безопасное и удобное перемещение детей и взрослых. Создание изящных дорожек и тропинок помогает организовать логический поток дви-

¹³ URL: <https://gazon-juga.ru/iskusstvennaja-trava-dlja-detskih-ploshhadok-cto-vazhno-znat/>; <https://xn--23-mclobifj6c.xn--p1ai/information/ulichnye-pokrytiya-dlya-detskikh-ploshhadok-v-chastnom-dome/>

¹⁴ URL: <https://ecostep26.ru/blog/kak-pravilno-vybrat-rezinovoe-pokrytie-dlya-detskoj-ploshhadki/>

жения и обеспечить навигацию. Дорожки могут быть выполнены из самых различных материалов (асфальт, бетон, камень или гравий) с достаточной шириной для легкого передвижения детей в сопровождении родителей, воспитателей или учителей.

При необходимости могут быть предусмотрены мостики или переходы для соединения различных зон площадки или преодоления препятствий, таких как водные элементы или перепады рельефа.

Для обеспечения безопасности и создания уютной атмосферы в темное время суток на площадке необходимо организовать систему освещения. Оно должно быть ярким и равномерным, обеспечивая видимость и предотвращая возможные падения и столкновения во время игры. Различные источники освещения (фонари, прожекторы или иные световые элементы) могут использоваться для добавления интересных визуальных акцентов.

Размещение скамеек, теневых беседок-навесов и других малых архитектурных форм на площадке позволяет детям и взрослым отдыхать, общаться и наслаждаться отдыхом на свежем воздухе. Скамейки могут быть размещены в тени деревьев, а столы использоваться для пикников или творческих занятий. Мебель должна быть прочной, безопасной и соответствовать потребностям детей разного возраста и взрослых людей.

Заключение

Исследование показало, что эволюция в ландшафтном дизайне детских игровых площадок отражает изменение подходов к формированию среды, способствующей не только физическому, но и интеллектуальному, социальному развитию детей, приобщению их к активному образу жизни. Новые тенденции в благоустройстве игровых пространств демонстрируют стремление создать более интегрированную и обогащенную среду, отвечающую современным потребностям детей и их родителей. Исходя из вышеперечисленного, можно сделать следующие выводы о современных тенденциях благоустройства игрового пространства:

1. Современные подходы к благоустройству детских игровых площадок ориентированы на создание многофункциональных пространств, способствующих всестороннему развитию детей. Интегрированный дизайн детских игровых площадок включает в себя элементы, поддерживающие физическое, интеллектуальное и социальное развитие детей.

2. Все больше внимания уделяется эстетическому оформлению игровых пространств. Использование природных элементов, разнообразных текстур и цветовой гаммы в ландшафтном дизайне детских площадок создает привлекательные и комфортные зоны для активного отдыха.

3. Современные тенденции благоустройства подчеркивают важность экологической устойчивости. Применение природных и экологичных искусственных материалов, а также взаимодействие с природной средой становятся ключевыми аспектами ландшафтного дизайна.

4. Дизайн игровых площадок становится более инклюзивным, учитывая потребности детей с различными особенностями. Создание пространств, доступных для всех, способствует социальной интеграции детей.

5. При благоустройстве уделяется повышенное внимание безопасности детей. Выбор материалов, устойчивых к механическим и климатическим воздействиям, а также соблюдение стандартов безопасности стали основными требованиями к проектным разработкам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *The Importance of Landscaping in Playground Design* // Miracle. URL: <https://www.miracle-recreation.com/blog/the-importance-of-landscaping-in-playground-design/?lang=can> (дата обращения: 11.10.2023).
2. Месенева Н.В., Милова Н.П. Тенденции формирования дизайна детских игровых площадок в современной городской среде // *Фундаментальные исследования*. 2017. № 12-1. С. 74–79. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41982> (дата обращения: 01.02.2023).
3. Поляков Е.Н. Благоустройство дворовой территории. Детская игровая площадка. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2011. 88 с. ISBN 978-5-93057-402-9.
4. *Ограждение детской площадки: нормативы и виды* // TrampolinSort.ru. URL: <https://trampolin-sport.ru/info/ograzhdenie-detskoj-ploschadki-normativy-i-vidy> (дата обращения: 02.11.2023).
5. Сотникова В.О. Проектирование элементов благоустройства. Детские площадки. Площадки отдыха. Малые сады. Ульяновск : УлГТУ, 2008. 113 с.
6. Григорьев А.Д. Проектирование. Детские игровые площадки. Магнитогорск : МаГУ, 2012. 234 с.
7. Агде Г., Нагель А., Рихтер Ю. Проектирование детских игровых площадок : пер. с нем. / под. ред. В.А. Коссаковского. Стройиздат : Москва, 1988. 80 с.
8. Дубенкова Т.Ю., Тырышкина Т.О. Архитектурное проектирование. Ч. 1. Детская игровая площадка. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. URL: <https://studfile.net/preview/5484180/> (дата обращения: 15.12.2023).
9. *Резиновые покрытия для детских площадок* // Ecospline. URL: <https://www.ecospline.ru/primenenie/dlya-detskih-ploshchadok> (дата обращения: 17.12.2023).

REFERENCES

1. The importance of landscaping in playground design. Available: www.miracle-recreation.com/blog/the-importance-of-landscaping-in-playground-design/?lang=can (accessed October 11, 2023).
2. Meseneva N.V., Milova N.P. Design trends of children's playgrounds in the modern urban environment. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2017; (12): 74–79. (In Russian)
3. Polyakov E.N. Yard territory landscaping. Children's playground. Tomsk: TSUAB, 2011. 88 p. (In Russian)
4. Playground fencing: Standards and types. Available: <https://trampolinsport.ru/info/ograzhdenie-detskoj-ploschadki-normativy-i-vidy> (accessed November 2, 2023). (In Russian)
5. Sotnikova V.O. Design of landscaping elements. Playgrounds. Recreation areas. Small gardens. Ulyanovsk: UlSTU, 2008. 113 p. (In Russian)
6. Grigoriev A.D. Design. Children's playgrounds. Magnitogorsk, 2012. 234 p. (In Russian)
7. Agde G., Nagel A., Richter Yu. Design of children's playgrounds. V.A. Kossakovsky, Ed., Moscow: Stroyizdat, 1988. 80 p. (Russian translation)
8. Dubenkova T.Yu., Tyryshkina T.O. Architectural design. Part 1. Children's playground. Krasnoyarsk, 2012. Available: <https://studfile.net/preview/5484180/> (accessed December 15, 2023). (In Russian)
9. Rubber coverings for playgrounds. Available: www.ecospline.ru/primenenie/dlya-detskih-ploshchadok (accessed December 17, 2023). (In Russian)

Сведения об авторах

Мицаева Хава Вуситаевна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, khava.mitsaeva@mail.ru

Поляков Евгений Николаевич, докт. искусствоведения, канд. архитектуры, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, polyakov.en@yandex.ru

Authors Details

Khava V. Mitsaeva, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, khava.mitsaeva@mail.ru

Evgenii N. Polyakov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, polyakov.en@yandex.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 16.01.2024
Одобрена после рецензирования 25.01.2024
Принята к публикации 26.01.2024

Submitted for publication 16.01.2024
Approved after review 25.01.2024
Accepted for publication 26.01.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 25–40.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 25–40.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 72.007

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-25-40

EDN: BMNNDI

ЗДАНИЕ ОБЩЕСТВЕННОГО СОБРАНИЯ В ТОМСКЕ: ВОПРОСЫ РЕСТАВРАЦИИ

Валерий Геннадьевич Залесов¹, Татьяна Николаевна Манонина¹,
Елена Владиславовна Перетягина²

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия

²Комитет по охране объектов культурного наследия Томской области,
г. Томск, Россия

Аннотация. *Актуальность.* В текущем году исполняется 170 лет со дня рождения Константина Константиновича Лыгина, выдающегося зодчего, который 37 лет проработал в Сибири. Он оставил в наследство архитектурные постройки, обучил многих молодых архитекторов. К.К. Лыгин относится к категории тех талантливых архитекторов-профессионалов, которые могли бы работать в любом городе Российской империи. Но именно в Сибири, в Томске он раскрыл свою одаренность в проектах, постройках, передал знания и опыт ученикам.

В статье проводится историко-архитектурное исследование здания Общественного собрания в Томске (пр. Ленина, 50), построенного в 1898–1900 гг. по проекту известного сибирского архитектора К.К. Лыгина. Даны новые исторические сведения об истории эксплуатации этого сооружения в XX – начале XXI в., представлены сведения о проблемах современной реставрации и реконструкции здания.

Здание анализируется в историко-архитектурном контексте: проводятся объемно-планировочный и архитектурно-художественный анализы, совокупность которых дает полное представление об архитектурных характеристиках объекта в различные исторические периоды. Дается полная хронология историко-архитектурных событий за весь период существования здания.

Результаты. Приведенные в статье новые сведения существенно дополняют творческую биографию архитектора, расширяют информацию о здании Общественного собрания как о значимом архитектурном сооружении Томска и как уникальном объекте культурного наследия города. Предполагаемое современное использование этого здания в качестве Сибирского филиала Государственного музея изобразительных искусств им. А.С. Пушкина (ГМИИ) как нельзя лучше продолжит традицию общественно-культурной функции сооружения, позволит оценить историко-культурное значение данного архитектурного объекта.

Ключевые слова: архитектор К.К. Лыгин, Общественное собрание, Сибирь, Томск, XX – начало XXI в., Дом офицеров, реставрация, объект культурного наследия

Для цитирования: Залесов В.Г., Манонина Т.Н., Перетягина Е.В. Здание Общественного собрания в Томске: вопросы реставрации // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 25–40. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-25-40. EDN: BMNNDI

ORIGINAL ARTICLE

**PUBLIC MEETING BUILDING IN TOMSK:
PROBLEMS OF RESTORATION****Valery G. Zalesov¹, Tatiana N. Manonina¹, Elena V. Peretyagina²**¹*Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*²*Committee on Protection of Heritage Sites of the Tomsk Region,
Tomsk, Russia*

Abstract. The article discusses one of the first large buildings built by K.K. Lygin in Tomsk. It is the Public Meeting building at 50, Lenin Ave. New information is given about the history of its construction. The building is analyzed in the historical and architectural context. The planning and architectural space and its analysis describe the building in various historical periods. Chronological events of the building's existence are presented herein. New information complements the creative biography of the architect, expands knowledge about the Public Meeting building as a significant and unique architectural building in Tomsk.

Keywords: K.K. Lygin, Public Meeting building, Siberia, Tomsk, House of Officers, restoration, cultural heritage

For citation: Zalesov V.G., Manonina T.N., Peretyagina E.V. Public meeting building in Tomsk: Problems of restoration. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2024; 26 (1): 25–40. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-25-40. EDN: BMNNDI

Одним из наиболее значимых сооружений в истории и архитектуре г. Томска является здание бывшего Общественного собрания, которое имеет статус памятника культурного наследия города. Здание было построено по проекту архитектора К.К. Лыгина в 1898–1900 гг. В ряде более ранних публикаций, посвященных творчеству этого мастера, рассматривались различные аспекты его архитектурной деятельности [1, 2, 3, 4]. В статье В.Г. Залесова и Е.А. Сахаровой [5, с. 24–39] рассматривалась архитектурная история этого общественного сооружения до 1910-х гг. Смена общественного строя и формирование социалистических перспектив развития советского общества обозначили изменение функциональных составляющих эксплуатации здания. Совокупность этих событий формирует информативное поле о состоянии здания бывшего Общественного собрания на сегодняшний день и выявляет проблемы реставрации и реконструкции этого уникального сооружения, которому в недалекой перспективе исполняется 125 лет.

Здание Общественного собрания в период революционных событий в 1917 г. было местом собраний и митингов, агитационно-пропагандистской деятельности политических партий и организаций. В дни Февральской революции, когда в Томске появились телеграммы о государственном перевороте, 2 марта 1917 г. в Собрании состоялся первый стихийный митинг¹. На следующий день митинг был организован Исполнительным комитетом Совета солдатских депутатов под председательством большевика Н.Н. Яковлева, который «доложил

¹ Сибирская жизнь. 1917. 3 марта. № 49.

собравшимся о ходе работ комитета» и «сообщил об освобождении политических заключенных»². Митинги проходили при большом скоплении народа, не вошедшие в зал сопереживали на улице. В эти дни были сняты эмблемы самодержавия – портрет императора и царские вензеля. Революционные настроения проявлялись и в последующие дни, для чего даже потребовалось отменить благотворительный спектакль в пользу учениц второй женской гимназии³. Тем не менее к концу марта Собрание зажило своей обычной клубной жизнью.

Октябрьские события 1917 г. практически не отразились на функционировании здания. Только в конце декабря было объявлено «экстренное» вечернее заседание членов Собрания по поводу «заявления Исполнительного комитета Совета рабочих и солдатских депутатов о занятии театрального помещения собрания для нужд комитета»⁴. По-видимому, для новой власти была предоставлена такая возможность, что, впрочем, не повлияло на вечернюю клубную жизнь. Новогодние и рождественские вечера, маскарады и прочие события светской жизни продолжались...

С июня 1918 г., с приходом к власти Временного Сибирского правительства, клубная деятельность восстановилась в прежнем формате. В середине июня 1919 г. Совет старшин организовал новое «экстренное» собрание членов, повестка которого подразумевала активизацию деятельности. Среди основных вопросов общего обсуждения была смета на ремонт отопления и переустройство сцены. Также рассматривались траты на покупку дров, которые, в связи с инфляцией, достигли значительной суммы в 100 тыс. рублей!⁵ Строительный отдел управления Томской губернии в августе этого же года утвердил проект на «постройку и ремонт мансардных помещений над сценой при здании Общественного собрания», который был выполнен архитектором К.К. Лыгиным⁶.

Однако уже в августе 1919 г. городской жилищной комиссией города было принято решение о размещении эвакуированного из Екатеринбурга госпиталя, который предлагалось расположить как в Общественном собрании («реквизировать верхний этаж»), так и в гостинице «Россия» (нижний и средний этажи, помещение аукционного зала – совр. пр. Фрунзе, 6). Первый этаж и подвал Собрания были отданы под служебные помещения и жилье медицинских работников. Екатеринбургский госпиталь стал в это время одним из крупнейших в Томске, о чем нам поведали журналисты газеты «Сибирская жизнь» в связи со следующими событиями. В местной хронике в начале декабря 1919 г. был размещен материал, касающийся жалобы в городское санитарное бюро владельца бань А.Г. Дистлера. Предприниматель высказывал претензии к администрации госпиталя, которая для «очистки нечистот» осуществляла канализационный сброс под гору на его участок, где располагались бани. Дистлер призывал администрацию к «должному вниманию» к санитарному состоянию города и устранению «безобразий»⁷.

² Сибирская жизнь. 1917. 4 марта № 50.

³ Там же. 8 марта. № 53.

⁴ Там же. 23 декабря. № 279.

⁵ Там же. 1919. 15 июня. № 120.

⁶ Там же. 12 августа. № 168; ГАТО. Ф. 3. Оп. 41. Д. 2233.

⁷ Там же. 3 декабря. № 258.

В связи с «реквизицией» клуб Собрания был частично перемещен в помещения гостиницы «Россия»⁸ (совр. пр. Фрунзе, б). В ноябре текущего года «Совет старшин Общественного собрания, признавая, что при создавшихся условиях пользования помещений, занимаемых Собранием, поддержание порядка и соблюдение правил Устава стали неосуществимыми, что Собрание, не имея возможности предоставить своим членам ни комнаты для бильярда, ни комнаты для читальни, уже утратило характер клуба, что настоящее помещение собрания и антигигиенично и неизолировано»⁹. Старшины постановили: «временнo, до приискания нового помещения приостановить деятельность Собрания, за исключением библиотеки», также прекращались отчисления «из доходов Собрания на нужды госпиталей, лазаретов, детских приютов и просветительных учреждений»¹⁰.

20 декабря 1919 г. в Томск вошли части Красной Армии, и деятельность Общественного собрания была прекращена. Здание вскоре было национализировано. 20 мая 1920 г. постановлением Томского губернского комитета РКП (б) и губревкома в здании уже бывшего Общественного собрания был открыт гарнизонный Красноармейский клуб («гарклуб»), «переведённый сюда из библиотеки Томского университета». Помещения клуба были заново отремонтированы и приспособлены к новым задачам. Среди них были: организация работы читального зала и библиотеки, драматической студии и студии изобразительного искусства, спортивной секции (для которой был открыт стадион в Лагерном саду), политической школы грамоты, красноармейского университета и музыкальной секции со своим хором и оркестром («инструменты имеются»). Был открыт буфет «с продажей чая, хлеба, папирос», и планировалось устройство столовой «с отпуском до 1000 обедов»¹¹. Клубная жизнь началась в новом качестве. Первоначально клуб носил имя большевика Н.Н. Яковлева, затем (точная дата неизвестна) имя председателя Сибревкома И.Н. Смирнова (имя Н.Н. Яковлева было возвращено в марте 1959 г.).

В середине ноября 1922 г. в здании гарнизонного клуба после ремонта был открыт Большой городской театр. Администрация театра «затратила огромные средства (около 100 миллиардов – по ценам того времени) как на капитальный ремонт самого здания, так и на оборудование сцены декораций, костюмов и бутафории»¹². Была сформирована новая труппа артистов театра с оркестром, которая насчитывала более семидесяти человек.

К сожалению, эксплуатация театра выявила несколько недостатков, которые указывались в статье, напечатанной 30 июля 1926 г. в газете «Красное знамя», озаглавленной «Почему городской театр переносится в кино “Новый”?». Обнаруженные «больные места», по сути дела, повторили недостатки зала, обозначенные еще во второй половине 1900-х гг., когда зал стал использоваться как театральный. Это, во-первых, малая площадь сцены, которая не позволяла «поставить ни одного сложного, обстановочного спектакля», и, во-вторых, «невоз-

⁸ Сибирская жизнь. 1919. 13 августа. № 169.

⁹ Там же. 7 ноября. № 236.

¹⁰ Там же.

¹¹ Знамя революции. 1920. 16 мая. № 96.

¹² Красное знамя. 1922. 11 ноября. № 252.

можные акустические условия: в зрительном зале, особенно от 5-го ряда до 13-го, ничего не слышно»¹³. Эти обстоятельства поставили вопрос о переводе театра в помещения кинотеатра «Новый» (имел название «Кино 1-й»), расположенного по пер. Нахановича (совр. «Киномир»), что и было сделано Управлением государственных театральных предприятий Томска (директор М.К. Вулконский) уже в августе 1926 г. по решению Горсовета и Окрисполкома¹⁴.

С 22 сентября 1926 г. зал бывшего Общественного собрания (на это время – Городского театра) начал работать как кинотеатр на 1000 мест. Состоялось его торжественное открытие. «При театре два фойе, полное электроосвещение, буфет, книжный и газетный киоски. Для сокращения антрактов, по образцу европейских театров, устанавливается 2 проекционных аппарата»¹⁵. Наименование «Кино 1-й» перешло зданию бывшего Общественного собрания (рис. 1, а).

С 1 июня 1928 г. на первом этаже здания была открыта столовая Центрального рабочего кооператива (ЦРК). Для ее устройства были использованы боковые помещения первого этажа. В них расположились два отделения – «удешевленное» и «улучшенное» – с общей кухней, которая по-прежнему находилась на третьем этаже. Одновременно столовая могла накормить до 380 чел. «Улучшенное» отделение работало как ресторан до двух часов ночи¹⁶ (рис. 1, б).

Как кинотеатр зал здания эксплуатировался всего пять лет. Уже в октябре 1931 г. здесь был открыт Дом Красной Армии (ДКА) (рис. 2, а). Газета «Красное знамя» писала в эти дни: «От “Кино 1” не осталось почти ничего. Все заново перестроено, все переделано. Снаружи Дом Красной Армии украшен тремя настоящими аэропланскими пропеллерами, движимыми электротоком, неизвестными еще в Томске фонарями Форда, художественными плакатами и световыми лозунгами. В самом здании... четкая военная распланировка всего, что есть в доме. Большая мишень с тремя точками выстрелов, по бокам лестницы два пулемета системы Тогенса – трофеи Гражданской войны, отобранные у англичан. Кругом лозунги, плакаты, отражающие военизацию»¹⁷. Здание было оборудовано специализированными кабинетами: тактико-стрелковым (с макетом рельефа местности), химико-санитарным, кабинетом связи, военной техники, партполитработника. Была предусмотрена комната «самоподготовки к изобретательству». «Зал б. Кино заново отремонтирован. Он имеет 1200 мест, прекрасную сцену, где будет работать свой профессиональный театр и кино»¹⁸.

«В годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. здесь находились курсы младшего командного состава и стрелковой подготовки. В помещениях бывшего Общественного собрания регулярно проводились встречи горожан с фронтовиками, многочисленные митинги, собрания партийного актива города, слёты фронтовых и комсомольско-молодёжных бригад и другие массовые мероприятия. Кроме того, в подвалах здания все военные годы находились картины из собрания Севастопольской картинной галереи.

¹³ Красное знамя. 1926. 30 июля. № 171.

¹⁴ Там же. 11 августа. № 180.

¹⁵ Там же. 19 сентября. № 214.

¹⁶ Там же. 1928. 1 июля. № 151; 3 июля. № 152; 31 июля. № 176.

¹⁷ Там же. 1931. 9 октября. № 255.

¹⁸ Там же.

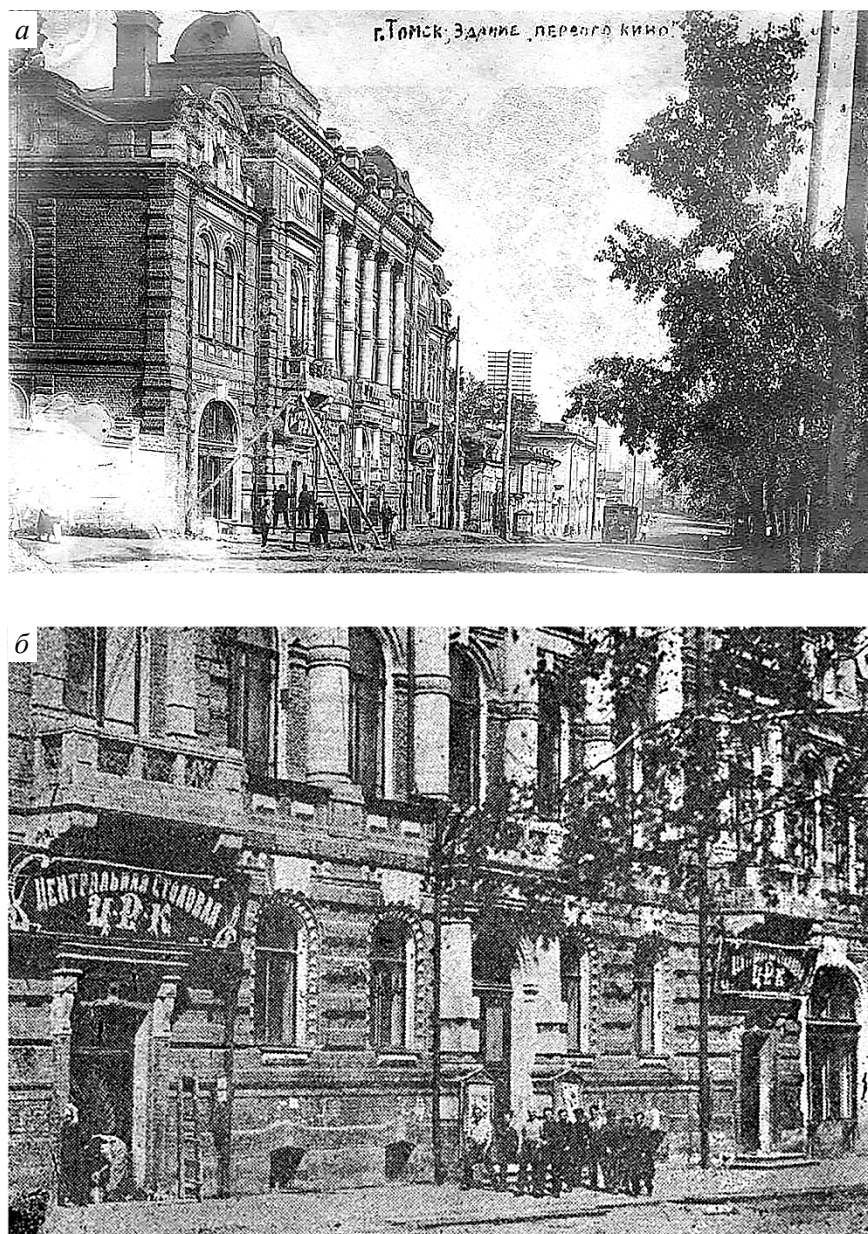


Рис. 1. Здание «Первого кино» в г. Томске, конец 1920-х гг. URL: <https://pastvu.com/p/298514>. Дата обращения: 24.02.2023 (а); столовая № 2 «Центрального рабочего кооператива» (ЦРК) на первом этаже здания «Первого кино» в г. Томске (б)¹⁹

Fig. 1. The "First Cinema" building in Tomsk, 1920s (a); canteen No. 2 of the "Central Workers' Cooperative" on the first floor of the "First Cinema" building (b)

¹⁹ Красное знамя. 1928. 1 июля. № 151.



Рис. 2. Дом Красной Армии в г. Томске, 1930-е гг.²⁰ (а); торжественное собрание в Гарнизонном Доме офицеров в г. Томске. Фото Ф.И. Хитриневич, 1966 г.²¹ (б); концерт на сцене Гарнизонного Дома офицеров в г. Томске. Фото 1960 г. (фрагмент)²² (в)
Fig. 2. House of the Red Army in Tomsk, 1930s (a); solemn meeting in the House of Officers in Tomsk. Photo by F.I. Khitrinevich, 1966 (b); concert in the House of Officers, 1960 (c)

²⁰ URL: <https://pastvu.com/p/1330153> (дата обращения: 26.02.2023).

²¹ URL: <https://pastvu.com/p/1229996> (дата обращения: 26.02.2023).

²² Проект реставрации памятника архитектуры «Гарнизонный Дом офицеров имени Н.Н. Яковлева по пр. Ленина, 50, в г. Томске» / СФИ «Спецпроектреставрация» // Историческая записка / В.А. Черняк. Т. II. Томск, 1984. С. 58.

С 1 сентября 1945 г. Дом Красной Армии стал называться Гарнизонным Домом офицеров. В послевоенные годы здесь проходили пленумы областного и городского комитетов партии, областные и городские партийные конференции. В конце 1940 – начале 50-х гг. в Доме офицеров функционировали Вечерний университет, Школа жен офицеров, драматический кружок, кружок баянистов, стрелковая женская команда, выступали популярные исполнители»²³ (рис. 2, б, в).

Специальным постановлением Совета министров СССР 6 марта 1959 г. Томскому гарнизонному Дому офицеров вновь было присвоено имя Н.Н. Яковлева²⁴. В феврале 1969 г. в здании прошло торжественное собрание, посвященное празднованию 51-й годовщины Вооруженных Сил СССР²⁵. С этого времени практически на три года остановилась деятельность гарнизонного клуба, начался капитальный ремонт. Работа Дома офицеров возобновилась только в январе 1972 г., о чем свидетельствует газетный анонс о предстоящих концертах: «22–23 января 1972 г. Томская областная филармония. В помещении Дома офицеров концерты лауреата Государственной премии Удмуртской АССР Государственного ансамбля песни и танца «Италмас». Начало в 20 часов»²⁶. С этого времени в здании активно заработал зрительный зал, в котором проходили не только спектакли и концерты, но и кинопоказы. Возобновилась клубная работа.

Архитектурно-конструктивная часть проекта капитального ремонта была сделана группой архитекторов и инженеров института «Томскгипротранс» под руководством архитектора Е.И. Дрейзина²⁷. Дом офицеров за эти три года ремонта (1969–1971 гг.) был значительно перестроен и переоборудован внутри. В частности, для современных потребностей фрагментарно была проведена его перепланировка, изменения также коснулись функциональных свойств ряда помещений. Потребовалась замена конструктивной системы: междуэтажных перекрытий первого этажа входного вестибюля. Была сделана новая, «современная», внутренняя отделка зрительного зала, что привело к утрате лепного декора этого помещения (рис. 3, а).

Представленные в пояснительной записке к проекту реставрации здания проектные документы свидетельствуют о том, что чертежи по капитальному ремонту здания были сделаны в КЭЧ Томского района (так указано на штампе чертежей. – *авт.*). КЭЧ (квартирно-эксплуатационная часть) – тыловые части Министерства обороны СССР, приписанные к гарнизонам, которые занимались «организацией технической эксплуатации и обеспечением казарменно-жилищного фонда и коммунальных сооружений воинских частей, приписанных к КЭЧ

²³ Широко К.Н., Широко Т.И. Здание Общественного собрания (Дом офицеров) (Историческая справка) // Памятники Томска. URL: <http://memorials.lib.tomsk.ru/page.phtml?p=20> (дата обращения: 12.03.2023). (Военный и послевоенный периоды организации работы Дома Красной Армии нам детально установить не представилось возможным. Полагаемся на исследования указанных авторов. – *авт.*)

²⁴ Красное знамя. 1960. 12 октября. № 241.

²⁵ Красное знамя. 1969. 23 февраля. № 46.

²⁶ Красное знамя. 1972. 19 января. № 15.

²⁷ Информация предоставлена архитектором С.А. Савельевым. В период разработки проекта реставрации Дома офицеров – главный архитектор АРМ-1 СФИ «Спецпроектреставрация».

района (гарнизона)»²⁸. Такие части были укомплектованы военными инженерами различных технических специальностей, в том числе строительных. Проектные чертежи по ремонту подписаны начальником КЭЧ майором Тимиршиным, главным инженером капитаном Губиным и исполнителем Грачевой²⁹.

Основные изменения капитального ремонта коснулись конструктивной системы здания и его функционально-планировочной структуры. Двухуровневый входной вестибюль с тремя входами, которые вели к просторным фойе перед гардеробами «верхнего платья», был перестроен в одноуровневый. Архитектурно-планировочное решение предусматривало организацию нового видоизмененного входного блока: по обеим сторонам входного вестибюля, перестроенного в тамбур, от центрального портала были сделаны подъемные лестницы, которые вели на уровень вновь образованного первого этажа (рис. 3, б).

Второе существенное изменение затронуло «верхние этажи». Формально здание имело два этажа и подвал (цокольный этаж). Тем не менее уже во время начальной эксплуатации появился третий этаж, в котором разместилась кухня, перенесенная из подвала. Возможность устройства дополнительного третьего (мансардного) этажа также была применена к чердачным пространствам по обеим сторонам зрительного зала. Здесь были устроены мансардные помещения, которые дополняли площади для гримерных комнат актеров (над сценой), и служебные помещения, расположенные по другую сторону зрительного зала. Помещения над балконом были перекрыты на два этажа под дополнительный ярус балкона и кинопроекторную. Для организации этих помещений в новых конструкциях была предусмотрена дополнительная лестница в юго-восточной части объема здания. Зрительские места были устроены амфитеатром. В это же время был «закрыт» световой фонарь над центральной лестницей. Мы допускаем, что фонарь мог прекратить свое существование и ранее капитального ремонта (1969–1971 гг.).

Третье изменение коснулось капитальной перестройки и отделки зрительного зала. Деревянные фермы над залом, вместе с лепным плафоном, были демонтированы и заменены на металлические с подвесным потолком. Лепной декор потолка был полностью утрачен, а стеновая лепнина частично срублена и обшита глухими деревянными щитами и вагонкой. Интерьер зала приобрел «современный» для того времени вид, утратив все свои декоративно-художественные качества (рис. 3, а). Здание было приспособлено под клуб «Томский гарнизонный Дом офицеров им. Н.Н. Яковлева».

Все эти изменения нанесли «серьезный ущерб архитектурному и художественному облику» здания. Исполнительный комитет Томского областного Совета народных депутатов в октябре 1983 г. обратился к директору Сибирского филиала института «Спецпроектреставрация» А.Н. Чернову и начальнику Гарнизонного Дома офицеров С.В. Новожилову с просьбой «подготовить задание на проектирование и направить его в ноябре 1983 г. на рассмотрение и согласование в СибВО (Сибирский военный округ. – *авт.*).

²⁸ Положение о квартирно-эксплуатационной службе и квартирном довольствии Советской Армии и Военно-Морского Флота: прил. 1 к приказу Министра обороны СССР 1977 г. № 75. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901829415>

²⁹ Проект реставрации памятника архитектуры «Гарнизонный Дом офицеров имени Н.Н. Яковлева по пр. Ленина, 50, в г. Томске» / СФИ «Спецпроектреставрация» // Историческая записка / В.А. Черняк. Т. II. Томск, 1984. С. 17; Приложения 8–11.

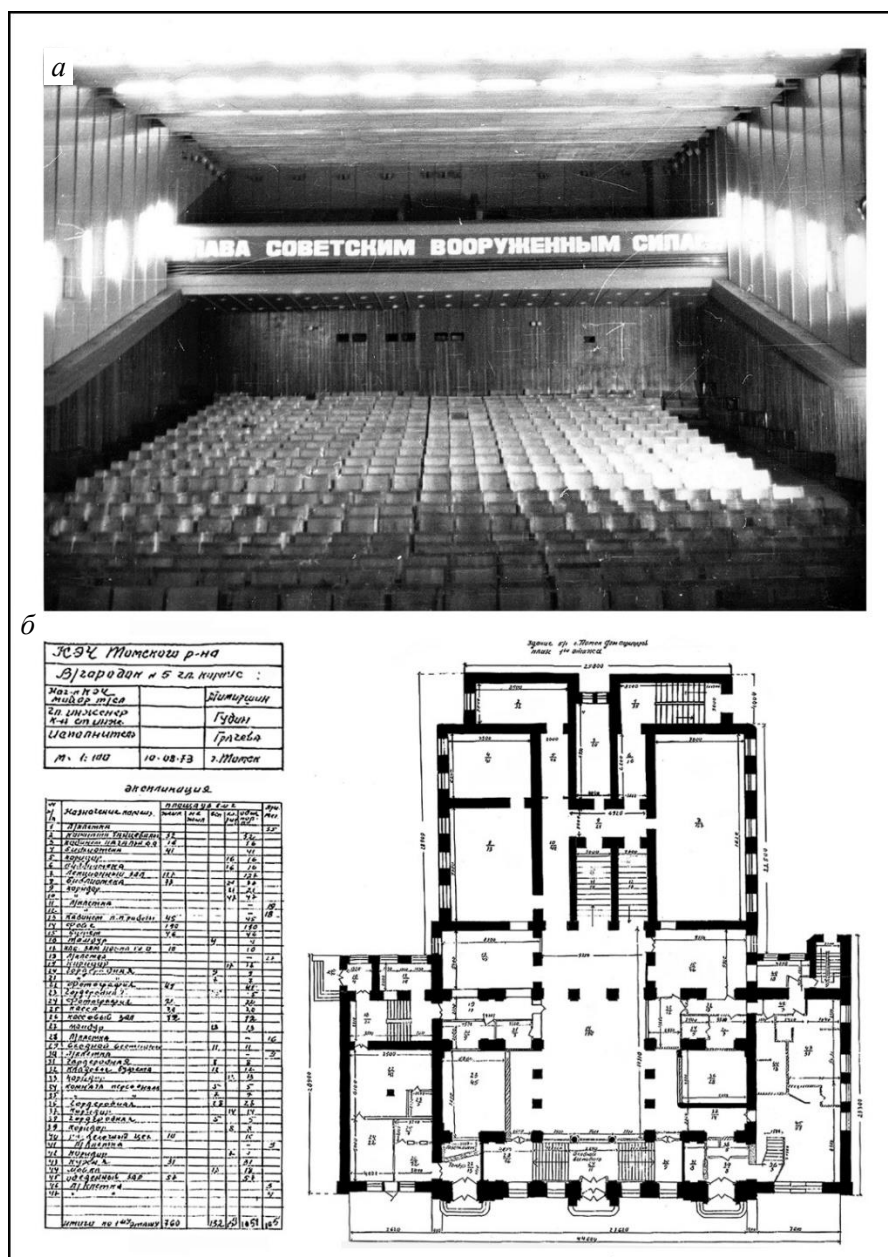


Рис. 3. Зал Гарнизонного Дома офицеров в г. Томске после капитального ремонта 1969–1971 гг. Фото середины 1970-х гг. Материал предоставлен Н.В. Савельевой (а); план первого этажа здания Гарнизонного Дома офицеров в г. Томске на период капитального ремонта 1969–1971 гг. Экспликация помещений³⁰ (б)

Fig. 3. Hall in the House of Officers in Tomsk after major repairs in 1969–1971 (a); first floor of the House of Officers during major repairs in 1969–1971 (b)

³⁰ Проект реставрации памятника архитектуры «Гарнизонный Дом офицеров имени Н.Н. Яковлева по пр. Ленина, 50, в г. Томске» / СФИ «Спецпроектреставрация» // Историческая записка / В.А. Черняк. Т. П-1. Томск, 1984. С. 44.

Выполнение проектно-изыскательских работ и разработку проектно-сметной документации ГДО (Гарнизонного Дома офицеров. – *авт.*) г. Томска включить в тематический план филиала института в 1984 г.)»³¹. В 1984 г. в Сибирском филиале института приступили к подготовке документации и проекта. С 1986 г. начались ремонтно-реставрационные работы. Наиболее сложные и дорогостоящие из них – отделочные по зрительному залу – предстояло выполнить в 1991 г. на сумму 540 тыс. руб. Однако финансирование объекта с этого времени «стало неустойчивым» и проводилось «в недостаточном объеме». До 1994 г. велись ремонтно-реставрационные работы, которые, вследствие неустойчивого финансирования, периодически приостанавливались.

В 1995 г. было принято решение о возобновлении реставрационных работ. В связи с изменившимися нормативными требованиями и реорганизацией функционального использования ряда помещений здания была выполнена корректировка научно-проектной документации, которая до 1998 г. проводилась Сибирским институтом «Сибспецпроектреставрация».

В 1998–2000 гг. заканчивались предыдущие и проведены новые реставрационные работы, которые коснулись основных помещений подвала, первого и второго этажей. В исторических планировочных отметках был восстановлен (с изменениями) входной вестибюль, отреставрированы фойе перед зрительным залом и прилегающие к нему помещения. Парадная трехмаршевая лестница приобрела исторический облик, над ней был воссоздан световой фонарь. Также были продолжены работы по восстановлению лепного декора интерьера зрительного зала и сцены. Однако эта деятельность в 2000 г., из-за недостатка финансирования, была приостановлена и временно законсервирована практически до 2013 г. В 2011 г. Минобороны передало здание в муниципальную собственность г. Томска, а через год, в 2012 г., здание бывшего Общественного собрания перешло в собственность областной администрации³².

В 2013–2014 гг. ОАО «СИ “Сибспецпроектреставрация”» был выполнен проект реставрации и приспособления здания бывшего Общественного собрания под конгресс-холл «Томское собрание». Омский филиал Главгосэкспертизы России согласовал это решение (рис. 4, а, б). «Эксперты пришли к выводу, что... проектная документация и результаты инженерных изысканий соответствуют требованиям технических регламентов и иным установленным требованиям...»³³ В соответствии с проектом реконструкция здания с элементами реставрации должна была занять почти два года. В ходе работ планировалось восстановить фасады (с учетом утрат), в частности, балконы, лоджии, чердак и кровлю с восстановлением куполов. После реставрации внешний облик здания должен соответствовать периоду постройки. Такие работы, которые были дополнены ремонтом подвала, цокольной части, гидроизоляцией фундаментов, заменой инженерных систем, были произведены и окончены в 2016 г.

³¹ Материалы предоставлены архитекторами Н.В. и С.А. Савельевыми.

³² Главгосэкспертиза одобрила размещение конгресс-холла «Томское собрание» в Доме офицеров // Томский Обзор. URL: <https://obzor.city/news/519935---glavgosekspertiza-odobrila-razmeshenie-kongress-holla-tomskoe-sobranie-v-dome-ofitserov>

³³ Там же.

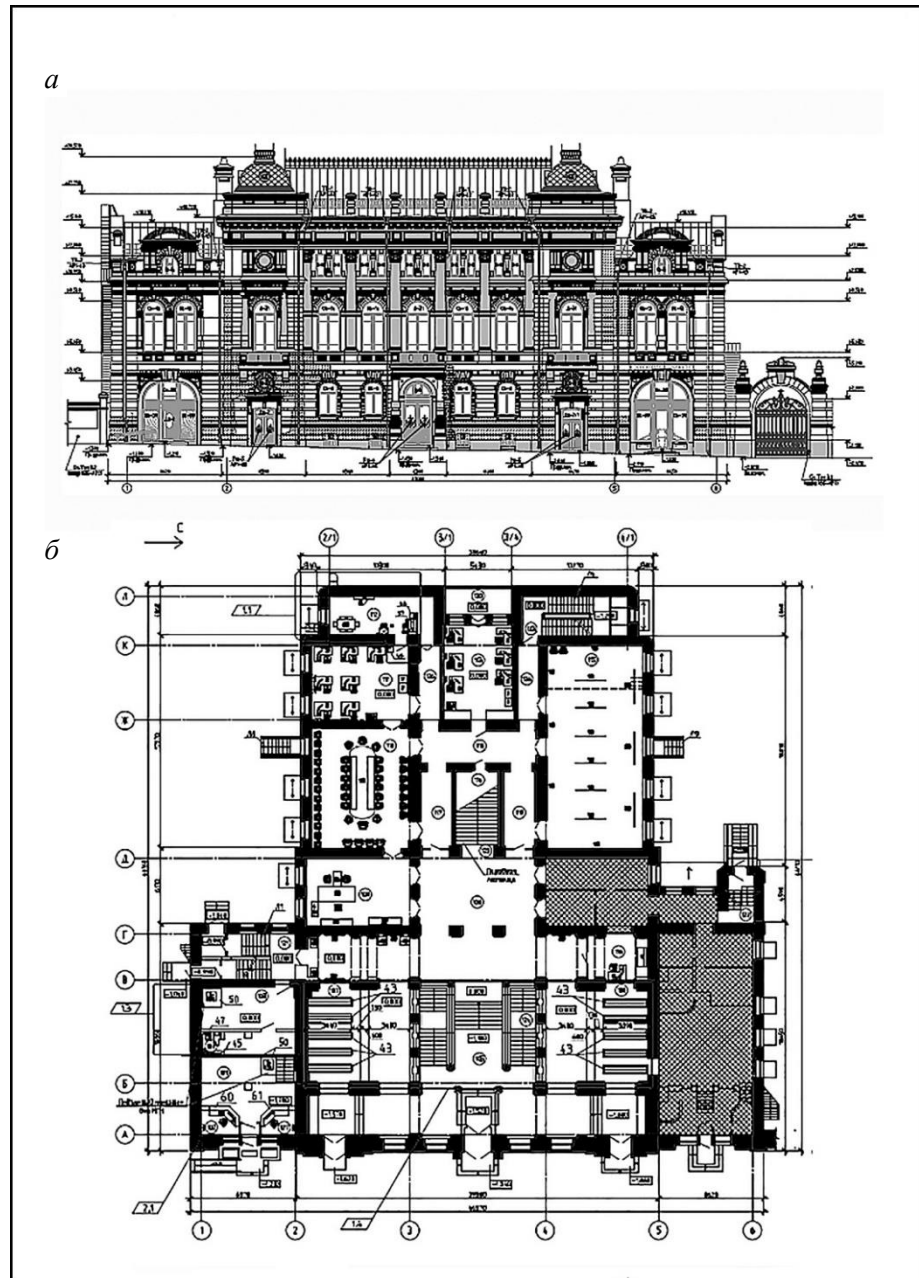


Рис. 4. Проект приспособления здания бывшего Общественного собрания в Томске под конгресс-холл «Томское собрание». Главный (восточный) фасад (а); план первого этажа (б). ОАО «Сибирский институт «Сибспецпроектреставрация». Главный архитектор проекта Н.В. Савельева, главный инженер проекта В.А. Островская, 2013–2016 гг. Материал предоставлен Н.В. Савельевой

Fig. 4. Project of adapting the former Public Meeting building for the congress hall "Tomsk Meeting": eastern facade (a); first floor (b). OAO Siberian Institute Sibspetsproektrestavratsiya. Chief Project Architect N.V. Savelyeva, Chief Project Engineer V.A. Ostrovskaya, 2013–2016. Material provided by N.V. Savelyeva

Тем не менее главная проблема – реставрация и реконструкция зрительного зала и сцены – за эти годы так и не была решена.

В августе 2020 г. было принято решение – разместить в здании бывшего Общественного собрания Сибирский филиал Государственного музея изобразительных искусств им. А.С. Пушкина (ГМИИ). К такому соглашению пришли губернатор С.А. Жвачкин и директор музея М.Д. Лошак.

Томский губернатор В.В. Мазур и новый директор ГМИИ Е.С. Лихачева при встрече в сентябре 2023 г. подтвердили, что вариант организации Сибирского филиала Государственного музея изобразительных искусств в старинном здании является наиболее продуктивным. На сегодняшний день готовится проектная документация на размещение в здании бывшего Общественного собрания Сибирского филиала Пушкинского музея³⁴.

В заключение приведем полную хронологию историко-архитектурных событий здания бывшего Общественного собрания в Томске за период, насчитывающий более века (таблица).

Хронология историко-архитектурных событий Chronology of historical and architectural events

Дата	Историческое событие
1897, 13 апреля	Сгорело старое деревянное здание Общественного собрания «...в ночь на Светлое Христово Воскресенье»
1897, декабрь	Выполнен эскизный проект нового здания (на месте сгоревшего). Архитектор К.К. Лыгин
1898, май	Выполнен рабочий (окончательный) проект. Архитектор К.К. Лыгин
1898, 7 мая	Проект рассмотрен и утвержден Строительным отделением Томского губернского управления
1898, 2 июня	Торжественная закладка здания
1900, 1 января	Начало клубной деятельности Общественного собрания в новом здании
1905, октябрь	Сгорел драматический театр, построенный Е.И. Королевым. Театральная жизнь Томска перешла в здание Общественного собрания
1909–1910	Капитальный ремонт с перепланировкой нескольких помещений. Проекты и сметы разработали архитекторы В.Ф. Оржешко и А.Г. Норин с помощниками (разработка проекта: май 1909)
1919, март – август	Выполнен проект перестройки и ремонта мансардных помещений над сценой. Архитектор К.К. Лыгин
1919, август – декабрь	Размещен госпиталь, эвакуированный из Екатеринбурга
1920, май	В здании начал функционировать Красноармейский гарнизонный клуб («гарклуб»)

³⁴ Сибирский филиал Пушкинского музея откроется в Томске // Новости искусства. URL: <https://www.theartnewspaper.ru/posts/20230911-qkbp/>

Продолжение таблицы
Continuation

Дата	Историческое событие
1922, ноябрь – 1926, август	Здание эксплуатировалось как Большой городской театр
1926, сентябрь – 1931, октябрь	Зрительный зал был дополнен кинопроекционной и использовался как кинотеатр («Кино-1») на 1000 мест
1928, июнь	На первом этаже открыта столовая Центрального рабочего кооператива на 380 мест с общей кухней и двумя отделениями: «удешевленным» и «улучшенным»
1931, октябрь	Начало работы здания как Дома Красной Армии. Отремонтированный зал использовался для показа театральных постановок и кино
1941–1945	Дом Красной Армии. Курсовая подготовка младшего командного состава, курсы стрелковой подготовки. Зал использовался для проведения общественных мероприятий: встреч горожан с фронтовиками, проведения патриотических митингов, собраний партийного актива города, слетов фронтовых и комсомольско-молодежных бригад и др. В подвалах располагались эвакуированные картины из собрания Севастопольской картинной галереи
1945, сентябрь	Начало работы здания как Гарнизонного Дома офицеров
1969, февраль – 1972, январь	Капитальный ремонт. Переустройство и переоборудование зрительного зала, клубных помещений, входного вестибюля
1972, январь	Открытие Гарнизонного Дома офицеров после капитального ремонта: кино, театр, клубная работа и др.
1984, январь	Сибирский филиал института «Спецпроектреставрация» начал разработку проекта на ремонтно-реставрационные работы
1986	Начались ремонтно-реставрационные работы
1991	Планировалось выполнить наиболее сложные и дорогостоящие отделочные работы по зрительному залу. Финансирование объекта было нерегулярным и проводилось в недостаточном объеме
1994	Проводились ремонтно-реставрационные работы, которые по причине недофинансирования периодически приостанавливались
1995–1998	Принято решение о возобновлении реставрационных работ (1995 г.). Сибирским институтом «Сибспецпроектреставрация» выполнена корректировка научно-проектной документации (проводилась до 1998 г.)
1998–2000	Завершены предыдущие и проведены новые реставрационные работы в основных помещениях подвала, первого и второго этажей. В исторических планировочных отметках восстановлен (с изменениями) входной вестибюль, отреставрированы фойе перед зрительным залом и прилегающие к нему помещения
2000–2013	Здание законсервировано
2011	Минобороны передало здание в муниципальную собственность г. Томска

Окончание таблицы
End of table

Дата	Историческое событие
2012	Здание перешло в собственность областной администрации
2013–2014	Институтом ОАО «СИ “Сибспецпроектреставрация”» выполнен проект реставрации и приспособления здания под конгресс-холл «Томское собрание»
2014–2016	Реставрационные работы в помещениях
2020, август	Принято решение о размещении в здании Сибирского филиала Государственного музея изобразительных искусств им. А.С. Пушкина (ГМИИ) (губернатор С.А. Жвачкин и директор музея М.Д. Лошак)
2023, сентябрь	Утвержден вариант организации в здании Сибирского филиала ГМИИ им. А.С. Пушкина (губернатор В.В. Мазур и директор музея Е.С. Лихачёва)
2024, февраль	Подготовка проектной документации на размещение в здании Сибирского филиала ГМИИ им. А.С. Пушкина

Одно из самых рафинированных зданий выпускника Санкт-Петербургской академии художеств архитектора К.К. Лыгина – здание бывшего Общественного собрания в Томске – своим респектабельным обликом, мастерством и качеством проработки архитектурных авторских элементов выделяется в исторической застройке центральной части города. На рубеже веков постройка этого здания, наряду со зданиями учебных заведений (Императорский Томский университет, Томский технологический институт), заложила основы новой архитектурной эстетики в сибирском городе.

Здание, несомненно, обладает всеми характеристиками, определяющими его историческую архитектурно-планировочную и художественную ценность. Общественная функция здания, заложенная в начале его создания как клуба для развлечения влиятельных слоев городского общества и их семей, со временем претерпевала изменения, но сохранилась на десятки последующих лет. Наличие вместительного зрительного зала и просторных клубных помещений позволило впоследствии использовать здание как театр, кинотеатр, публичное пространство для клубной работы. Долгое время здание было значимым общественным пространством томского военного гарнизона.

Современное использование здания в качестве филиала Государственного музея изобразительных искусств как нельзя лучше продолжит традицию общественно-культурной функции сооружения, позволит оценить историко-культурное значение архитектурного объекта с многолетней историей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баландин С.Н., Залесов В.Г. Творческое наследие архитектора К.К. Лыгина в Томске // Памятники истории, археологии и архитектуры Сибири : сб. научн. трудов / под ред. О.Н. Вилкова. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1989. С. 157–167.
2. Романова Л.С. Творчество архитектора Константина Лыгина в Томске (по материалам фонда К.К. Лыгина в Томском областном краеведческом музее). Томск, 2004. 196 с.

3. Залесов В.Г. Лыгинский вклад // Тобольск и вся Сибирь: Томск : альманах. Тобольск, 2004. № 3. С. 33–38.
4. Ширко К.Н., Ширко Т.И. Здание Общественного собрания (Дом офицеров) (Историческая справка) // Памятники Томска. URL: <http://memorials.lib.tomsk.ru/page.phtml?p=20> (дата обращения: 13.12.2023).
5. Залесов В.Г., Сахарова Е.А. Особенности архитектуры здания Общественного собрания в Томске // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 2. С. 24–39.

REFERENCES

1. Balandin S.N., Zalesov V.G. Creative heritage of architect K.K. Lygin in Tomsk. In: *Coll. Papers "Monuments of History, Archeology and Architecture of Siberia"*, O.N. Vilkov, ed., Novosibirsk: Nauka, 1989. Pp. 157–167. (In Russian)
2. Romanova L.S. Creative activity of architect K.K. Lygin in Tomsk. Tomsk, 2004. 196 p. (In Russian)
3. Zalesov V.G. Contribution by Lygin. In: *Tobolsk and the whole Siberia. Al'manah*, 2004; (3): 33–38. (In Russian)
4. Shirko K.N., Shirko T.I. Public Meeting Building (House of Officers). Available: <http://memorials.lib.tomsk.ru/page.phtml?p=20>. (accessed December 13, 2022). (In Russian)
5. Zalesov V.G., Sakhorova E.A. Architect K.K. Lygin: the public assembly building in Tomsk. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (2): 24–39. (In Russian)

Сведения об авторах

Залесов Валерий Геннадьевич, канд. архитектуры, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vzal@tsuab.ru

Манонина Татьяна Николаевна, канд. истор. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, manonina100@yandex.ru

Перетягина Елена Владиславовна, председатель Комитета по охране объектов культурного наследия Томской области, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 50, peretyaginaev@tomsk.gov.ru

Authors Details

Valery G. Zalesov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., Tomsk, Russia, vzal@tsuab.ru

Tatyana N. Manonina, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., Tomsk, Russia, manonina100@yandex.ru

Elena V. Peretyagina, Chairman, Committee on Protection of Heritage Sites of the Tomsk Region, 50, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, peretyaginaev@tomsk.gov.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 41–55.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 41–55.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 721

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55

EDN: BPKGPA

НОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ВИРТУАЛЬНОГО ПАСПОРТА ДЛЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ

Дмитрий Сергеевич Кулаков, Дмитрий Викторович Карелин

Новосибирский государственный

архитектурно-строительный университет (Сибстрин),

г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Представлены результаты анализа необходимости нормирования информационных параметров, получаемых из цифровой модели здания, на примере газовой котельной. В ходе работы выявлялись основные связующие параметры, проводилось сопоставление с действующими нормативными документами для определения необходимости паспортизации данных. Полученные результаты обобщались в единую информационную структуру для формулировки предложения по созданию виртуального паспорта здания.

Материалы и методы. Использование технологии информационного моделирования зданий предполагает паспортизацию объектов, созданных с помощью BIM.

В связи с этим определялись ключевые термины, методом терминологического анализа рассматривалась в первую очередь нормативно-правовая база действующих норм и правил в области информационного моделирования для выявления среди них общих позиционных заключений, которые точно могут быть использованы в рамках реализации идеи применения виртуального паспорта объекта.

Результаты. Анализируются этапы наполнения цифровой информационной модели данными, связанными с графиком выполнения проектных работ, и их взаимосвязь.

Выводы. В результате анализа можно заключить, что виртуальный паспорт объекта способен не только увязать технологию информационного моделирования с координацией проектных решений и выдачей заданий смежным специальностям, но и организовать правильное использование этих информационных моделей на всех этапах жизненного цикла объекта.

Ключевые слова: виртуальный паспорт здания, информационное моделирование зданий, паспортизация, среда общих данных, единое информационное пространство, архитектура зданий, искусственный интеллект

Для цитирования: Кулаков Д.С., Карелин Д.В. Нормирование информационных параметров виртуального паспорта для цифровой модели здания // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 41–55. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55. EDN: BPKGPA

ORIGINAL ARTICLE

NORMALIZATION OF INFORMATION PARAMETERS
OF VIRTUAL BIM PASSPORT

Dmitry S. Kulakov, Dmitry V. Karelin

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,
Novosibirsk, Russia

Abstract. The paper presents the analysis of normalization of information parameters obtained from the building information model (BIM) of a gas boiler room. The main connecting parameters are determined herein. The obtained results are generalized into a single information structure for further creation of the BIM virtual passport.

Methodology: Building information modeling technology involving certification of BIM objects. Key terms are defined by the terminological analysis. The legal framework of existing standards and rules in the field of information modeling is considered to identify general conclusions of implementing the virtual passport.

Research findings: The analysis of stages of filling the digital information model with the data, which are connected with the design work implementation.

Value: The analysis of the material shows that the virtual passport of the object links the information modeling technology, which provides a tool primarily for coordinating design decisions and issuing tasks to related specialties and also enable a correct use of these models throughout the life cycle of the object.

Keywords: virtual passport, building information modeling, certification, general data environment, single information space, gas boiler house, attributive information

For citation: Kulakov D.S., Karelin D.V. Normalization of information parameters of virtual passport for digital building model. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 41–55. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-41-55. EDN: BPKGPA

Введение

Виртуализация, цифровизация и информационная составляющая современной строительной отрасли тесно связаны с внутренними процессами, которые могут включать в себя не только аналитический компонент, но и фактические данные – чертежи, сметную, проектную, исполнительную документацию и т. д. Все это уже неотъемлемая часть рынка, без которой трудно представить общую координацию, взаимодействие и квалифицированный обмен актуальной информацией.

Несомненно, развитие технологий всегда способствует прогрессу в отрасли [1], однако остается вопрос: каким образом все полученные данные будут группироваться между собой, что будет выходить среди них на первый план, а что будет использоваться на протяжении всего жизненного цикла объекта? Известно также, что под жизненным циклом должно пониматься взаимодействие данных не только на эскизной, проектной, рабочей стадиях, но и во время строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации. Все эти этапы накладывают свои требования, версияльность и вариативность на полученные и выводимые данные – параметры, которые можно обобщить и сгруппировать в виртуальном пространстве информационной модели здания и назвать виртуальным паспортом объекта.

Для проработки вопросов, связанных с виртуальным паспортом на примере реализации проекта создания цифровой информационной модели газовой котельной стадии П:

- 1) выделим основные связующие параметры;
- 2) проведем связь с действующей нормативной литературой;
- 3) обобщим полученные данные;
- 4) сформулируем предложение по внесению данных для разработки виртуального паспорта.

Результаты данной работы будут полезны для объектов, которые активно эксплуатируются не только в административных границах города, но и за его пределами. Особого внимания требуют вопросы реконструкции объектов, ведь именно с ней связано множество проблемных ситуаций.

Проводя параллели с градостроительными объектами и технологией информационного моделирования (ИМ) зданий, можно выявить закономерности цифрового присутствия [2] и наличия определенных алгоритмов, т. е. информационной параметризации, где параметры – это информация, а алгоритмы действия – это определенные команды, которые необходимо совершать для достижения требуемых результатов. Связующим звеном между информационным миром и физическим на данный момент является человек.

Пользователь способен выявить закономерности и назначить в любой момент времени категориям моделей информацию, которая будет взаимодействовать со связанными моделями как в своей системе, так и со сторонними моделями, образуя разветвленную систему связей – цифровую сеть.

Благодаря данной системе можно получать информацию о любом элементе модели, сравнивая и анализируя данные именно в цифровой среде, уходя от классического документооборота к цифровому архиву данных, в который будут входить:

- 1) предпроектные изыскания, исходные данные;
- 2) цифровая информационная модель с графической и аналитической информацией;
- 3) паспорта на оборудование, привязанные непосредственно к цифровым двойникам физического оборудования, расположенного на строительной площадке или на территории эксплуатируемого объекта;
- 4) фото- и видеоматериалы, демонстрирующие процесс возведения систем;
- 5) инструкции и регламентирующие документы.

Для обеспечения взаимосвязи между физическим и цифровым двойником необходим оператор, выполняющий функцию соединителя и проводника. Файл общих параметров строго регламентирует и распределяет параметры по различным категориям, объединяя их по схожим характеристикам в группы.

Проводя параллель, мы получаем взаимосвязь:

- элемент – модель;
- модель – категория;
- характеристика – параметр;
- параметр – общий параметр.

С точки зрения процесса синхронный обмен моделями и данными на основе документов приводит к тому, что фазы жизненного цикла проекта сильно перекрываются, образуя бесфазовый процесс.

Логическим продолжением вышеупомянутой модели становится гипотеза «параллельного строительства» в результате сетевой интеграции. Термин «параллельное строительство» используется, когда «все мероприятия проекта интегрированы и все аспекты проектирования, строительства и эксплуатации планируются одновременно, чтобы максимизировать ценность целевых функций при оптимизации конструктивности и работоспособности». На данном этапе уже возникает необходимость паспортизации виртуальных процессов для общей координатной всех участников процесса проектирования – эксплуатации объекта.

Общий параметр является формообразующим [3], т. к. может использоваться и характеризоваться на объектах, схожих по признакам. Пользователь в конечном итоге сам определяет, какой набор параметров будет применять, выполняя тот или иной проект. Для автоматизации выбора существует «Стандарт и регламент информационного моделирования». Именно в данном документе строго описан процесс создания, группировки и назначения общих параметров, в том числе хранение и добавление новых параметров, которые ранее нигде не использовались.

Материалы и методы

Цифровизация строительной отрасли стремительно развивается. Внедряются современные методы обследования для получения качественных исходных данных, проводятся пилотные проекты с целью повышения качества выпускаемых продуктов с использованием программного обеспечения, работающего на технологии информационного моделирования зданий.

При переходе на новые методы обработки, анализа и хранения цифровых данных возникает необходимость в упорядочивании подходов и пересмотре нормативно-технической базы документооборота. Применение технологии информационного моделирования зданий предполагает и паспортизацию объектов, созданных с помощью технологии BIM [4].

В связи с этим перед исследователем встает задача в определении ключевых терминов, с которыми предстоит работа. Для этого воспользуемся методом терминологического анализа, и прежде всего рассмотрим нормативно-правовую базу действующих норм и правил в области информационного моделирования, и выявим среди них общие позиционные заключения, которые точно могут быть использованы в рамках реализации идеи применения виртуального паспорта объекта.

Рассмотрим следующие документы:

«Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах»¹. В основу данного свода правил вошли базовые требования к созданию и эксплуатации информационных систем, взаимодействующих между собой в течение всего жизненного цикла здания или сооружения и реализующих технологию информационного моделирования объекта строительства. Свод правил определяет требования именно во взаимосвязи

¹ СП 331.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах. URL: <http://www.minstroyrf.ru/docs/16403> (дата обращения: 03.12.22).

с передачей информации и обменом ею между информационными моделями и внутри них.

Ключевым моментом является передача и обмен информацией, т. к. именно в этом контексте следует упомянуть про интероперабельность, которая, в свою очередь, должна содержать как минимум три связанных между собой уровня: организационный, семантический и технический. Здесь под обменом информацией вводится переменная, как программная часть, работающая по технологии информационного моделирования зданий, состоящая из компонентов, связанных с цифровой моделью. Данный свод правил учитывает не только техническую реализацию обмена, но и затрагивает семантический и организационный уровень².

С точки зрения обмена информацией данный свод правил предполагает проведение первичного анализа бизнес-процессов среди участников – организаций. Анализ осуществляется путем обследования и наблюдения за процессами передачи и обработки информации.

Опираясь на эту информацию, можно выдвинуть гипотезу, что использование информационной модели может быть разным с точки зрения обработки и получения данных не только на различных жизненных этапах конкретного производства, но и на разных по технологическому смыслу объектах, а вариативные параметры, полученные в ходе работы, требуют классификации и группирования по информационным классификаторам с занесением данных в виртуальный паспорт объекта.

Для обобщения, связи и группировки данных информационной модели, показанной на рис. 1, может служить виртуальный паспорт, в который будет заноситься вся необходимая информация на определенном жизненном цикле проекта. Для формирования массива данных авторами исследования была рассмотрена газовая котельная, которая проходила экспертизу по стадии П в области информационного моделирования зданий.

Прежде всего перед началом работы необходимо было определить степень детализации геометрии³, чтобы избежать в дальнейшем переработки моделей по входящим в них разделам проектной документации. Для этого на данном этапе авторами была введена параметризация модели, а также различные теги (такие параметры, по которым в будущем можно отсортировать и быстро найти тот или иной компонент модели). Уже на данном этапе (рис. 2) проявилась необходимость в классификации параметров к жизненному циклу объекта – в данном случае стадия П.

Согласно нормативным документам, информационное моделирование объектов требует объединения различных наборов информации в информационную среду. В качестве этой среды авторы исследования и предлагают ввести понятие «виртуальный паспорт».

² ГОСТ Р 55062–2012. Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. Москва: Стандартинформ, 2014. 12 с.

³ ГОСТ Р 10.0.03–2019. Система стандартов информационного моделирования зданий и сооружений. Информационное моделирование в строительстве. Справочник по обмену информацией. Ч. 1. Методология и формат. Москва: Стандартинформ.

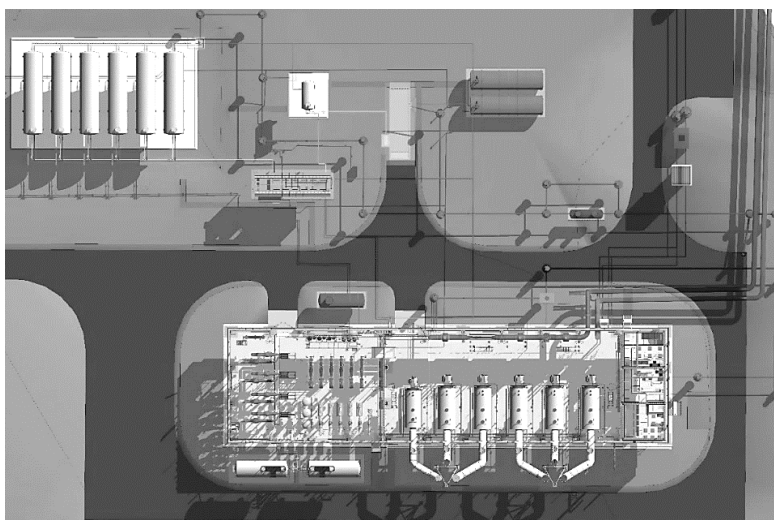


Рис. 1. Информационная модель котельного хозяйства
Fig. 1. Information model of the boiler system

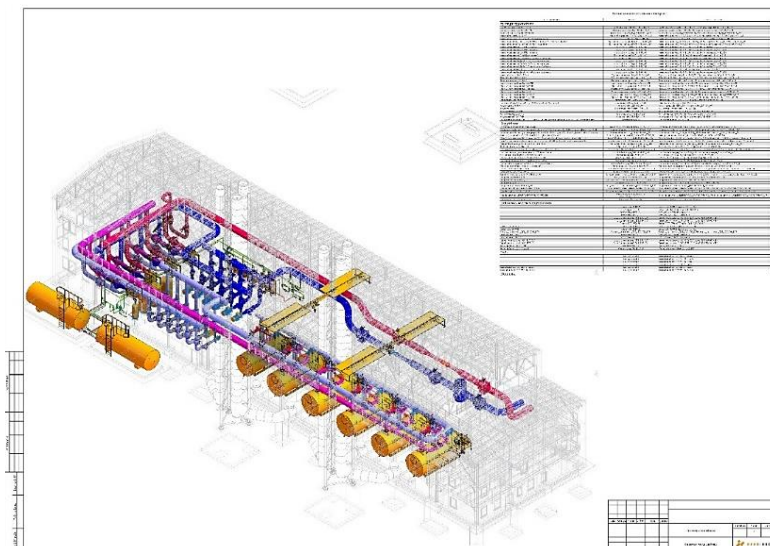


Рис. 2. Наполнение параметрами тепломеханического раздела газовой котельной
Fig. 2. Filling with parameters the thermal mechanical section of gas boiler house

Виртуальный паспорт – паспорт, объединяющий все данные об объекте, включая информационные модели, документы и структурированные сведения из них, а также уникальный идентификатор объекта.

Поскольку на разных жизненных стадиях объекта сама информационная модель может и не использоваться, к примеру на стадии П (некоторые разделы не могут быть промоделированы, например экология), необходимо определить, каким образом внедрить и какие параметры использовать в информационном поле для отображения нужной информации.

Данный свод правил использовался в текущем проекте с точки зрения нормирующего звена, который определял правила работы и обмен информацией внутри модели при взаимодействии с другими участниками проекта.

Чтобы подтвердить справедливость и возможность гипотезы о том, что есть вариативность параметров, которые могут быть сгруппированы на разных жизненных циклах объекта, рассмотрим свод правил «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла»⁴.

Свод правил содержит требования к информационным моделям объектов массового строительства и их разработке на различных стадиях жизненного цикла. Именно этот подход был взят за базисное направление при разработке данного проекта стадии П, ведь именно информационная модель объекта строительства сопровождает все стадии жизненного цикла объекта. Модель котельной, разработанной посредством информационного моделирования в контексте жизненного цикла, предполагает постепенную эволюцию ИМ от концепции до соответствия модели объекту завершённого строительства, последующее ее использование и модификацию в ходе эксплуатации.

Информационная составляющая параметров должна иметь строгий набор атрибутов, который диктуется именно той стадией жизненного цикла, на которой обслуживается и создается цифровая информационная модель, т. е. атрибуты должны совпадать с их представлением в документации. Цифровизация современной жизни невозможна без пересмотра подходов и методов производственной деятельности человека. С каждым днем физический мир все больше соединяется с цифровым, предоставляя тем самым широкий спектр возможностей для контроля и мониторинга всех происходящих в нем изменений.

Минимизация затрат, сокращение времени строительства и улучшение технологий – это основной вектор, к которому необходимо стремиться. Виртуализация технологических процессов в информационном моделировании зданий совмещает в себе множество факторов, которые необходимо учитывать на всех этапах жизненного цикла строительного объекта. Стадийность производства включает в себя определенную параметризацию данных, использование которых может обеспечить контроль и надзор за качеством. Это еще раз подтверждает гипотезу авторов о «параллельном строительстве» и введении определённой параметризации, которая будет включать в себя набор данных – атрибутов, развивающихся параллельно с физическим представлением объекта, на каждой стадии жизненного цикла.

Сегодня мы принимаем непосредственное участие в четвертой промышленной революции, которая по своему развитию и охвату не идет в сравнение с предыдущими этапами развития человеческих взаимоотношений [5].

Основным концептом Индустрии 4.0 является цифровой двойник предприятия, т. е. цифровая копия физического объекта с протекающими на нем процессами, помогающая виртуализировать все проходящие на объекте технологические ситуации с целью оптимизации производства. Цифровой двойник

⁴ СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. URL: <http://www.minstroyrf.ru/docs/16405> (дата обращения: 03.12.22).

помогает предприятиям понимать и моделировать в реальном времени различного рода ситуации, влияющие на продуктивность. Основная идея введения данного подхода – предсказывать результаты производства и производить более качественные продукты. Широкое его внедрение, повышение квалификации специалистов и становление новых профессий будут благоприятно влиять на общий фон индустрии в целом. Примером может служить опыт коллег из Франции, где процент использования технологии информационного моделирования среди инженеров опережает количество специалистов архитектурных специальностей. Это обусловлено тем, что архитектурный сегмент здесь в основном представлен мелкими предприятиями, в то время как инженерия – более крупными, а инерционность производства не рассматривается. При интеграции данных процессов ввели допущение, выбрав необязательный подход при использовании технологии, не вводя требования BIM в закон о государственных закупках, дав тем самым мелким и средним предприятиям доступ к государственным заказам [6, 7]. Совокупность факторов внедрения и интеграции позволяет рассматривать сегмент строительного рынка как единую структуру, которая может подчиняться правилам и стандартам.

Здесь уместно провести параллель между цифровым двойником и идеей «параллельности строительства», что еще раз подтверждает выдвинутые гипотезы о необходимости сбора и классификации аналитических параметров в единое целое – виртуальный паспорт.

В будущем именно благодаря ей и интеграции с виртуальным паспортом будет возможен экономический анализ объекта на различных жизненных стадиях, что минимизирует затраты на эксплуатацию и реконструкцию.

Переход к четвертой промышленной революции полностью меняет образ жизни современного человека. Человечество столкнется с изменениями, которые будут внедряться во все сферы деятельности современного общества, и данные изменения уже прослеживаются. Базовым отличием этой революции от всех предыдущих является синтез и взаимодействие всех перечисленных выше технологий. Их развитие и внедрение связано с неопределенностью, поэтому сегодня достаточно сложно просчитать все последствия использования технологических инноваций в жизни человека и общества. Требуется комплексный подход к исследованию данной проблемы [8]. Проводя анализ ситуации в целом, можно выявить взаимосвязь между специалистами отрасли и потребителями конечного продукта – самой технологии и тех данных, которые получают благодаря ей [9].

Пользователь способен проследить закономерности и в любой момент назначить категориям моделей информацию, которая будет взаимодействовать со связанными моделями в своей системе и со сторонними моделями, образуя разветвленную систему связей – цифровую сеть.

Благодаря такой системе можно получать данные о любом элементе модели, сравнивая и анализируя данные именно в цифровой среде, уходя от классического документооборота и переходя к цифровому архиву данных.

Формирование новых подходов к работе, появление инновационных инструментов, несомненно, приводят к образованию новых профессий, условий труда в организациях и меняют саму суть регулирования и стандартизации, что влечет за собой смену давно устоявшихся подходов и принципов [10].

Жизненный цикл объекта строительства представляет собой огромный массив данных, постоянно трансформирующихся, видоизменяющихся и переходящих из одной стадии в другую. Переход информации при этом происходит стадийно, дополняясь и меняясь со временем. Все данные могут представлять собой единую структуру, которая может объединяться посредством алгоритмов, инструментов и подходов, установленных и стандартизированных каждый для своего направления. Определяющим фактором должно быть единообразие методов и технологии в целом [11].

Результаты исследования

В рамках выполнения настоящего исследования, этап наблюдения и анализа которого проходил с 15.04.2022 по 24.06.2022, можно сформулировать определенные выводы, базирующиеся не только на визуальной составляющей, а именно трехмерной модели, но и на аналитической составляющей нормативных документов.

Как видно из анализа данных, представленных на рис. 3, развитие и наполнение цифровой информационной модели происходит этапами, которые взаимосвязаны с графиком выполнения проектных работ.

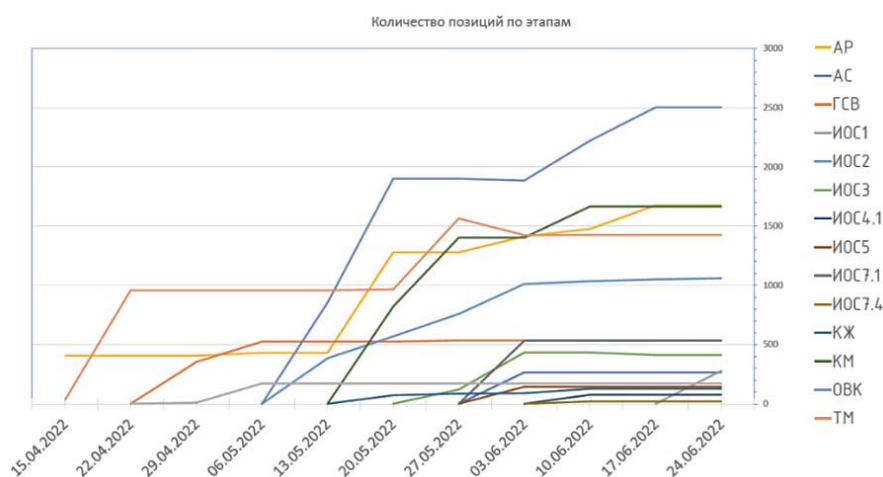


Рис. 3. График, демонстрирующий количество разделов во временном промежутке
Fig. 3. The number of stages in time

На рис. 4 отражено общее количество элементов, привязанных к этапам выдачи проектных данных.

Отчетливо наблюдается скачок параметрических данных, который обусловлен резким появлением новых данных (графическая информация, изменения проектных данных, внесение корректировок и т. д.). Эта закономерность также подтверждает гипотезу о сетевой интеграции, которая вызывает «параллельное строительство». Без внесения изменений в информационную модель существует вероятность потери данных. Соответственно, можно сделать вывод, что уже на стадии разработки проектной документации возникает необходимость паспортизации виртуальных процессов для общей координации всех

участников проектирования – эксплуатации объекта, что еще раз подтверждает актуальность исследования процессов BIM [12].

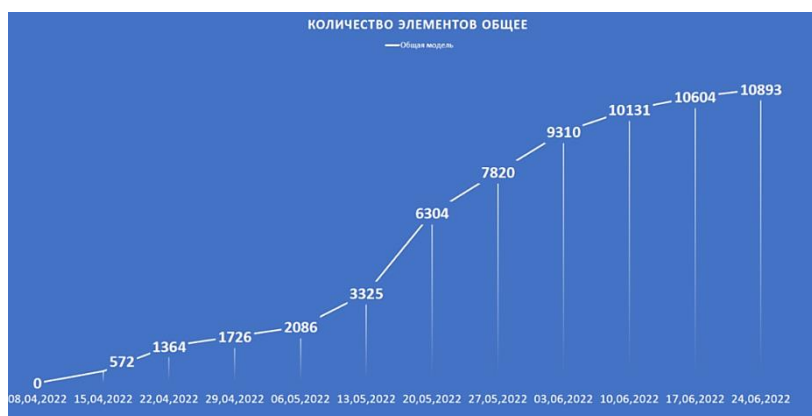


Рис. 4. График, демонстрирующий количество параметров во временном промежутке
Fig. 4. The number of parameters in time

Опираясь на полученные данные о вариативности процессов (рис. 5), проходящих на разных жизненных стадиях проекта, в данном случае – этап выполнения стадии П, авторы подтверждают выдвинутую гипотезу об обязательной классификации и группировке данных по информационным классификаторам при выполнении проекта с применением цифровой информационной модели, в которой моделируются процессы и объекты, связанные с разными технологическими циклами с занесением всех полученных результатов в виртуальный паспорт объекта.

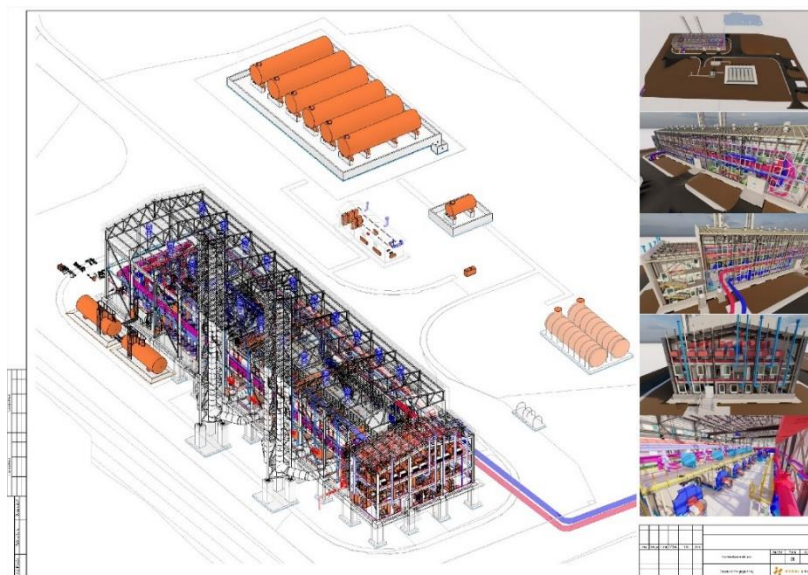


Рис. 5. Информационная модель газовой котельной после координации
Fig. 5. Information model of gas boiler house after coordination

Выводы

Виртуальный паспорт объекта помогает не только применять технологии информационного моделирования для координации проектных решений и выдачи заданий смежным специальностям, но и организовать правильное использование этих информационных моделей на всех этапах жизненного цикла объекта.

Часто правильные решения могут быть упущены в самом начале проекта, что неизбежно ведет к отклонению от проектных решений на этапе производства объекта. Необходимо минимизировать данную ошибку и не допустить ее появления на строительной площадке.

Авторами исследования был рассмотрен объект, выполненный по технологии информационного моделирования зданий, для обобщения данных, полученных в результате анализа проектных работ на зафиксированном временном промежутке. Полученные результаты позволили выдвинуть две гипотезы.

1. Сетевая интеграция вызывает «параллельное строительство» – термин, используемый, когда «все мероприятия проекта интегрированы и все аспекты проектирования, строительства и эксплуатации планируются одновременно, чтобы максимизировать ценность целевых функций при оптимизации конструктивности и работоспособности».

2. Использование информационной модели может быть разным с точки зрения обработки и получения данных не только на различных жизненных этапах конкретного производства, но и на разных по технологическому смыслу объектах, а вариативные параметры, полученные в ходе работы, требуют классификации и группирования по информационным классификаторам с занесением данных в виртуальный паспорт объекта.

Обобщенная информация и данные исследования позволяют сделать вывод, что существующие нормативные документы в области информационного моделирования не затрагивают область нормирования данных, влияющих на эксплуатацию цифровых информационных моделей, хотя определенные тенденции в развитии все же существуют.⁵

ВМ по-прежнему остается относительно новой областью знаний [13]. На сегодняшний день для конкретной организации имеется два пути формирования специалистов в области информационного моделирования: подготовка новых специалистов и переподготовка уже практикующих. При этом необходимо решать вопросы не только содержания и методов обучения, но и способов оценивания уровня квалификации сотрудников, определения эффективности проводимых тренингов, выявления непосредственного влияния на развитие ВМ-технологий в организации [14]. Широкий круг вопросов подтверждает новизну технологии для рынка и доказывает необходимость детальной проработки вопросов нормирования параметров.

Кроме того, существует уязвимость передачи данных внутри самих участников процесса. Это так называемая группа риска модели информацион-

⁵ Решения по итогам заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России. Об инновационном развитии в сфере строительства // Правительство России: официальный сайт. URL: <http://government.ru/orders/selection/401/11022> (дата обращения: 03.12.22).

ного контейнера – проблемы открытой передачи данных как между разными информационными системами участников проекта, так и между последовательными стадиями его жизненного цикла. Проблемы связаны со специфически большим и изменчивым числом участников строительного проекта и его специфически длительным полным жизненным циклом. Эти особенности определяют специальное требование к информационной модели объекта капитального строительства – необходимость адекватного отражения данных в процессе многократных трансформаций и в течение длительного времени [15]. Своевременное отображение данных и значений параметров может позволить сэкономить значительную часть финансирования не только на этапе проектирования, но и на этапе строительства [16]. Соответственно закрепление данных должно быть строго нормировано, упорядочено и консолидировано в едином документе. Нормирование параметров, используемых в виртуальной среде данных, способно вызвать множественные изменения в подходах и методологии работы с этой инновационной технологией, которая полноценно находится на рынке порядка 15 лет [17].

В связи с этим помимо нормирования должен быть регламентирован и вопрос проведения повсеместных пилотных проектов, обучения и повышения квалификации специалистов. Тем самым будет накапливаться объем данных и опыт успешного применения технологии [18, 19].

Стандарт предназначен для коллективного применения и обмена данными в программных ресурсах, используемых участниками проекта на различных стадиях его жизненного цикла, в том числе в ходе строительства и эксплуатации объектов капитального строительства [20]. Авторы в своем исследовании не только показывают важность создания и применения виртуального паспорта объекта, но и доказывают выдвинутые гипотезы о необходимости его внедрения на ранних этапах создания цифровой информационной модели здания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Figueiredo K., Hammad A.W., Haddad A.* Sustainable construction achieved through life cycle assessment: methodology, limitations and the way forward // *Encyclopedia of renewable and sustainable materials*. 2020. V. 4. P. 576–583. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.11360-8
2. *Ефимов К.В., Беляков С.И.* Исследование актуальной проблематики национального проекта «Жилье и городская среда» // *Экономика и предпринимательство*. 2019. № 9 (110). С. 458–461.
3. *Хрипко Т.В.* Эффективность управления жизненным циклом объектов с использованием информационного моделирования // *Промышленное и гражданское строительство*. 2019. № 9. С. 24–29. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.09.24-29
4. *Antonopoulou K., Begkos C.* Strategizing for digital innovations: Value propositions for transcending market boundaries // *Technological forecasting and social change*. 2020. V. 156. P. 120042. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120042
5. *Кулаков Д.С., Мордвов А.А., Карелин Д.В.* Виртуальный паспорт объектов строительства – предвестник четвертой промышленной революции в строительстве // *Интеллектуальный потенциал Сибири : материалы конференции / под ред. Д.О. Соколовой*, 2021. С. 197–199.
6. *Lu W., Lai C.C., Tse T.* BIM implementation strategies, prospects, and challenges // *BIM and big data for construction cost management*. 2018. P. 34–52. DOI: 10.1201/9781351172325-3

7. Smith P. BIM implementation – global strategies // *Procedia engineering*. 2014. V. 85. P. 482–492. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.57
8. Шваб К.М. Четвертая промышленная революция = Die Vierte Industrielle Revolution. Москва : Эксмо, 2016. 208 с.
9. Jolanta Š., Pupeikis D. Review of BIM implementation in higher education // *Journal of sustainable architecture and civil engineering*. 2018. V. 22. I. 1. DOI: 10.5755/j01.sace.22.1.21116
10. Гусакова Е.А., Овчинников А.Н. Перспективы моделирования жизненного цикла объекта капитального строительства информационными потоками // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15. С. 1191–1200.
11. Гусакова Е.А., Волков А.А., Овчинников А.Н. Развитие среды программирования информационных потоков жизненного цикла строительного объекта // *Системотехника строительства*. Киберфизические строительные системы, Москва, 25 ноября 2019 г. : сб. мат. Всеросс. науч. конф. Москва : Изд-во МИСИ – МГСУ, 2019. С. 51–57.
12. Jasiński A. Impact of BIM implementation on architectural practice // *Architectural engineering and design management*. 2021. V. 17. I. 5–6. P. 447–457. DOI: 10.1080/17452007.2020.1854651
13. Oraee M., Hosseini M.R., Edwards D.J., Li H., Papadonikolaki E., Cao D. Collaboration barriers in BIM-based construction networks: A conceptual model // *International journal of project management*. 2019. V. 37. I. 6. P. 839–854. DOI: 10.1016/j.ijproman.2019.05.004
14. Бачурина С.С., Голосова Т.С. Инвестиционная составляющая в проектах внедрения BIM-технологий // *Вестник МГСУ*. 2016. № 2. С. 126–134.
15. Тополян М.Р. Жизненный цикл территории: горизонтальная, вертикальная и диагональная динамика развития // *Теоретическая экономика*. 2018. № 4 (46). С. 171–177. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36544469>
16. Hasan A.N., Rasheed S.M. The benefits of and challenges to implement 5d bim in construction industry // *Civil engineering journal*. 2019. V. 5. I. 2. P. 412. DOI: 10.28991/cej-2019-03091255
17. Smith D., Tardif M. BIM implementation strategies // *Building information modeling*. 2009. P. 27–55. DOI: 10.1002/9780470432846.ch2
18. Dadmehr N., Coates S. Consultative approach to BIM implementation // 14th International Postgraduate Research Conference. 2020. URL: <https://salford-repository.worktribe.com/output/1352574/consultative-approach-to-bim-implementation>
19. Sampaio A.Z. Project management in office: BIM implementation // *Procedia computer science*. 2022. V. 196. P. 840–847. DOI: 10.1016/j.procs.2021.12.083
20. Федорин М.Д. BIM-технологии как организационно-управленческая инновация в строительной сфере // *Актуальные вопросы современной экономики*. 2019. № 6-2. С. 143–148. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41763450>

REFERENCES

1. Figueiredo K., Hammad A.W., Haddad A. Sustainable construction achieved through life cycle assessment: methodology, limitations and the way forward. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. 2020; (4): 576–583. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.11360-8
2. Efimov K.V., Belyakov S.I. Analysis of topical issues of the national project “Housing and Urban Environment”. *Journal of Economy and entrepreneurship*. 2019; 9 (110): 458–461. (In Russian)
3. Khripko T.V. Effectiveness of life cycle management of projects using information modeling. *Industrial and Civil Engineering*. 2019; 9: 24–29. DOI: 10.33622/0869-7019.2019.09.24-29 (In Russian)
4. Antonopoulou K., Begkos C. Strategizing for digital innovations: Value propositions for transcending market boundaries. *Technological Forecasting and Social Change*. 2020; 156: 120042. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.120042
5. Kulakov D.S., Mordvov A.A., Karelin D.V. Virtual passport of construction objects as harbinger of the fourth industrial revolution in construction. In: *Proc. Sci. Conf. 'Intellectual Potential of Siberia'*, D.O. Sokolova, Ed., 2021. Pp. 197–199. (In Russian)
6. Lu W., Lai C.C., Tse T. BIM implementation strategies, prospects, and challenges. BIM and big data for construction cost management. 2018. Pp. 34–52. DOI: 10.1201/9781351172325-3

7. Smith P. BIM Implementation – Global strategies. *Procedia Engineering*. 2014; 85: 482–492. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.10.57
8. Schwab K.M. Die Vierte Industrielle Revolution. Eksmo, 2016. 208 p. (Russian translation)
9. Jolanta Š., Pupeikis D. Review of BIM implementation in higher education. *Journal of Sustainable Architecture and Civil Engineering*. 2018; 22 (1). DOI: 10.5755/j01.sace.22.1.21116
10. Gusakova E.A., Ovchinnikov A.N. Prospects for the life cycle modeling of a capital construction facility using information flows. *Vestnik MGSU*. 2020; 15 (8): 1191–1200. (In Russian)
11. Gusakova E.A., Volkov A.A., Ovchinnikov A.N. Development of programming environment for information flows of building lifecycle. In: *Proc. All-Russ Sci. Conf. 'Construction System Engineering. Cyberphysical Building Systems'*. Moscow: MGSU, 2019. Pp. 51–57. (In Russian)
12. Jasiński A. Impact of BIM implementation on architectural practice. *Architectural Engineering and Design Management*. 2021; 17 (5–6): 447–457. DOI: 10.1080/17452007.2020.1854651
13. Oraee M., Hosseini M.R., Edwards D.J., Li H., Papadonikolaki E., Cao D. Collaboration barriers in BIM-based construction networks: A conceptual model. *International Journal of Project Management*. 2019; 37 (6): 839–854. DOI: 10.1016/j.ijproman.2019.05.004
14. Bachurina S.S., Golosova T.S. Investment component in BIM implementation projects. *Vestnik MGSU*, 2016; (2): 126–134. (In Russian)
15. Topolyan M.R. Territory life: Horizontal, vertical and diagonal dynamics of development. *Teoreticheskaya ekonomika*. 2018; 4 (46): 171–177. Available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36544469> (In Russian)
16. Hasan A.N., Rasheed S.M. The benefits of and challenges to implement 5D BIM in construction industry. *Civil Engineering Journal*. 2019; 5 (2): 412. DOI: 10.28991/cej-2019-03091255
17. Smith D., Tardif M. BIM implementation strategies. *Building Information Modeling*. 2009. Pp. 27–55. DOI: 10.1002/9780470432846.ch2
18. Dadmehr N., Coates S. Consultative approach to BIM implementation. *14th International Postgraduate Research Conference*. 2020. Available: <https://salford-repository.worktribe.com/output/1352574/consultative-approach-to-bim-implementation>
19. Sampaio A.Z. Project management in office: BIM implementation. *Procedia Computer Science*. 2022; 196: 840–847. DOI: 10.1016/j.procs.2021.12.083
20. Fedorin M.D. BIM-technologies as organizational and managerial innovation in the construction sector. *Aktual'nye voprosy sovremennoi ekonomiki*. 2019; (6-2): 143–148. Available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41763450> (In Russian)

Сведения об авторах

Кулаков Дмитрий Сергеевич, аспирант, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, kulakov@reegigroup.com

Карелин Дмитрий Викторович, канд. архитектуры, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин); 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, d.karelin@sibstrin.ru

Authors Details

Dmitry S. Kulakov, Research Assistant, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, kulakov@reegigroup.com

Dmitry V. Karelin, PhD; Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, d.karelin@sibstrin.ru

Вклад авторов

Карелин Д.В. – научное руководство, концепция исследования, развитие методологии.
Кулаков Д.С. – автор исследования, написание исходного текста, итоговые выводы.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

Karelin D.V. supervision, conceptualization, methodology.

Kulakov D.S. wrote the manuscript, drew conclusions.

The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 30.11.2023

Одобрена после рецензирования 26.12.2023

Принята к публикации 16.01.2024

Submitted for publication 30.11.2023

Approved after review 26.12.2023

Accepted for publication 16.01.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 56–69.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 56–69.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 728.3 (728.31, 728.84)

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-56-69

EDN: BZLILA

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЖИЛИЩА НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДАЧНОГО И САДОВОДЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВА-НА-ДОНУ)

Светлана Анатольевна Солдаткина

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Актуальность исследования обусловливается активным строительством на территориях дач и садоводств, появлением редакций нормативных и законодательных документов в этой области.

Новизна исследования. Впервые сформулированы современные требования к качеству дачного жилища, основанные на комплексном изучении садово-дачной архитектуры. Проведен анализ мирового опыта преобразования территорий садоводств. Выявлены архитектурно-планировочные особенности формирования жилища. Предложены стратегии (щадящая, радикальная и смешанная) и конкретные мероприятия по преобразованию жилища на территориях садоводств и дач на трёх пространственных уровнях: город, садоводство, участок. Установлены два устойчивых типа проживания: рекреационный (сезонный) и постоянный (круглогодичный). Разработаны оптимальные структурные модели жилища, учитывающие характер застройки, состав семей, ориентацию участка по сторонам света, региональные особенности и потенциал места.

Цель работы – определить перспективы развития архитектурно-планировочной структуры жилища на территориях дачного и садоводческого назначения.

Методологической основой исследования является комплексный подход, который позволяет охватить многослойность жилища на трёх пространственных уровнях: город, садоводство, участок – и перспективы развития типологической структуры построек.

Методика исследования включает: систематизацию нормативной и научной литературы по данной тематике; анализ существующих стратегий реформирования территорий садоводств и дач в мире; натурное обследование архитектуры жилищ дач и садоводств в разные сезоны года с фотофиксацией существующих, реконструируемых и новых строящихся построек в городских границах Ростова-на-Дону; интервьюирование владельцев дач; графоаналитическое исследование проектных, кадастровых и картографических данных с использованием поисковых систем интернета Yandex.

Результаты: на основании комплексного исследования и фактологических данных предложены стратегии преобразования жилой среды садоводств, разработаны архитектурно-планировочные модели жилища на трёх пространственных уровнях: город, садоводство, участок – с учётом региональных особенностей, состава семей и современных тенденций в области проектирования и строительства.

Ключевые слова: жилище, дачная архитектура, малоэтажный садовый дом, инфраструктура садоводств, архитектурное реформирование садоводств, стратегии преобразования садоводств, транспортный каркас садоводства, архитектурно-планировочная структура, модели жилища, Ростов-на-Дону

Благодарности: автор выражает благодарность за допуск на объекты, фотофиксацию и интервью Виктору Михайловичу Молчанову, Марианне Викторовне Благовой.

Для цитирования: Солдаткина С.А. Перспективы развития жилища на территориях, предназначенных для дачного и садоводческого строительства (на примере Ростова-на-Дону) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 56–69. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-56-69. EDN: BZLILA

ORIGINAL ARTICLE

HOUSING DEVELOPMENT ON COUNTRY TERRITORIES IN ROSTOV-ON-DON

Svetlana A. Soldatkina

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

Abstract. Based on a comprehensive study of the country architecture, the world experience in the field and modern requirements for the housing quality are given. The dwelling architecture is described. Strategies and specific proposals for transforming housing on country territories three spatial levels are proposed: city, gardening, plot. Two sustainable types of residence are established: recreational (seasonal) and permanent (year-round). The best structural models of housing are developed, taking into account the development, families, site orientation, regional characteristics.

Purpose: The development of spatial and architectural planning models of housing at three spatial levels: city, gardening, plot.

Methodology: Integrated approach to multilayered housing and development prospects of the typological structure of buildings; systematization of normative and scientific literature; analysis of reforming gardening and dachas in the world; full-scale survey of architecture of cottages and gardening dwellings in different seasons; photographs of reconstructed and buildings under construction in Rostov-on-Don; interviewing owners of dachas; cadastral and cartographic data.

Value: Based on a comprehensive study and factual data, the strategy is proposed for transforming the residential environment. Architectural and planning models of housing are developed at three spatial levels: city, gardening, plot, taking into account regional conditions, families and current trends in design and construction.

Keywords: dwelling, country architecture, low-rise house, gardening infrastructure, architectural gardening reformation, gardening transformation strategy, gardening transport, architectural and planning structure, Rostov-on-Don

Acknowledgment. The author is grateful to V.M Molchanov and M.V. Blagova for their admission to objects, making pictures and interviews.

For citation: Soldatkina S.A. Housing development on country territories in Rostov-on-Don. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 56–69. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-56-69. EDN: BZLILA

Настоящая статья является завершающим этапом обширного исследования, посвященного архитектуре жилища на территориях садоводств и дач. Используемая методика апробирована автором в научных статьях [1, 2].

Изначально территории под сады отводились во временное пользование [3]. Градостроительная концепция не подразумевала постоянное проживание на этих территориях, более того, садоводства предполагались пешеходными, не было необходимости в широких проездах. Приоритетным был общественный транспорт, а индивидуальная автомобилизация не носила массового характера [4].

По архивным данным, с 1950 г. в договоре на передачу указывалось временное пользование (рис. 1, *слева*), а к 1956 г. временное перечеркивалось или по тексту договора указывалось бессрочное пользование (рис. 1, *справа*).

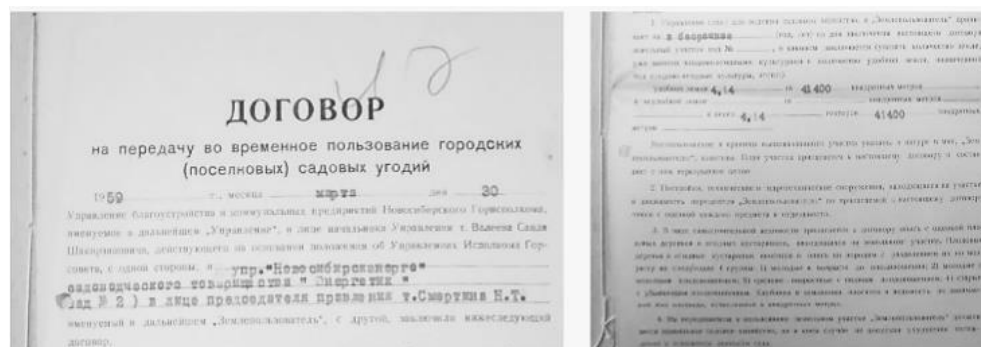


Рис. 1. Фрагмент договора из архива: материалы дел по отводу земель под садоводческие и огороднические товарищества. НГА. Ф. 578. Оп. № 3. Д. 1158

Fig. 1. Fragment of the agreement from the archive of land allotment for gardening and horticultural societies

На современном этапе анализ архитектуры садоводств в г. Ростове-на-Дону позволил выявить недостатки, которые стали препятствием для социального и архитектурно-планировочного развития территорий:

- ограниченная доступность общественного транспорта;
- несоответствие улично-дорожной сети потребностям проживающих;
- недостаточная развитость и ограниченность инженерной инфраструктуры;
- отсутствие социальной и культурной инфраструктуры;
- нерациональное использование природных ресурсов;
- нерегулируемая застройка (более 3 этажей, блокированная застройка, дома-дуплексы);
- использование материалов, не предназначенных для строительства жилья.

Несмотря на вышеперечисленные недостатки, участки в садоводствах активно застраиваются жилыми домами. Это обусловлено несколькими факторами.

Во-первых, увеличение спроса на индивидуальное жилье. В связи с ростом цен на недвижимость и участки на территориях индивидуальной жилой застройки, более доступным вариантом становится жилой дом в садоводствах.

Во-вторых, развитие технологий строительства и материалов. Новые материалы и технологии позволяют создавать более прочные и энергоэффективные дома, что повышает их привлекательность для покупателей [5].

В-третьих, изменение требований к жилью. С развитием технологий и изменением образа жизни людей требования к жилищу также меняются: появляется потребность в добавлении пространства для проведения семейного досуга и блока здоровья. Большой процент людей хотят иметь свой участок земли не только для отдыха на природе, но и для выращивания овощей и фруктов [6].

В-четвёртых, частая практика покупки дачного участка с коммерческой целью.

Для формирования комфортной и эстетически полноценной жилой среды садоводств, с нашей точки зрения, необходимо выполнение ряда требований к улично-дорожной сети, функциональному зонированию, безопасности и методам проектирования и строительства на участках.

На уровне «город» **улично-дорожная сеть** должна обеспечить:

- безопасное движение транспорта и пешеходов;
- подъезд пожарной техники ко всем садовым участкам и объектам общего пользования;
- необходимую пропускную способность магистралей и транспортных узлов с разделением движения по скоростям и видам транспорта;
- возможность перераспределения транспортных потоков при временных затруднениях на отдельных направлениях и участках;
- удобные подъезды к объектам внешнего транспорта (автовокзалам) и выезды на загородные автомобильные дороги;
- учёт природных условий: рельеф местности, наличие водотоков и особенности климата.

На уровне «садоводства» **функциональное зонирование** садоводств должно включать набор необходимых для жилых территорий зон:

- магазинов продовольствия широкого ассортимента;
- медицинских и аптечных пунктов обслуживания;
- частных детских дошкольных учреждений;
- досугового центра;
- ветеринарных пунктов;
- площадок отдыха взрослых и детей.

Рациональное размещение различных функциональных зон на территории садоводств и обеспечение кратчайших связей между отдельными функциональными районами повысят качество проживания на этих территориях. В пределах жилых кварталов одним из критериев является время, затрачиваемое жителями на проезд от места жительства (спальных районов) до мест первой медицинской помощи, аптечных пунктов и муниципальных объектов, таких как детский сад, школа.

Безопасность. Необходимо предусмотреть установку системы охраны и видеонаблюдения. Это защитит имущество и обеспечит безопасность, а в последующем избавит жильцов от необходимости возводить высокие заборы, которые ухудшают визуальное восприятие места и негативно влияют на психоэмоциональное состояние.

На уровне «участок» **методы проектирования и строительства:**

- необходимо учитывать сложившуюся застройку;
- контроль соблюдения противопожарных и санитарно-гигиенических отступов;

- контроль использования материалов, предназначенных для строительства жилых помещений;
- оптимальные площади застройки и этажность с учетом размера участка, соседства;
- соотношение площадей помещений дома с учётом типа проживания и состава семьи.

Для решения этих задач нами исследованы конкретные территории и проанализированы реализации разнообразных стратегий на примерах других стран, обозначены пути их адаптации в условиях нашей страны и конкретных регионов.

Проект «Солнечный Город» в Стокгольме, Швеция, является ярким примером улучшения инфраструктуры в дачных районах. Этот проект включает в себя развитие общественного транспорта, создание велосипедных дорожек и парков для отдыха [8, 9]. В результате реализации проекта значительно снизилось автомобильное движение и улучшилось качество воздуха.

Программа «Семейный Дом» в Торонто, Канада, сосредоточивается на поддержке молодых семей, стремящихся обосноваться в дачных районах. Она предоставляет субсидии на покупку жилья, а также на инфраструктурные улучшения в районах [7, 10]. Реализация этой программы снизила уровень безработицы и повысила уровень благосостояния семей.

Программа «Садоводство для всех», США. В США имеется множество программ, таких как «Садоводство для всех», которые поощряют общественное участие в садоводстве и огородничестве в дачных районах. Эти программы предоставляют доступ к земельным участкам, инструментам и организуют обучение участников, чтобы поддержать здоровый образ жизни и укрепить сообщество [11].

В России на сегодняшний день существуют государственные программы поддержки садоводств. Весной 2022 г. внесены изменения в нормативные и законодательные документы, в которых регулируются параметры разрешенных построек, минимальные отступы, этажность и др. В настоящее время, согласно Правилам землепользования и застройки Ростова-на-Дону, территории садоводств относятся к зоне ЗР-1, ЗР-2, ЗР-3 (зона реформирования садоводческих и дачных хозяйств первого типа).

Садоводства в границах г. Ростова-на-Дону объединяются группами, часть из них расположена на выраженном рельефе, перепад – до 50 м. Отмечено, что жителями частично создаются дополнительные функции, выявлены уникальные объекты, значимые для города: «Осетровая ферма» и «Сом мраморный» в ДНТ «Исток» (рис. 2), частная пасека в СНТ «Садовод-Любитель», а также частные детские сады, школы творчества и медицинские клиники. Выявлен большой процент домов для постоянного проживания, одновременно с этим сохраняются участки с сезонным жильем, которые используются для первоначального назначения (выращивание плодово-ягодных культур и разведение домашней птицы). В ходе натурных исследований обнаружены объекты историко-культурного наследия.

В качестве основы перспективного развития архитектуры жилища на дачных территориях нами предлагаются следующие стратегии преобразования садоводств:

- *щадящая* (разработка маршрутов к объектам уникальной функции или объектам историко-культурного значения, дополнение необходимых функций, включение общественной парковой зоны, внедрение культурно-тематических мероприятий);
- *радикальная* (изменение всего транспортного каркаса, значительное расширение дорог или перевод проездов исключительно в пешеходную зону, внедрение дополнительных функций, принудительный демонтаж самовольных строений);
- *смешанная* (частичное изменение транспортного каркаса, внедрение дополнительных функций).



Рис. 2. Фрагмент интерактивной карты ДНТ «Исток» с указанием уникальных рыбных ферм. Фото с официального сайта:

а – «Осетровая ферма» – вход в здание; *б* – внутри; *в* – ферма «Сом мраморный»
 Fig. 2. Fragment of the interactive map "Istok" showing unique fish farms. Photographs from the official website:
a – sturgeon farm entrance; *b* – inside sturgeon farm; *c* – marbled catfish farm

В качестве примера территории для внедрения одного из типов стратегий реформирования садоводства рассмотрена группа СТ и СНТ в Октябрьском районе площадью 18,4 га. В группу объединены шесть садоводств: «Звезда», «Геолог», «Труд», «Энергия», «Железнодорожник» и «Восход», на которых возведено более 500 жилых домов. Границами служат магистральные улицы Особенная, Зрелищная, Вавилова, все они и являются подъездными дорогами (рис. 3).

Территория садоводств разделена улицами и проездами. В пользу уширения дороги и возможности проезда собственники отдают часть территории участка под «карман». Это несколько упрощает проезд двух автомобилей (рис. 4). Исследуемые садоводства достаточно развиты: подключены к сетям централизованного газо-, водо- и электроснабжения, кабельному ТВ, сети Интернет.

Застройка площадью от 25 до 250 м² представлена 6 различными типами построек: садовый дом, дачный дом, дом-коттедж, блокированная застройка, дома более 3 этажей – самовольная постройка и дом из материалов вторичной переработки (рис. 5).



Рис. 3. Ситуационная схема Ростова-на-Дону. Октябрьский район (слева). Выделена территория садоводств: на схеме красным отмечены участки, где ведутся строительные работы на период август 2023 г. (справа)

Fig. 3. Rostov-on-Don map. Oktyabrsky District (left). Gardening territory: construction areas for the period of August 2023 are marked in red (right)



Рис. 4. Фотографии натурных обследований садоводств «Звезда», «Энергия», «Труд». Штриховкой выделены зоны уширения проездов

Fig. 4. “Zvezda”, “Energia”, “Trud” gardening areas. Road widening is marked in red



Рис. 5. Фотографии натурных обследований архитектуры садоводств «Звезда», «Энергия», «Геолог», «Труд», «Восход»

Fig. 5. Architecture of “Zvezda”, “Energia”, “Geologist”, “Trud” and “Voskhod” gardening farms

В ходе исследования установлено, что для жилища чаще всего используют прямоугольные в плане здания в два-три этажа, с мансардой, нередко с эркерами, выступами, площадью 70–140 м². Часто перекрыты двухскатной, мансардной с изломом или сложной формы крышей, также отмечены вальмовая, полувальмовая, шатровая четырёхскатная, вальмовая комбинированная крыши. По конструктивной схеме – бескаркасная стеновая и полукаркасная; по материалу стен – штучно-блочное заполнение (кирпич, блоки). Как правило, ориентация жилых помещений не соответствует нормативной, жители застраивают навесами почти весь участок (рис. 6). Некоторые собственники используют живые фасады и изгородь.



Рис. 6. Фотографии натурных обследований садоводств Ростова-на-Дону
Fig. 6. Gardening organizations in Rostov-on-Don

Помимо индивидуальных домов и домов на два хозяина (дуплексов) в застройке присутствуют многоквартирные дома, а также блокированные жилые дома [12].

Силами самих дачников построен и функционирует досуговый центр (рис. 7, а, б) и детская площадка (рис. 7, в), что свидетельствует о потребности жителей садоводств в объектах досугового назначения.



Рис. 7. Фотографии натурных обследований садоводства «Энергия» в Ростове-на-Дону:
а – досуговый центр; б – функции центра; в – детская площадка
Fig. 7. “Energia” gardening center in Rostov-on-Don:
a – leisure center; b – functions of the center; c – children's playground

В ходе исследования обнаружены заброшенные, пустующие участки, которые составляют 7 % всей территории, их необходимо задействовать и в качестве жилых зон, и в общественно-досуговых функциях для комфортного проживания жителей садоводств.

Автором предлагается смешанная стратегия преобразования садоводств – принцип микрорайонирования для зонирования территории.

Предложена модернизация сети дорог: дорожно-транспортная сеть садоводств включает основные и второстепенные проезды, стоянки и разворотные площадки, пешеходные и велосипедные дорожки.

Структура транспортного каркаса представляет собой:

- улицу районного значения (7,5–8 м);
- жилую улицу (5,5–6 м);
- жилой проезд (3,5–4 м) с участками уширения (рис. 8).

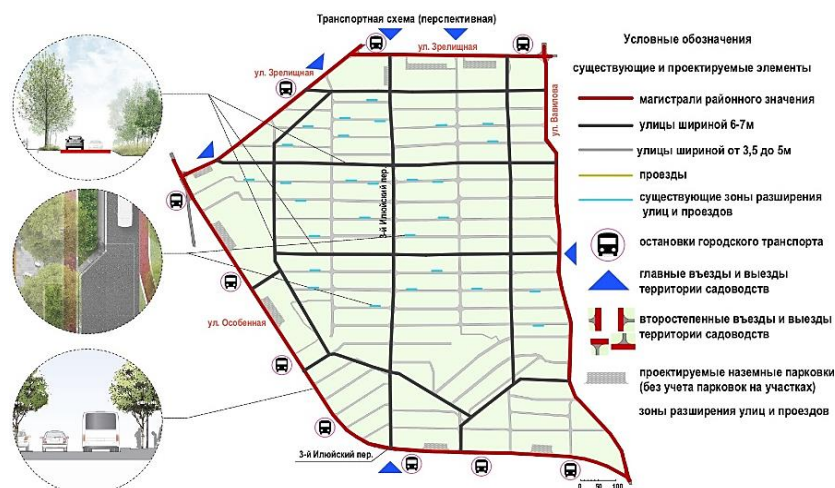


Рис. 8. Транспортная схема (перспективная)

Fig. 8. Transportation layout (prospect)

Функционально-планировочная структура:

– произведена разбивка на укрупненные жилые кварталы, которые отвечают требованиям исходя из усредненных показателей зон малоэтажного жилья.

Предлагаемая методика формирования моделей территориально-функционального взаимодействия садоводств основана на определении оптимальной организационной структуры городских и пригородных территорий в радиусе максимальной транспортной и пешеходной доступности для проживающих (рис. 9).

Функциональное зонирование территории выполнено с учетом сохранения природоохранных зон, использованы материалы по обследованию и проектированию санитарно-защитных и шумозащитных территорий.

В границах выделенных укрупненных жилых кварталов предусмотрены:

- зоны частных детских дошкольных учреждений;
- досуговый центр;
- зоны медицинских и аптечных пунктов;
- зоны ветеринарных пунктов;
- зоны площадок отдыха взрослых и детей с включением спортивного инвентаря.

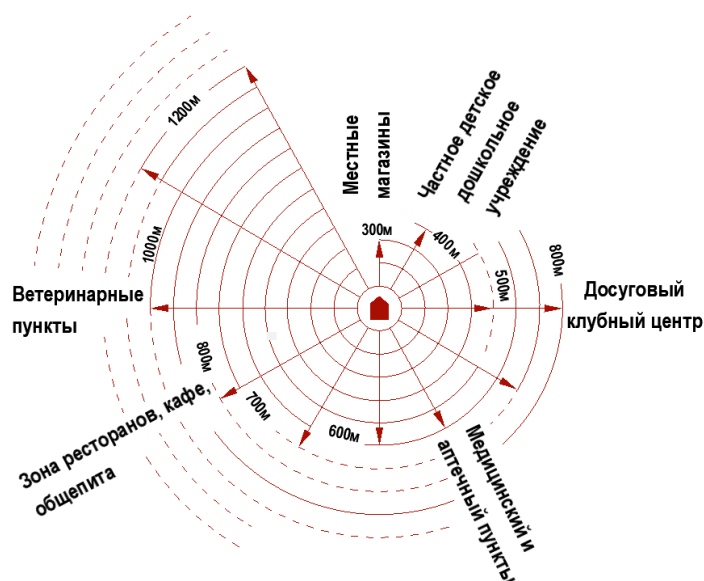


Рис. 9. Радиусы доступности от дома до объектов инфраструктуры досуга и быта
Fig. 9. Radii of accessibility from house to leisure objects and household infrastructure

Зоны КБО вынесены за пределы территорий укрупненных жилых кварталов, расположены в зоне общественно-торгового назначения у въездов и выездов на территорию садоводства (рис. 10).

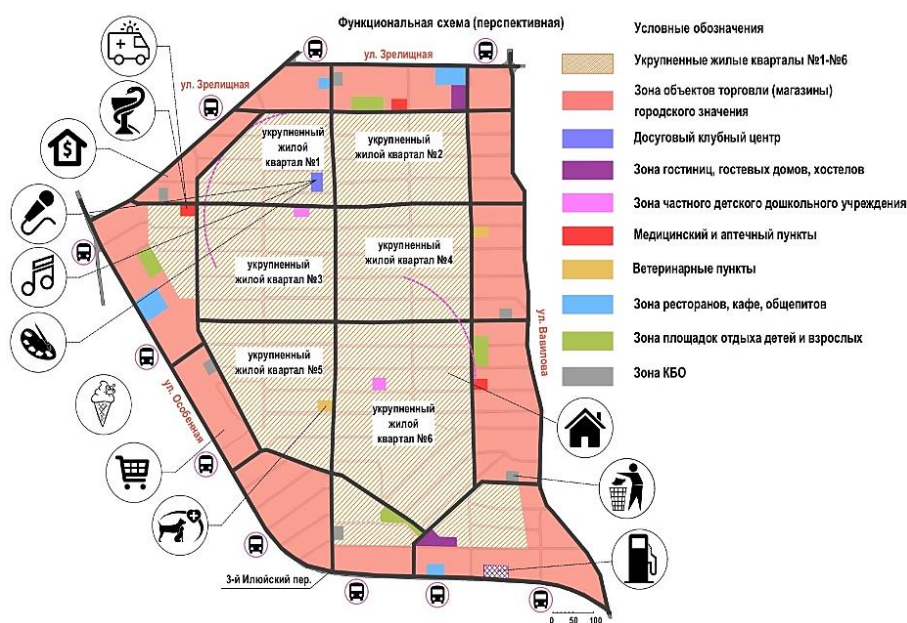


Рис. 10. Функциональная схема (перспективная)
Fig. 10. Functional diagram (prospect)



Рис. 11. Вертикальное озеленение ограждения
Fig. 11. Vertical fence landscaping

Для улучшения среды необходимо предусмотреть систему визуальных ориентиров, объекты общего пользования выполнить в едином стилевом решении. Для маломобильных групп населения предусмотреть элементы тактильных и звуковых указателей, подъемный механизм. Благоустройство маршрутов к объектам общего пользования выполнить вертикальным озеленением (рис. 11).

Разработаны типологические структурные модели жилища на уровне участка с оптимальным составом и площадями помещений для рекреационного и постоянного проживания с учетом современных тенденций в области проектирования и строительства (рациональное использование участка и соотношение площадей), состава семей (одинокие, пара, пары с детьми от 1 до 3 лет), демографических (пожилые пары) и природно-климатических особенностей (жаркое лето и холодная зима, преобладание северо-восточных ветров, обильные дожди и град):

- для рекреационного проживания в южном регионе в составе дома необходим следующий набор помещений: тамбур со встроенным шкафом, коммуникации, совмещенный санузел, кухня-гостиная, жилые комнаты (рис. 12);
- для постоянного проживания в южном регионе в составе дома предусмотрены такие помещения, как тамбур со встроенным шкафом, коммуникации, совмещенный санузел, кухня-столовая-гостиная, спальни, а также в ряде случаев комната отдыха, кабинет (рис. 13).

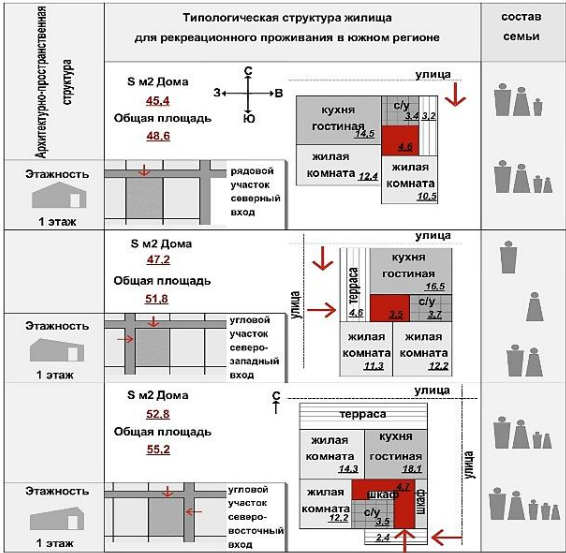


Рис. 12. Типологические архитектурно-планировочные структурные модели жилищ для рекреационного типа проживания
Fig. 12. Typological architecture models of recreational houses

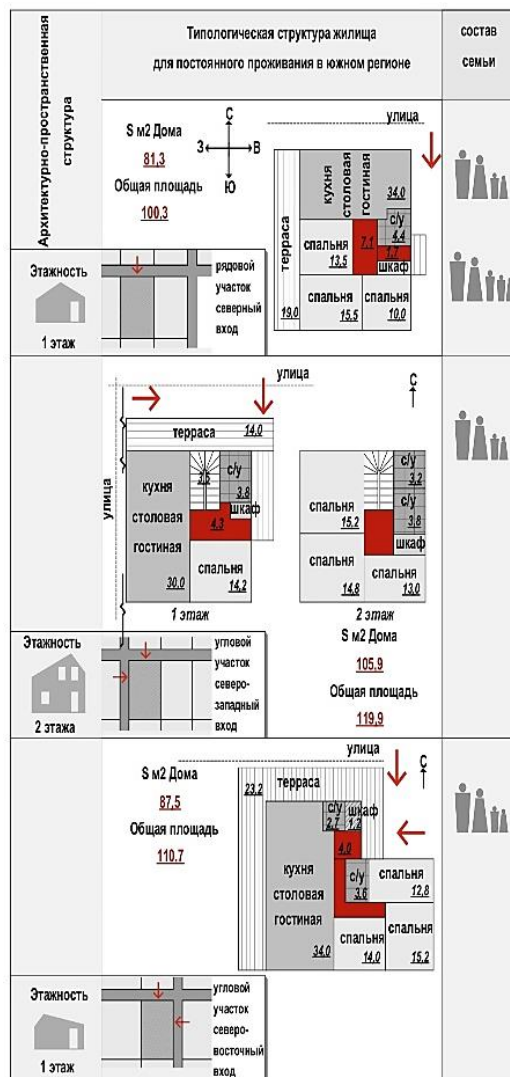


Рис. 13. Типологические архитектурно-планировочные структурные модели жилищ для постоянного типа проживания

Fig. 13. Typological architecture models of permanent residence houses

Выводы

Проведенное автором исследование и поисковое проектирование позволяют определить перспективы развития архитектурно-планировочной структуры жилища на территориях дачного и садоводческого назначения.

Основными направлениями с точки зрения устойчивого развития должны быть: модернизация улично-дорожной сети, активное внедрение социальной и инженерной инфраструктуры, использование оптимальных архитектурно-планировочных моделей застройки садовых участков с учетом форм проживания и региональных особенностей.

В основу преобразования жилища на территориях садоводств должны быть положены стратегии развития: шадящая, радикальная, смешанная. Современные примеры и научные исследования подтверждают эффективность выявленных стратегий. Установленные стратегии и подходы к преобразованию могут быть использованы в разных контекстах, районах, городах и регионах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Терешина С.А. Архитектурно-типологическая структура жилища на территориях дач и садоводств (на примере Новосибирска) // Инженерный вестник Дона. 2019. № 3. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2019/5817> (дата обращения: 05.07.2023).
2. Терешина С.А. Современная архитектурно-типологическая структура жилища на территориях дач и садоводств (на примере Ростова-на-Дону) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. № 3. С. 86–98. URL: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2019-21-3-86-98>
3. Трухачев С.Ю. Коллективные сады как новый тип жилья в крупнейших городах (на примере Ростова-на-Дону) // Городские исследования и практики = Urban studies and practices. 2017. Т. 2, № 3. С. 16–27. URL: <https://doi.org/10.17323/usp23201716-27>
4. Поморов С.Б. Второе жилище горожан компенсационного типа : специальность 18.00.02 «Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора архитектуры. Москва, 2005.
5. Молчанов В.М. Проблемы современной жилищной архитектуры и качество жизни // Жилищное строительство. 2004. № 11. С. 2–5.
6. Молчанов В.М. Дом моей мечты. Ростов-на-Дону : Феникс, 2004. 288 с.
7. Freudendal-Pedersen M. Sustainable urban futures from transportation and planning to networked urban mobilities // Transportation Research. Part D: Transport and Environment. 2020. V. 82. 102310. P. 9. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1016/j.trd.2020.102310> <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102310> (дата обращения: 10.07.2023).
8. Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sweden // Urban Green blue grids. URL: <https://urban-greenbluegrids.com/projects/hammarby-sjostad-stockholm-sweden/>
9. Sustainable Stockholm: Exploring Urban Sustainability in Europe's Greenest City / Ed. J. Metzger, A.R. Olsson. Routledge, 2013. 248 p. URL: https://books.google.ru/books?id=9WMqA AAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=ru&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false (дата обращения: 10.07.2023).
10. Good Housing for Canadians: A Study of Public Housing by the Ontario Association of Housing Authorities. Toronto, 1964. 126 p. URL: <https://archive.org/details/public-housing-canadians-ontario-1964/page/n131/mode/2up> (дата обращения: 10.07.2023).
11. American Community Gardening Association // NC State. 2020 URL: <https://nccommunitygardens.ces.ncsu.edu/2020/02/american-community-gardening-association-2/> (дата обращения: 05.07.2023).
12. Терешина С.А., Молчанов В.М. Этапы формирования и перспективы развития садоводческой архитектуры // Научно-технический прогресс как фактор развития современного общества : сб. материалов Международной научно-практической конференции. Оренбург : АЭТЕРНА, 2018. С. 285–293.

REFERENCES

1. Tereshina S.A. Architectural and typological structure of houses on countryside territories in Novosibirsk. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2019; 3. Available: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2019/5817> (In Russian)
2. Tereshina S.A. Modern architecture and typology of summer cottages (on the example of Rostov-on-Don). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019; 21 (3): 86–98. (In Russian)

3. Trukhachev S.Yu. Collective gardens as a new type of housing in largest cities (on the example of Rostov-on-Don). *Gorodskie issledovaniya i praktiki*. 2017; 2 (3): 16–27. <https://doi.org/10.17323/usp23201716-27> (In Russian)
4. Pomorov S.B. Second dwelling of citizens of compensatory type. DSc Thesis. Moscow, 2005. (In Russian)
5. Molchanov V.M. Problems of modern housing architecture and quality of life. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2004; (11): 2–5. (In Russian)
6. Molchanov V.M. The house of my dreams. Rostov-on-Don: Feniks, 2004. 288 p. (In Russian)
7. Freudendal-Pedersen M. Sustainable urban futures from transportation and planning to networked urban mobilities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2020; 82. 102310. 9. Available: www.sci-hub.ru/10.1016/j.trd.2020.102310
8. Hammarby Sjöstad, Stockholm, Sweden. Available: <https://urbangreenbluegrids.com/projects/hammarby-sjostad-stockholm-sweden>
9. Metzger J., Olsson A.R. (Eds.) Sustainable Stockholm: Exploring urban sustainability in Europe's greenest city. 2013. 248 p.
10. Good housing for Canadians: A study of public housing by the Ontario Association of Housing Authorities. Toronto, 1964, 126 p. Available: <https://archive.org/details/public-housing-canadians-ontario-1964/page/n131/mode/2up>
11. American Community Gardening Association, 2020. Available: <https://nccommunitygardens.ces.ncsu.edu/2020/02/american-community-gardening-association-2/>
12. Tereshina S.A., Molchanov V.M. Stages of formation and development prospects of garden and dacha architecture. In: *Proc. Int. Sci. Conf. 'Scientific and Technological Progress in Development of Modern Society'*. Orenburg: AETERNA, 2018. Pp. 285–293. (In Russian)

Сведения об авторе

Солдаткина Светлана Анатольевна, аспирант, Южный федеральный университет, Академия архитектуры и искусств, 344082, г. Ростов-на-Дону, ул. М. Горького, 75, svetlanasold93@yandex.ru

Author Details

Svetlana A. Soldatkina, Research Assistant, Southern Federal University, 105/42, Bolshaya Sadovaya Str., 344006, Rostov-on-Don, Russia, svetlanasold93@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 01.12.2023
Одобрена после рецензирования 25.12.2023
Принята к публикации 09.01.2024

Submitted for publication 01.12.2023
Approved after review 25.12.2023
Accepted for publication 09.01.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 70–82.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 70–82.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 725.381.8

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-70-82

EDN: DNEPVY

ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ НА ПОВЫШЕНИЕ КОМФОРТНОСТИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Сергей Александрович Астафьев, Полина Сергеевна Астафьева
Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Электросамокаты быстрыми темпами входят в нашу жизнь, с каждым годом сфера аренды электросамокатов увеличивается и распространяется на большее количество городов, однако инфраструктура для средств индивидуальной мобильности не успевает за прогрессом и не может обеспечить их в надлежащем объеме. В связи с этим решение проблем по адаптации современных средств передвижения, учитывающих взаимосвязь комфорта и безопасности движения, является актуальным.

Цель работы – анализ сложившейся ситуации со средствами индивидуальной мобильности и оценка их влияния на развитие городской среды.

Затрагивается тема введенных правил дорожного движения для средств индивидуальной мобильности в марте 2023 г., где официально за электросамокатами закреплён статус транспорта, что приводит к выводам о необходимости разделения дорог и создания велосодорожной инфраструктуры для сокращения дорожно-транспортных происшествий.

В работе использованы *методы* социологического опроса и анализа, позволившие выявить мнение респондентов о путях совершенствования городской инфраструктуры для обеспечения эксплуатации средств индивидуальной мобильности.

Полученные в ходе опроса *результаты* позволили выявить положительные и негативные последствия появления электросамокатов в городе. Анализ Индекса качества городской среды в разных городах и позволил сделать вывод о наличии взаимосвязи между этим показателем и продолжительностью велосодорожной инфраструктуры в городах.

Ключевые слова: средства индивидуальной мобильности, городская среда, микромобильность, кикшеринг, электросамокаты, велосодорожная инфраструктура

Для цитирования: Астафьев С.А., Астафьева П.С. Влияние средств индивидуальной мобильности на повышение комфортности городской среды // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 70–82. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-70-82. EDN: DNEPVY

ORIGINAL ARTICLE

INFLUENCE OF PERSONAL MOBILITY DEVICES ON ENVIRONMENTAL AMENITIES

Sergey A. Astafiev, Polina S. Astafieva

Baikal State University, Irkutsk, Russia

Abstract. Electric scooters are rapidly involved in our life, and every year their lease increases and spreads to more cities. Urban infrastructure never keeps up with progress and cannot provide these vehicles with the appropriate infrastructure. In this regard, it is important to solve problems of adapting modern means of transportation with respect to comfortable and safe traffic.

Purpose: The analysis of the current situation with personal mobility devices and their impact on the urban environment.

Methodology/approach: Sociological survey and analysis of improving amenities environment to ensure the operation of personal mobility devices.

Research findings: The analysis of introduced traffic rules for personal mobility devices in 2023, where the status of transport is officially assigned to electric scooters. there is a need to separate roads and create the bicycle path infrastructure to minimize accidents. Results show positive and negative consequences of using electric scooters in cities. It is shown that the urban environment quality index in different cities is determined by the distance of bicycle paths in cities.

Keywords: personal mobility device, amenities environment, micromobility, kick-sharing, electric scooter, bicycle path infrastructure

For citation: Astafiev S.A., Astafieva P.S. Influence of personal mobility devices on environmental amenities. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 70–82. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-70-82. EDN: DHEPVY

Введение

Кикшеринг – это аренда электросамокатов на короткий срок. Он стал популярен в мире в 2016 г., в России появился только в 2018 г. благодаря каршеринговым компаниям «Делимобиль» и YouDrive. Сейчас на рынке кикшеринга работают около 40 компаний, включая Whoosh, «Юрент» и «Яндекс», более чем в 120 городах.

По данным независимого издания о современных городских сервисах в России и мире «Трушеринг», в 2022 г. было совершено 103,5 млн поездок. По отношению к предыдущему году их количество выросло на 88 %. По прогнозам портала «Трушеринг», в 2025 г. количество поездок составит 337 млн. При этом среднегодовой темп прироста в период с 2023 по 2025 г. будет равен 49 %. А по отношению к уровню 2022 г. количество поездок вырастет на 226 %¹ (рис. 1). Мобильные средства передвижения активными темпами, быстрее, чем любой другой вид шеринга, вошли в нашу жизнь. Этот способ передвижения удобнее и дешевле, чем, например, аренда автомобиля, поскольку позволяет быстро и без пробок перемещаться в городе. Довольно много исследователей уделяют внимание данной теме.

¹ Шеринг электросамокатов в России. Исследование рынка. URL: <https://www.dropbox.com/s/vv3s5yzi0wn56md/Исследование%20Кикшеринга.%20Сезон%202022.%20Трушеринг.%20Текст.pdf?dl=0> (дата обращения: 12.10.2023).

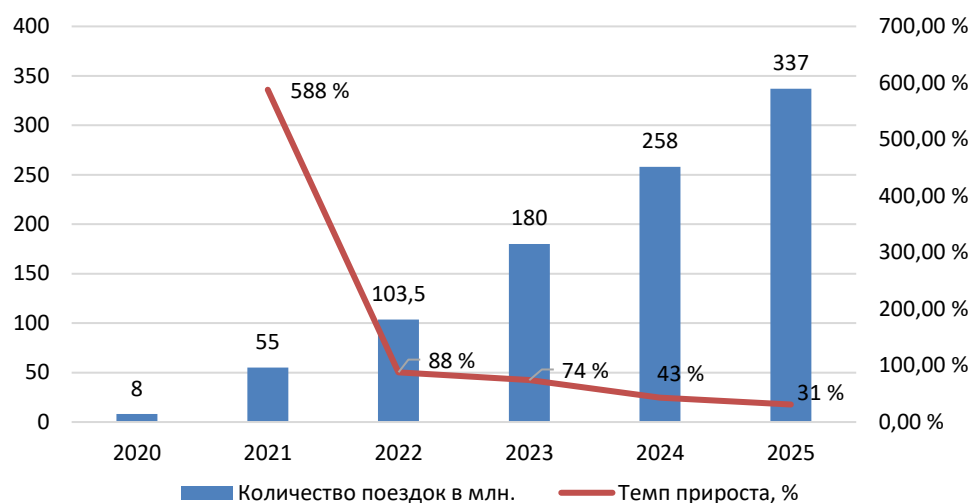


Рис. 1. Динамика количества поездок на электросамокатах и прогнозная оценка портала «Трушеринг» на период до 2025 г.²

Fig. 1. Number of trips on electric scooters and assessment of "Trushering" portal till 2025

В Байкальском государственном университете при проведении научных исследований по повышению комфортности среды проживания уже несколько лет осуществляется изучение оценки влияния транспортной инфраструктуры на качество проживания. Помимо этого, ведутся исследования в области оценки качества строительства в г. Иркутске общественных пространств как общегородского значения, так и проектов дворовых общественных пространств в строящихся жилых комплексах [1, 2, 3, 4].

Следует отметить, что привлекательность недвижимости для покупателя и рентабельность для застройщика тем выше, чем больше элементов комфортной среды проживания были использованы при благоустройстве. Удобство движения к жилым комплексам как на велосипедах, так и на электросамокатах также является этим элементом. В последнее время города развиваются все больше по агломерационному принципу, т. е. развитие территорий идет вширь, застраиваются окраины, и добраться из новых микрорайонов в центр можно либо общественным транспортом, нередко простаивая в пробках, либо средствами индивидуальной мобильности (СИМ). Чем более удобно и эффективно будет продумана система трафика средств индивидуальной мобильности по городу, тем проще и дороже девелоперу будет продать квартиры на окраинах городов. Этой же позиции придерживаются и другие ученые, занимающиеся изучением влияния СИМ и на экологию города, и на комфортность среды проживания [5, 6, 7, 8, 9]. Также в последнее время, в связи с изменением правил дорожного движения, регулирующих передвижение СИМ, стало появляться много публикаций на тему ПДД и СИМ [10, 11, 12, 13].

² Шеринг электросамокатов в России. Исследование рынка. URL: <https://www.dropbox.com/s/vv3s5yzi0wn56md/Исследование%20Кикшеринга.%20Сезон%202022.%20Трушеринг.%20Текст.pdf?dl=0> – С.14 (дата обращения: 12.10.2023).

Таким образом, изучение проблематики СИМ происходит комплексно, и поэтому предметом исследования статьи также стало влияние СИМ и велосипедной инфраструктуры на комфортность среды проживания в городах. Объектом исследования является состояние велосипедной инфраструктуры в различных городах и уровень культуры движения на СИМ.

Цели и задачи

Целью исследования является определение зависимости уровня развитости инфраструктуры для СИМ и ее влияния на комфортность среды проживания в городах. Задача исследования – изучить публикации по теме развития СИМ и инфраструктуры для них, а также на основе проведения опросов населения выявить взаимосвязь между развитием СИМ и показателем Индекса качества городской среды в городах.

Методы исследования

При проведении исследования были применены: метод социологического опроса, метод экспертных оценок и анализ динамики Индекса качества городской среды при оценке комфортности велосипедной инфраструктуры. Авторами статьи проведено исследование с помощью количественного метода сбора информации, инструментарием выбран анкетный опрос граждан. В рамках исследования было опрошено 53 человека: 13 мужчин и 40 женщин.

Результаты

Исходя из полученных показателей, можно сделать вывод, что 39,6 % от числа опрошенных респондентов одобряют появление электросамокатов в городе. Это может говорить о том, что люди заинтересованы в развитии своего города, а значит, новшества они готовы принимать и одобрять (рис. 2).

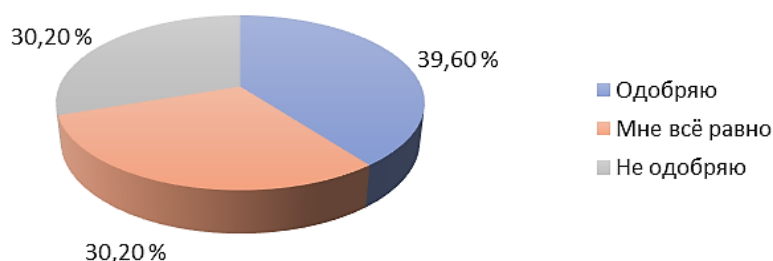


Рис. 2. Распределение ответов на вопрос: «Вы одобряете появление сервисов по аренде электросамокатов?» (в % от числа опрошенных). Получено авторами на основе анкетирования респондентов

Fig. 2. Answers to the question: "Do you approve electric scooter lease?"

Основываясь на полученных данных (рис. 3), можно выявить потребность в электросамокатах у респондентов для проведения досуга, т. к. большинство опрошенных катаются на электросамокатах в парках или скверах, что позволяет выделить одну из положительных характеристик пользования электросамокатами.

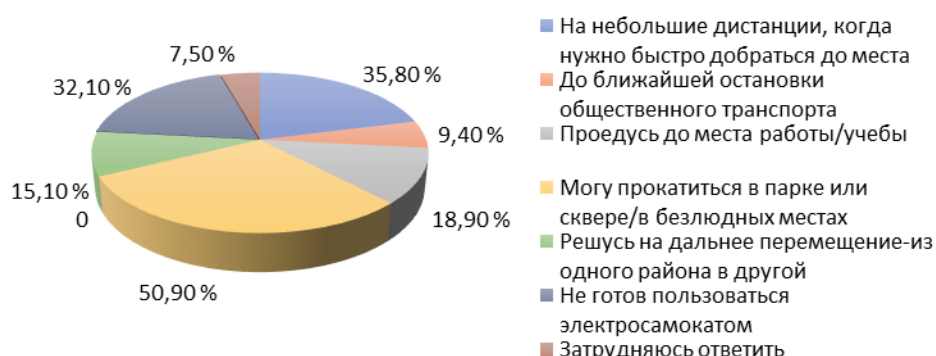


Рис. 3. Распределение ответов на вопрос «Как далеко Вы готовы отправиться на самокате?» (в % от числа опрошенных). Получено авторами на основе анкетирования респондентов

Fig. 3. Answers to the question "How far are you ready to go on a scooter?"

Второй положительной характеристикой, по мнению респондентов, стало использование электросамокатов для пересечения небольших дистанций, когда нужно быстро добраться до места, т. е. использование электросамокатов экономит время. Действительно, для небольших расстояний наиболее подходящим транспортом становится электросамокат, который можно арендовать в ближайшей точке (парковочном месте) и не ждать автобус, троллейбус, трамвай или такси.

Обсуждение

Министерством транспорта РФ проведено исследование, в результате которого была предложена структура передвижения, позволившая сократить время перемещения человека от дома до работы с 65 до 50 мин, благодаря использованию услуг сферы кикшеринга (рис. 4).



Рис. 4. Структура передвижения с использованием электросамокатов (от Министерства транспорта РФ)³

Fig. 4. Riding electric scooters. The Ministry of Transport of the Russian Federation

³ «На СИМ» – съезд Международной отраслевой конференции по микромобильности. URL: <https://www.youtube.com/live/1KeeS3lxgds?si=f788ZHDg9ZjBVPXw> (дата обращения: 12.10.2023).

Эти данные позволяют выделить еще три положительных фактора в рассматриваемой сфере: электросамокаты меняют структуру передвижения и при этом перераспределяют пассажиропоток, что позволяет снизить нагрузку с частного легкового транспорта и транспорта общего пользования. Такая структура передвижения повышает скорость движения транспортного потока, что повышает эффективность использования «транспортного времени». Однако для того, чтобы эта система работала, требуется определенная инфраструктура.

В вопросе безопасности данного вида транспорта у многих экспертов возникли разногласия. Так, в статьях [10, 11] говорится о том, что с каждым годом растет количество дорожно-транспортных происшествий (ДТП). В анализе было показано, что за 2022 г. количество ДТП с участием электросамокатов, сигвеев и моноколес на 35 % выше, чем в 2021 г.

В исследованиях Научного центра безопасности дорожного движения МВД России (НЦ БДД МВД РФ) (рис. 5) также отмечается рост ДТП с участием электросамокатов, половина из которых возникает в местах пересечения проезжих частей (выезды с прилегающих территорий и перекрестки).

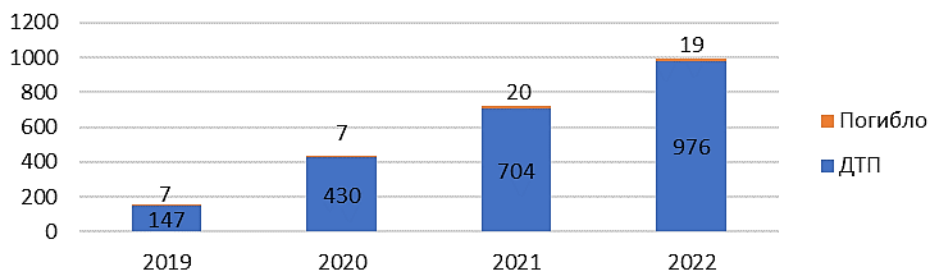


Рис. 5. Основные показатели аварийности с участием СИМ (от НЦ БДД МВД РФ)⁴

Рис. 5. The main indicators of accidents. The Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation

В связи с этим 1 марта 2023 г. были определены, структурированы и вступили в силу правила дорожного движения для средств индивидуальной мобильности, к которым относятся электросамокаты. Теперь СИМ является транспортным средством, не превышающим скоростной режим в 25 км/ч и вес в 35 кг, имеющим ограничения по возрасту при управлении в распределении приоритетности зон эксплуатации и систему штрафов за то или иное нарушение⁵.

Таким образом, новые правила ПДД разрешают пользователям СИМ старше 14 лет перемещаться по дорогам общего пользования (по обочинам и правому краю дорожной части). Однако возникает вопрос: как же появление электросамокатов на проезжей части отразится на общем транспортном потоке? Данный вопрос рассматривается в статье [14], где на основе смоделированных ситуаций становится понятно, что без выделения инфраструктуры для

⁴ Исследования Научного центра безопасности дорожного движения. URL: <https://нцбдд.мвд.рф> (дата обращения: 12.10.2023).

⁵ Индекс качества городской среды. URL: <https://индекс-городов.рф/#/> (дата обращения: 12.10.2023).

СИМ увеличивается время движения в потоке на 36,7 %. Конечно, с велодорожками время общего транспортного потока тоже увеличивается, но меньше, чем на 22,5 %. Наличие велодорожек позволит повысить безопасность и сократить число ДТП с участием СИМ.

В ходе исследования нами была также затронута тема безопасности. Проведенный опрос позволил выяснить, что 22,7 % респондентов сталкивались с аварийными ситуациями с использованием СИМ. Например, из ответов мы выяснили, что часто встречается следующая ситуация: «Парень на электросамокате не смотрел, куда едет. Выехал перед машиной, вместо того, чтобы нажать тормоз, прыгнул с самоката. Самокат влетел в затормозившую машину», – пишет в опросе один из респондентов, что еще раз подтверждает необходимость разделять потоки движения разных транспортных средств во избежание ДТП.

Благодаря введенным изменениям в ПДД теперь пользователям СИМ старше 14 лет разрешается движение по тротуарам без создания помех пешеходам, если отсутствует для передвижения инфраструктура (тротуары и велодорожки) [15]. Однако в ходе опроса респонденты назвали одним из главных минусов электросамокатов помеху передвижению людей по тротуарам (81,1 %), а 67,9 % опрошенных считают, что электросамокаты опасны, т. к. могут стать причиной травмы пешехода (рис. 6), что отмечалось выше. Поэтому важно создавать и выделять отдельную инфраструктуру для СИМ, обеспечивающую удобство и безопасность пользователей СИМ, а также пешеходов и водителей других видов транспорта.



Рис. 6. Распределение ответов на вопрос «Каковы основные минусы использования электросамоката?». Получено авторами на основе анкетирования респондентов
Fig. 6. Answers to the question "What are the main disadvantages of using electric scooters?"

Также 67,9 % опрошенных считают, что в г. Иркутске не хватает инфраструктуры для электросамокатов, и в этом заключается один из основных минусов СИМ. Таким образом, установив, что для общего комфорта нужна инфраструктура, проанализируем существующую ситуацию на примере г. Иркутска.

Проведем корреляцию между развитием системы велодорожек в городе и Индексом качества городской среды – инструментом для оценки качества материальной городской среды и условий её формирования, включающим в себя 36 показателей, одним из которых является «Доля доступных объектов

городской инфраструктуры»⁶. В г. Иркутске приходится 7,8 км (7800 м) велосодорожной инфраструктуры на 611 215 человек, что, в свою очередь, составляет 0,0128 м на одного иркутянина. Индекс качества городской среды в Иркутске составляет 201 балл из 360 возможных, в то же время в г. Владивостоке велосодорожной инфраструктуры – 0,03 м на человека, а Индекс составляет 205, в г. Калининграде при 233 баллах индекса – 0,05 м велосодорожек на человека, в г. Москве же велосодорожной инфраструктуры на одного москвича приходится 0,06 м, и Индекс составляет 299 баллов (табл. 1).

Таблица 1

**Взаимосвязь Индекса качества городской среды
с протяженностью велосодорожек**

Table 1

**Relationship between urban environment quality index and length
of bicycle paths**

Показатели	Иркутск	Владивосток	Калининград	Москва
Индекс качества городской среды, балл	201	205	233	299
Численность населения, чел.	611 215	597 237	498 735	13 097 539
Протяженность велосодорожек, м	7800	18 000	23 000	733 000
Удельный показатель велосипедной инфраструктуры на человека, м/чел	0,01	0,03	0,05	0,06

Это означает, что при увеличении велосодорожной инфраструктуры соответственно увеличивается Индекс качества городской среды. Главное понимать, что Индекс качества городской среды – это не рейтинг. Индекс – это инструмент для работы каждого города над собственными зонами роста, а не для сравнения городов между собой.

Приведем пример зарубежных стран. В рамках единственного в России мероприятия, посвященного развитию микромобильности РФ, конференции «Съезд на СИМ», Министерство транспорта РФ привело следующую статистику: на 1,6 млн км дорог в России приходится всего 5 тыс. км велосодорожек, что является низким показателем в сравнении с другими странами, например Германией, где на 635 тыс. км дорог приходятся 83 тыс. км велосодорожек. По экспертным оценкам, в России должно быть не меньше 100 тыс. км велосодорожек.

Выводы

Проанализировав комплексно ситуацию с СИМ, приведем следующие выводы на основе ответов респондентов на вопрос «Какие сложности возникли с появлением электросамокатов в г. Иркутске лично у Вас?» (рис. 7).

⁶ Индекс качества городской среды. URL : <https://индекс-городов.рф/#/> (дата обращения: 12.10.2023).

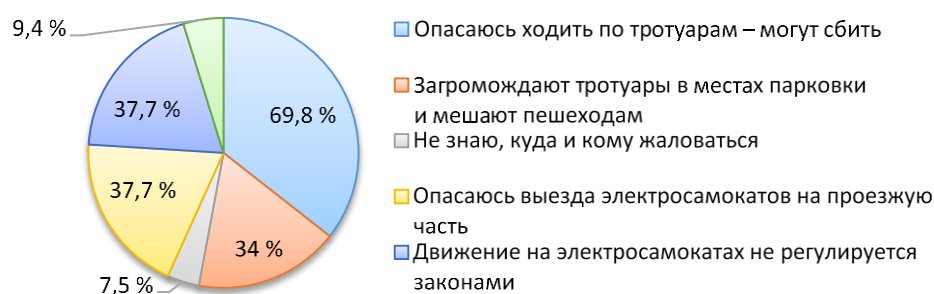


Рис. 7. Распределение ответов на вопрос «Какие сложности возникли с появлением электросамокатов в г. Иркутске лично у Вас?». Получено авторами на основе анкетирования респондентов

Fig. 7. Answers to the question: "What difficulties arise with the appearance of electric scooters in Irkutsk for you personally?"

Основной проблемой опрошенные называют опасность быть сбитыми СИМ и боязнь ходить по тротуарам. Борьбаться с данной проблемой предлагается путем повышения культуры вождения. Эффективной мерой повышения культуры вождения является дополнительное просвещение и информирование пользователей кикшеринга и популяризация правил безопасного вождения как среди пользователей СИМ, так и среди пешеходов и водителей других транспортных средств. Например, в Москве в 2022 г. администрация города запустила образовательную программу «Включи режим безопасности», в рамках которой были представлены теоретические лекции, интерактивные тренажеры и образовательный лэндинг, а также были вывешены билборды на улицах города. Также в московских школах и высших учебных заведениях кикшеринговые компании СИМ учат правильной езде на электросамокатах. Проведение данных мероприятий во всех регионах позволит сформировать положительный имидж электросамокатов и развить культуру вождения⁷.

Из данных, приведенных на рис. 7, видно, что 37,7 % опрошенных не знают о принятии ПДД для СИМ, а это говорит о том, что недостаточно налажена система взаимодействия между населением и властями города. Ситуацию можно исправить при помощи онлайн-коммуникации, например, в социальных сетях разъяснять ПДД для СИМ, установить в городе дашборды с полезной информацией по ПДД для СИМ, демонстрировать видеоролики с правилами дорожного движения на уличных медиаэкранах. Благодаря информации, находящейся постоянно в поле зрения населения, властям будет легче донести до граждан важность знаний ПДД. В продолжение темы коммуникации следует отметить, что опрошенные не знают, куда можно обращаться с жалобами на работу СИМ. На этот вопрос стоит обратить внимание администрации городов.

Относительно пункта «опасаясь выезда электросамокатов на проезжую часть», который отметили 7,5 % опрошенных, можно сделать вывод о необходимости создания профиля вождения для пользователей СИМ, который будет формироваться благодаря системе распознавания инфраструктуры на электро-

⁷ «На СИМ» – Съезд международной отраслевой конференции по микромобильности URL: <https://www.youtube.com/live/1KeeS3lxgds?si=f788ZHDg9ZjBVPXw> (дата обращения: 12.10.2023)

самокатах и соблюдению/нарушению ППД. В результате пользователей с отличным рейтингом будут поощрять, например, баллами, которые можно будет использовать при следующей поездке, а для пользователей с плохим рейтингом – повышать цену при последующих поездках, злостных же нарушителей при этом следует блокировать. В результате проведения этих мероприятий должно сократиться количество ДТП по вине пользователей СИМ.

В ходе опроса 34 % респондентов ответили, что электросамокаты загромождают тротуары в местах парковки и мешают пешеходам, из чего следует вывод о необходимости развития инфраструктуры. При этом нужно создавать не только отдельные велодорожки, чтобы было комфортно и водителям СИМ, и пешеходам, и водителям другого транспорта, но и специальные парковки для электросамокатов. Следует повышать качество существующей инфраструктуры, т. к. открытый люк или дорожное покрытие, не предназначенное для электросамокатов, повышают риск получения травмы пользователя СИМ. Городам важно поработать над Индексом состояния дорожного покрытия, для отображения реальной ситуации и определения более удобного и менее комфортного покрытия. А пользователям СИМ на основе данной аналитики можно было бы выстраивать комфортный и безопасный путь.

Министерство транспорта РФ рекомендует городам, участвующим в федеральных программах по благоустройству комфортной городской среды, учитывать данные обстоятельства при планировании и ремонте инфраструктуры и закладывать велосипедные дорожки в планы развития городов. Так, внедрение нового вида транспорта в инфраструктуру и в процесс организации дорожного движения с продуманным транспортным планированием, в понимании Министерства транспорта РФ, сделает его безопасным и эффективным.

Минстроем РФ реализуется федеральный проект по формированию комфортной городской среды (благоустройство общественного пространства) в малых городах. Оцениваются данные проекты по многим показателям, и в том числе существует показатель по наполняемости решений, в рамках чего поддерживаются проекты, связанные с развитием инфраструктуры не только для велосипедов, но и для электросамокатов, а это создание отдельных парковочных мест для СИМ и отдельных дорожек как для пешеходов, так и для пользователей СИМ.

Целями государства до 2030 г. является повышение в 1,5 раза среднего значения Индекса качества городской среды и увеличение до 80 % доли городов с благоприятной городской средой. Как установлено в ходе исследования, зависимость между велоинфраструктурой и Индексом качества городской среды существует, а значит, увеличивая уровень комфортности инфраструктуры, города приближаются к достижению искомой цели.

Подводя итог проведенному анализу, отметим, что электросамокаты плотно вошли в нашу жизнь, и с каждым годом ожидается увеличение пользователей СИМ. Насколько комфортно будет происходить этот процесс, зависит как от пользователей СИМ, так и от администраций городов. Очевидно, что без повышения культуры вождения и без соответствующей инфраструктуры все выявленные ранее проблемы будут не просто сохраняться, но и увеличиваться в масштабах. При этом строительство велодорожной инфраструк-

туры делает города более привлекательными для проживания, а значит, позволит решить еще одну проблему, которая ещё не упоминалась, – сократить миграционные потоки из региональных городов в столичные.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Астафьев С.А., Хомкалов Г.В., Гордин Е.В. Развитие автодорожного строительства в Иркутской области // Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития : материалы IX on-line Международной научно-практической конференции, Братск, 28–29 апреля 2022 г. / под науч. ред. Л.А. Каверзиной, И.П. Нужиной, С.А. Астафьева. Братск : Братский государственный университет, 2022. С. 61–66. EDN: CGYLZF
2. Астафьев С.А., Хомкалов Г.В. Национальный проект «ЖКХ и городская среда» и его влияние на инвестиционную привлекательность жилой и нежилой недвижимости // Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития : материалы 4-й Международной научно-практической онлайн-конференции (включая конкурсные работы студентов), Иркутск, 06–07 апреля 2017 г. Иркутск : Байкальский государственный университет, 2017. С. 42–49. EDN: ZGERRZ
3. Астафьев А.С., Астафьева П.С. Влияние маркетинга и брендинга территорий на современный облик и содержание жилых комплексов // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее : сб. научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 40-летию создания Инженерно-строительного института, Красноярск, 19–21 октября 2022 г. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2022. С. 96–101. EDN: VYZXPI
4. Астафьев С.А., Хомкалов Г.В. Роль инициативного бюджетирования и соучаствующей реализации при повышении комфорта городской среды // Проблемы социально-экономического развития Сибири. 2022. № 2 (48). С. 9–13. DOI: 10.18324/2224-1833-2022-2-9-13. EDN: RNEVJV
5. Булатова О.Ю., Панченко А.Д. Реализация принципов зеленой логистики на примере кикшеринга // Перспективы развития технологий транспортных процессов : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 01 марта 2022 г. / отв. ред. В.А. Зеликов. Воронеж : Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. С. 4–8. DOI: 10.34220/PDTPRT2022_4-8. EDN: PIFGOD
6. Сальников И.В. Устойчивое развитие как фактор популяризации городского экотранспорта (на примере кикшеринга) // Экономика и управление. 2023. № 5 (173). С. 162–169. DOI: 10.34773/EU.2023.5.30. EDN: HLFQKF
7. Сенин И.С., Котенкова И.Н., Надирян С.Л. и др. Стратегическое планирование сети магистральных велодорожек в крупных городах // Воронежский научно-технический вестник. 2023. Т. 2. № 2 (44). С. 56–64. DOI: 10.34220/2311-8873-2023-56-64. EDN: BHANAL
8. Иванова Л.Ф., Кожевин Д.А. Средства индивидуальной мобильности как инновационное направление развития туристских территорий // Бизнес и общество. 2023. № 1 (37). EDN: IQDVUR
9. Борисенко Д.С. Формирование индекса качества велоинфраструктуры // Вопросы устойчивого развития общества. 2022. № 7. С. 953–962. EDN: PCGQVO
10. Тарасенков Д.А. Требования (нормы), связанные с новым понятием «средство индивидуальной мобильности» в правилах дорожного движения Российской Федерации, а также вопросы, возникающие с введением данного термина // Дневник науки. 2023. № 2 (74). EDN: AFFBOQ
11. Белый А.Г. К вопросу о профилактике ДТП с участием водителей электросамокатов и других средств индивидуальной мобильности // Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования : сб. материалов XVII Международной научно-практической конференции, Орёл, 20–21 апреля 2023 г. / редколлегия: Д.Л. Проказин [и др.]. Орёл : Орловский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.В. Лукьянова, 2023. С. 58–64. EDN: NIYUSC

12. Донченко В.В., Кунацев В.А. Исследование элементов городской инфраструктуры для безопасного передвижения средств индивидуальной мобильности // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. 2023. Т. 20. № 3 (91). С. 338–349. DOI: 10.26518/2071-7296-2023-20-3-338-349. EDN: BVBDTX
13. Павлов В.Ю. Вопросы привлечения к административной ответственности участников дорожного движения, использующих средства индивидуальной мобильности // Правовая позиция. 2023. № 10 (46). С. 89–93. EDN: WDNTRY
14. Юнг А.А., Шевцова А.Г. Моделирование процесса движения средств индивидуальной мобильности в городской среде // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2022. № 1 (31). EDN: RISSSM
15. Мандрикина Л.А., Очаковский В.А. Правовое регулирование использования электросамокатов // Eromen. Global. 2023. № 38. С. 58–72. EDN: PYZZXS

REFERENCES

1. Astafyev S.A., Khomkalov G.V., Gordin E.V. Development of road construction in the Irkutsk region . In: *Proc. 9th Int. Sci. Conf. 'Problems of Economics and Construction Management in Environmentally Oriented Development'*. L.A. Kaverzina, I.P. Nuzhina, S.A. Astafiev, Eds. Bratsk, 2022. Pp. 61–66. EDN: CGYLZF (In Russian)
2. Astafyev S.A., Khomkalov G.V. National project "Housing and Communal Services in Urban Environment" and its impact on the investment attractiveness of residential and non-residential property. In: *Proc. 9th Int. Sci. Conf. 'Problems of Economics and Construction Management in Environmentally Oriented Development'*. Irkutsk: Baikal State University, 2017. Pp. 42–49. EDN: ZGERRZ (In Russian)
3. Astafyev A.S., Astafyeva P.S. Influence of marketing and branding of territories on the modern residential. In: *Proc. All-Russ. Sci. Conf. 'Problems of Construction: A Look into the Future'*. Krasnyarsk: Siberian Federal University, 2022. Pp. 96–101. EDN: VYZXPI (In Russian)
4. Astafyev S.A., Khomkalov G.V. Proactive budgeting and participatory implementation in improving urban environment. *Problemy sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Sibiri*. 2022; 2 (48): 9–13. DOI: 10.18324/2224-1833-2022-2-9-13. EDN: RNEJVJ (In Russian)
5. Bulatova O.Y., Panchenko A.D. Implementation of green logistics principles using kicksharing. In: *Proc. All-Russ. Sci. Conf. 'Prospects of Transport Technology Development'*. V.A. Zelikov, Ed. Voronezh, 2022. Pp. 4–8. DOI: 10.34220/PDTPT2022_4-8. EDN: PIFGOD (In Russian)
6. Salnikov I.V. Sustainable development as a factor of popularization of urban eco-transport (on the example of kicksharing). *Ekonomika i upravlenie*. 2023; 5 (173): 162–169. DOI: 10.34773/EU.2023.5.30. EDN: HLFOKF (In Russian)
7. Senin I.S., Kotenkova I.N., Nadiryan S.L., et al. Strategic planning of the network of main bike paths in large cities. *Voronezhskii nauchno-tekhnicheskii vestnik*. 2023; 2 (2): 56–64. DOI: 10.34220/2311-8873-2023-56-64. EDN: BHANAL (In Russian)
8. Ivanova L.F., Kozhevnikov D.A. Personal mobility devices as innovative direction in developing tourist territories. *Biznes i obshchestvo*. 2023; 1 (37). EDN: IQDVUR (In Russian)
9. Borisenko D.S. Quality index of bicycle infrastructure. *Voprosy ustoychivogo razvitiya obshchestva*. 2022; (7): 953–962. EDN: PCGQVO (In Russian)
10. Tarasenkova D.A. Requirements for personal mobility devices in the Russian Federation and problems arising. *Dnevnik nauki*. 2023; 2 (74). EDN: AFFBOQ (In Russian)
11. Bely A.G. Preventing accidents involving electric scooters and other means of individual mobility. In: *Proc. 17th Int. Sci. Conf. 'Traffic Safety Management: Problems and Ways of Improvement'*, D.L. Prokazin, Ed. Orel, 2023. Pp. 58–64. EDN: NIYUSC (In Russian)
12. Donchenko V.V., Kupavtsev V.A. Urban infrastructure for safe movement of means of personal mobility devices. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta*. 2023; 20 (3): 338–349. DOI: 10.26518/2071-7296-2023-20-3-338-349. EDN: BVBDTX (In Russian)
13. Pavlov V.Y. Administrative responsibility of people using personal mobility devices. *Pravovaya pozitsiya*. 2023; 10 (46): 89–93. EDN: WDNTRY (In Russian)

14. Jung A.A., Shevtsova A.G. Modeling of personal mobility device riding in urban environment. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2022; 1 (31). EDN: RISSSM (In Russian)
15. Mandrikina L.A., Ochakovsky V.A. Legal regulation of using electric scooters. *Epomen. Global*. 2023; (38): 58–72. EDN: PYZZXS (In Russian)

Сведения об авторах

Астафьев Сергей Александрович, докт. экон. наук, профессор, зав. кафедрой, Байкальский государственный университет, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, astafievs@mail.ru

Астафьева Полина Сергеевна, студентка, Байкальский государственный университет, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 11, astafevaps@mail.ru

Authors Details

Sergey A. Astafiev, DSc, Professor, Baikal State University, 11, Lenin Str., Irkutsk, Russia, astafievs@mail.ru

Polina S. Astafieva, Student, Baikal State University, 11, Lenin Str., Irkutsk, Russia, Irkutsk, astafevaps@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.12.2023
Одобрена после рецензирования 27.12.2023
Принята к публикации 16.01.2024

Submitted for publication 20.12.2023
Approved after review 27.12.2023
Accepted for publication 16.01.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 83–95.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 83–95.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 712.4

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-83-95

EDN: FBUVJZ

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПАСПОРТА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВЫХ ПОРОД ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА

Дарья Юрьевна Савчук, Олеся Олеговна Смолина

Новосибирский государственный

архитектурно-строительный университет (Сибстрин),

г. Новосибирск, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Ускоренный рост урбанизации городов оказывает негативное влияние на качество и количество ландшафтно-рекреационных пространств, отмечается снижение качества и репрезентативности ландшафтов, а также древесно-кустарниковых пород, одной из причин которого является недоучет данных в экологических паспортах растений, в частности характеристик по темпам и особенностям роста, аллелопатии, способности растений отвечать требованиям многофункциональности объектов среды и др.

Настоящее исследование направлено на разработку экологического паспорта, включающего в себя параметры, достаточные для учета всех аспектов жизненного цикла растений, а также создания экологически устойчивых древесно-кустарниковых композиций.

Цель: актуализация и приведение к унифицированному виду экологического паспорта древесных растений для озеленения Новосибирска.

Методы: темпоральный анализ древесно-кустарниковых пород, анализ взаимодействия растений, композиционно-пространственный анализ, а также оценочные и расчетные методы исследования.

Результаты: в ходе исследования выявлены основные параметры актуализации экологических паспортов, принципы подбора растений при проектировании городской среды, кроме того, авторами предложен унифицированный вид экологического паспорта.

Ключевые слова: озеленение городских территорий, жилые кварталы, экологический паспорт, древесно-кустарниковые породы, основы композиции

Для цитирования: Савчук Д.Ю., Смолина О.О. Особенности разработки и аспекты применения экологического паспорта природопользования на основе разновидностей древесно-кустарниковых пород для озеленения города Новосибирска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 83–95. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-83-95. EDN: FBUVJZ

ORIGINAL ARTICLE

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF ENVIRONMENTAL PASSPORT OF HARDY-SHRUB SPECIES FOR NOVOSIBIRSK LANDSCAPING**Daria Yurievna Savchuk, Olesya Olegovna Smolina***Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,
Novosibirsk, Russia*

Abstract. The urbanization development has a negative impact on the quality of landscape. recreational and hardy-shrub species, one of the reasons for which is underestimation of environmental passports, in particular growth rates, allelopathy, requirements for multifunctionality of environmental objects.

Purpose: Updating of environmental passport of hardy-shrub species for Novosibirsk landscaping.

Methodology: Temporal analysis of hardy-shrub species, analysis of plant interaction with each other, composition and space analysis, evaluation and calculation methods.

Research findings: The main parameters of updating environmental passports, principles of plant selection, and proposed unified type of the environmental passport.

Keywords: landscaping, residential areas, environmental passport, development, application, hardy-shrub species, composition

For citation: Savchuk D.Yu., Smolina O.O. Development and application of environmental passport of hardy-shrub species for Novosibirsk landscaping. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 83–95. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-83-95. EDN: FBUVJZ

Введение

Современные тенденции и технологии в градостроительстве способствуют привлечению в города потенциальных жителей, что ведет к увеличению численности и плотности населения, развивает новые незастроенные территории и т. д., но в связи с миграционными процессами наблюдается значительное снижение транспортного и природного потенциала. Сокращение зеленого каркаса города может губительным образом сказаться на здоровье и состоянии граждан.

На сегодняшний день рекреационный ландшафт – один из наиболее важных и перспективных путей оздоровления городского населения – оказался еще мало изученным и слабо разработанным для использования при проектировании, развитии и модернизации (реконструкции) городской среды [1, с. 26].

Экологический паспорт – документ, содержащий информацию об уровне использования природопользователем ресурсов (природных, вторичных и др.) и степени воздействия его производств на окружающую природную среду, а также сведения о разрешениях на право природопользования, нормативах воздействий и размерах платежей за загрязнение окружающей природной среды и использование природных ресурсов¹.

¹ ГОСТ Р 17.0.0.06–2000. Охрана природы. Экологический паспорт природопользователя. Основные положения. Типовые формы (ред. от 01.07.2004). С. 5.

Проблемами озеленения городов занимались многие ученые: М.Р. Колпакова [2, с. 9–50], В.А. Горохов [3, с. 118–154; 4, с. 190–227], С.Н. Бобылев, И.С. Завалеев, А.И. Завалеева, И.Ю. Ховавко [5, с. 2–14], А.Г. Воронин [6, с. 3–28], И.А. Николаевская [7, с. 107–113], И.О. Боговая, В.С. Теодоронский [8, с. 4–14], А.П. Вергунов [9, с. 20–32; 10, с. 172–191], В.В. Кругляк, Н.П. Карташова [11, с. 42–60], Т.К. Горышина, [12, с. 56–131].

При проектировании объектов озеленения отмечается важность корректного составления экологических паспортов древесно-кустарниковых пород.

Цель: актуализация экологического паспорта древесных растений для городской среды Новосибирска по следующим параметрам: темпоральные характеристики, взаимодействие растений друг с другом и окружающей средой, многофункциональность, основы композиции, фактор времени и антропогенных нагрузок.

Новизна: авторское предложение по актуализации параметров экологического паспорта для озеленения территорий города.

Задачи:

- 1) сформировать принципы подбора ассортимента древесно-кустарниковых пород на городской территории;
- 2) проанализировать и систематизировать существующие экологические паспорта;
- 3) предложить унифицированный вид экологического паспорта с актуализацией основных параметров.

В научном исследовании использовались следующие методы: темпоральный анализ древесно-кустарниковых пород, анализ взаимодействия растений между собой, композиционно-пространственный анализ, а также оценочные и расчетные методы исследования.

Основные параметры экологического паспорта

На сегодняшний день существуют экологические паспорта растений следующих значений:

- 1) муниципального (разрабатываемые для определенного города);
- 2) регионального (разрабатываемые для конкретных областей РФ);
- 3) федерального (паспорта, карты-схемы, разрабатываемые для всей территории РФ).

Экологические паспорта схожи по своей наполняемости (рис. 1–4) и включают в себя в большинстве своем следующие характеристики: высота дерева, диаметр кроны, устойчивость, жизненные циклы.

Однако основным фактором, особенно в крупных городах, должна стать газоустойчивость. В связи с тем, что растения выполняют не только декоративную, но и специализированную функцию (пыле-, шумо-, солнце-, снего-, ветрозащитную, огнеупорную, укрепляющую), эти факторы должны быть отражены в экологических паспортах. Паспорта должны прийти к единому унифицированному виду.

Экологические паспорта, используемые в проектировании, нуждаются в актуализации по следующим параметрам:

- темпоральные характеристики (темпы роста растений, высота, диаметр кроны и ствола растения в различные периоды жизненного цикла);

- аллелопатия (взаимное влияние пород друг на друга);
- дополнительные функциональные возможности растений (шумо-, пыле-, солнцезащита и т. д.);
- основы композиции (форма кроны, текстура листьев, строение, размер, внешний вид плодов и др.);
- фактор времени и антропогенных нагрузок (необходимо учитывать изменение формы и размеров темпоральных характеристик древесно-кустарниковых пород).

Название вида	Высота, м	Диаметр кроны, м	Зимостойкость, балл	Газоустойчивость, балл	Время цветения, окраска цветков	Отношение к:	
						свету	влаге
1	2	3	4	5	6	7	8
Деревья							
Бархат амурский (Phellodendron amurense)	6-8	3-5	1-3	-		Тв	Мф
Береза повислая (Betula pendula)	12-16	5,5-7,5	1	3		Св	Мкф
Береза пушистая (Betula pubescens)	8-10	5-7	1	3		Св	Мф
Береза мелколистная (Betula microphylla Bunge)	6-8	3,5-5,5	1	-		Св	Кгф
Вяз гладкий (Ulmus laevis)	12-14	8-10	1(2)	2		Ств	Мф
Вяз приземистый (Ulmus pumila L.)	6-8	5-7	1(2-3)	2		Св	Мкф
Груша уссурийская (Pyrus ussuriensis)	5-6	5-7	1	2	V белая	Св	Мф

Рис. 1. Экологический паспорт по данным СО РАН для ландшафтного проектирования [13]
Fig. 1. Environmental passport according to SB RAS data for landscape design [13]

Название вида				Параметры элементов озеленения открытых пространств																						
				Живучая форма	Приоритет	Темпы роста							Требования к:				Зимостойкость	Засухоустойчивость	Цветение (с мес.)	Плодоношение (с года)	Геоустойчивость	Пылезащита	Расстояние от тротуара (м)	Продолжительность жизни (лет)	Рекомендации по месту озеленения	
						Скорость роста до 10 лет	Скорость роста после 10 лет	Высота растения в 10 лет (м)	Высота растения в 10 лет (см)	Макс. диаметр (см)	Формы кроны	Корневая система	Макс. высота (м)	Освещение	Состав почвы	Влажность почвы										Плодородность почвы
Багульник	Болотный (Ledum palustre)	К	И	↓	↓	0,4	3	10	1	8	3	1,2	●	●	■	△	1	-	V	1	2	-	-	2	30	П, У, М, ПЗ, П4
Барбарис	Амурский (Berberis amurensis Maxim)	К	И	↑	↑	0,7	4,2	120	4	4	2	3,5	○	□	■	▲	1	+	V-VI	3-4	3	+	+	2	50	П, У, М, ПЗ, П4
	Обыкновенный (Berberis vulgaris)	К	И	↑	↔	0,6	1,6	8	4	4	2	3	○	□	■	△	1	+	VI	4	3	+	+	2	50	П, У, М, ПЗ, П4
	Тунберга (Berberis thunbergii)	К	И	↑	↔	0,8	1,6	8	1	7	2	4	○	□	■	▲	1	-	V-VI	5-6	3	+	+	2	50	П, У, М, ПЗ, П4

Рис. 2. Экологический паспорт для озеленения территории Новосибирской области [14]
Fig. 2. Environmental passport for landscaping the Novosibirsk region [14]

Вид (русское название)	Вид (латинское название)	Применение ¹	Озелененные территории ²	Тип насаждений ³	Жизненная форма ⁴
1. Актинидия коломикта	<i>Actinidia kolomikta</i> (Maxim.) Maxim.	огр	ЛП, П, С	В	Л
2. Аморфа кустарниковая	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	огр	П	Г	К
3. Арония черноплодная	<i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.) Elliott	доп	П, С, Бу, У, ПР	Г, Ж	К
4. Барбарис амурский	<i>Berberis amurensis</i> Rupr.	осн	ЛП, П, С, Бу	О, Г, Ж	К
5. Барбарис обыкновенный	<i>Berberis vulgaris</i> L.	доп	П, С, Бу, У, ПР	О, Г, Ж	К
6. Барбарис обыкновенный (пурпурный)	<i>Berberis vulgaris</i> f. <i>atropurpurea</i>	доп	П, С, Бу, У, ПР	О, Г, Ж	К
7. Барбарис падаублистный (магония падаублистная)	<i>Berberis aquifolium</i> Pursh	доп	П, С, Бу, У, ПР	Г, Ж, Б	К
8. Барбарис Тунберга	<i>Berberis thunbergii</i> DC	доп	П, С, Бу, У, ПР	О, Г, Ж	К
9. Бархат амурский	<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	огр	П, С, ЛП	О, Г, МР	Д
10. Береза даурская, черная	<i>Betula dahurica</i> Pall.	доп	ЛП, П, С	О, Г, МР	Д
11. Береза мелколистная	<i>Betula microphylla</i> Bunge	осн	ЛП, П, С	О, Г, МР	Д
12. Береза повислая	<i>Betula pendula</i> Roth	осн	ЛП, П, С, Бу, У, ПР	О, Г, А, МР	Д
13. Береза пушистая	<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	осн	ЛП, П, С	О, Г, А, МР	Д
14. Бересклет бородавчатый	<i>Euonymus verrucosus</i> Scop.	доп	ЛП, П, С, Бу	О, Г, Ж	К
15. Бересклет европейский	<i>Euonymus europaeus</i> L.	доп	ЛП, П, С, Бу	О, Г, Ж	К
16. Бересклет Маака	<i>Euonymus maackii</i> Rupr.	доп	ЛП, П, С, Бу	О, Г, Ж	К
17. Боярышник зеленомасый	<i>Crataegus chlorosarca</i> Maxim.	осн	ЛП, П, С, Бу, У, ПР	О, Г, Ж	К
18. Боярышник кроваво-красный	<i>Crataegus sanguinea</i> Pall.	осн	ЛП, П, С, Бу, У, ПР	О, Г, Ж	К

Рис. 3. Экологический паспорт с характеристикой применения на озелененных территориях разного типа и по типам посадок [15]

Fig. 3. Environmental passport for different green areas and planting [15]

№	Наименование русское/латинское	Высота, м	Форма кроны	Декоративность				Экология: требовательность к		
				Весна	Лето	Осень	Зима	освеще- нию	увлажнению почвы	плодородию почвы
1.	Липа крупнолистная (<i>Tilia platyphyllos</i>)	40	Широкая, округ- лая	Светложел- тые цветы	Округло- яйцевидные листья сверху неяркозеленые, снизу зеленые опушение, бо- лее по жилкам	Листья желтые	Кора в глы- боках тре- щинах, бу- рая или черно- коричневая	●	▽	▲
2.	Рябина обыкновен- ная (<i>Sorbus aucupa- ria</i>)	15	Овальная или круглая	Белые цветы 8-10 мм ши- риной, со- цветия щиток 10-15 см.	Листья непар- ноперистые 12- 15 см сверху темно-зеленые снизу серо- зеленые	Листья огненно красные	Плоды красные собирают в кисти	●	▽	▲
3.	Ель обыкновенная (<i>Picea abies</i>)	30-50	Узкоконическая	Стабильно декоративна				●	▽	▲
4.	Можжевельник каза- цкий (<i>Juniperus sabina</i>)	5	Многоствольный стелющийся куст	Стабильно декоративна, кора ветвей светло-коричневая.				○	▽	△
5.	Лапчатка кустар- никовая (<i>Potentilla fruticosa</i>)	1	Округлая	Желтые чашевидные цветы диаметром 2-4 см, собраны в довольно густые верхушеч- ные или пазушные почки	Густоветви- стая подуш- ка			●	▽	▲
6.	Ракитник прулье- видный (<i>Cytisus scorpius</i>)	1-2	Прямостоячий кустарник	Обильное цветение зо- лотисто- желтые цве- ты	Зеленые, ребристые прутовидные, прямо- стоячие побеги			○	▽	△

Рис. 4. Экологический паспорт растений в группе одностороннего обзора [2]

Fig. 4. Environmental passport for plants of one-sided review group [2]

Недостаток информации приводит к появлению трудностей с созданием экологически устойчивых и гармоничных групп из растений.

Рассмотрим принципы, учет которых необходим при подборе ассортимента древесно-кустарниковых пород.

Территориально-климатический. При выборе ассортимента растений во время ландшафтно-планировочной организации жилых кварталов необходимо учитывать климатические характеристики территории их произрастания (температура и влажность воздуха, количество осадков).

При посадке используются местные растения или интродуценты, адаптивные к местному грунту и окружающей среде.

Микроклиматический. Учет особенностей посадки растений в микро- и мезомасштабах (плотностные характеристики территории, инсолируемость

территории с учетом зданий, сооружений, малых архитектурных форм и других элементов озеленения; учет водных объектов на территории или в приближении и их влияние на влажность среды; разновидность грунтов; общая экологическая ситуация и др.). Кроме этого, необходимо учитывать такие параметры, как зимостойкость, газоустойчивость, указанные в существующих экологических паспортах. Комплексный подход к выбору ассортимента растений и способам их посадки позволит создать экологически устойчивые древесно-кустарниковые композиции.

Качество и репрезентативность. Данный принцип базируется на учете эстетических характеристик композиционной группы растений в зависимости от сезона цветения и плодоношения и изменения основных параметров растений (высота, диаметр ствола, кроны и т. д.) в процессе их жизненного цикла. Кроме этого, нужно продумывать во времени композиционную роль (доминанты, акценты, фоновые элементы) каждого растения в группе, а также учитывать неблагоприятные факторы, влияющие на рост и раскрытие эстетических характеристик растений. При этом необходимо принимать во внимание влияние озеленения на психофизиологическое состояние человека (что является темой дальнейших исследований авторов). Рассмотрением данного вопроса также занималась М.Р. Колпакова [2, с. 91].

Взаимодействие древесно-кустарниковых пород в одной группе. Этот принцип учитывает взаимодействие между растениями – аллелопатию, которая может быть как физической (к примеру, посадка в композицию растений, создающих тень для других участников группы), так и химической (например, использование различных присыпок и удобрений, опыление насекомыми одних растений с вредом или пользой для других).

При формировании групп из растений также важно учитывать взаимодействие данных растений во времени и пространстве.

При подборе растений вблизи детских площадок необходимо также принимать во внимание аллергенность каждого растения, чтобы снизить вероятность развития аллергии у детей.

Бережное отношение к природе. Помимо формирования гармоничной группы растений важно закладывать в подрастающем поколении принципы экологического воспитания.

Экологическое воспитание – это процесс формирования устойчивого гуманного отношения человека к окружающей среде, создания взаимосвязи «человек-природа», а также развития в личности принципов антивандализма. Данный термин затрагивает все стадии развития личности от младенчества до глубокой старости. Воспитательные мероприятия могут быть устроены непосредственно в жилом квартале – совместная посадка деревьев и кустарников, оформление композиций из цветов, познавательные лекции об окружающей среде, проводимые на природе, информационные табло и др.

Уход за растениями. Помимо сформированных групп важную роль играет своевременный уход за древесно-кустарниковыми породами. Для того чтобы защитить растения от агрессивной среды, необходимо выполнять ряд мероприятий: своевременная обрезка деревьев и кустарников (формовка, санитарная обработка), полив, использование различных препаратов для ро-

ста и предотвращения патологий (список разрешенных препаратов содержится в Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ), обработка растений мыльным раствором (данная мера позволяет защитить древесно-кустарниковую породу от вредоносных насекомых, а также уменьшить оседание пыли на самом растении), рыхление почвы, мульчирование (данный метод позволяет избежать промерзания почвы зимой, а летом чрезмерного испарения влаги).

Многофункциональность. Растения могут выполнять следующие функции:

1. Пылезащитная. Древесно-кустарниковые породы формируют санитарные зоны, защищая жилые районы от загрязняющих факторов.

Среди растений-пылеуловителей известны: можжевельник, дуб, сосна, ель, черемуха, рябина, туя, акация, барбарис, ива плакучая, лиственница сибирская, липа, осина, тополь. Важным фактором при выборе растения является организация посадочных схем, определяющих плотность кроны в зависимости от породы.

Пылезащитные характеристики некоторых деревьев и кустарников представлены в исследовании «Роль зеленых насаждений в формировании благоприятных параметров городской среды» [16, с. 2].

2. Шумозащитная. Шумозащитные свойства древесно-кустарниковых пород зависят от ряда факторов, к ним относятся: способ посадки, размер и плотность кроны растения, степень его ветвления, разновидность самого растения, расстояние до источника шума. Кроме того, немалую роль играют погодно-климатические условия территории.

Для снижения уровня шума вдоль магистральных улиц или по периметру жилого квартала устраивают шумозащитные полосы. При этом должен быть соблюден ряд правил: ширина полосы – 10–30 м, породы растений высаживаются в шахматном порядке (в два яруса и три ряда). Наиболее высокорослые растения либо породы с более густым типом кроны высаживаются ближе к источнику шума, за ними могут быть высажены либо деревья меньших размеров, либо кустарниковые породы. Помимо шумозащитных растений рекомендуется использовать газон, он хорошо поглощает звук.

При подборе древесных растений для первого яруса следует отдавать предпочтение хвойным породам, таким как ель, сосна, лиственница. Из лиственных растений предпочтительны: тополь, вяз, ива ломкая, береза, клен. Однако нужно учитывать микроклиматические характеристики территории, напрямую влияющие на выбор растений.

Для второго (нижнего) яруса подойдут: можжевельник, кизильник блестящий, барбарис сизо-белый, лавровишня лекарственная, боярышник, спирея.

3. Ветрозащитная. Проблемы, связанные с аэрацией и сильными порывами ветра, возникают не только на открытых пространствах, но и на застроенных жилых территориях. Для снижения скорости ветра на участке необходимо предусмотреть ветрозащитные ограждения, таковыми могут стать древесно-кустарниковые породы. Параметры, на которые нужно обратить внимание: количество рядов, высота породы и плотность ее кроны. Оптимальная и достаточная высота растения – 3 м. Наилучшим вариантом является сочетание хвойных и лиственных пород растений.

Перечень возможных древесно-кустарниковых пород по ярусам:

- первый ряд: береза, лиственница, сосна, ель, пихта, кипарисовик, кедр европейский, ольха, липа, тополь, туя, черемуха;
- второй ряд: арония, бузина, можжевельник, туя западная, клен;
- третий ряд: барбарис, гортензия, лапчатка, спирея, роза, форзиция.

4. Огнеупорная. Вероятность воспламенения окружающих объектов можно снижать за счет посадки растений, создающих повышенные характеристики влажности среды. За такими породами необходим соответствующий уход, к примеру, прореживание многолетних пород, подрезка, очистка от возможной пыли и мусора.

Породы растений с огнеупорной функцией: чабрец почвопокровный, хоста, эвкалипт, липа, рябина, ива, ольха серебристая.

5. Укрепляющая (берегоукрепление, укрепление стенок откосов). Для укрепления стенок откосов и берегоукрепления необходимо использовать растения с хорошо развитой разветвленной корневой системой, позволяющей обеспечить устойчивость берегов. Данные растения должны быть устойчивы к затоплению.

Породы растений, подходящие для берегоукрепления: ива, черноплодная рябина, облепиха, тополь, аморфа, манник. Для подводной зоны возможно использование водных растений – водный ирис.

6. Солнцезащитная. При проектировании жилых кварталов особая роль отводится обеспечению необходимого уровня инсоляции территории, но количество солнечного света может быть избыточно, и в некоторых случаях это может представлять серьезную проблему. Решением данного вопроса может служить создание солнцезащитного ограждения из групп растений (при подборе пород необходимо обращать внимание на такой параметр, как отношение к свету и диаметр ствола и кроны).

Подходящие растения: мирт обыкновенный, ива декоративная, кипарисовик, кизильник, шалфей, эхинаcea, лаванда узколистная, артишок, вербена, клецелина.

7. Снегозащитная. Разработка типовых решений по организации снегопереноса в пределах жилой застройки позволяет прогнозировать и оптимизировать площадки накопления снежных масс.

Нормативно-правовой. Основные нормативно-правовые требования, которые необходимо учитывать при проектировании и посадке древесно-кустарниковых пород, представлены в следующих стандартах:

- расстояние от зданий и сооружений, а также объектов инженерного благоустройства до деревьев и кустарников указано в СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», табл. 9.1;
- площадь озелененных территорий общего пользования – парков, садов, скверов, бульваров, размещаемых на территории городских и сельских поселений, указана в СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», табл. 9.2;
- нормирование элементов территории сада, бульвара, сквера указано в СП 476.1325800.2020 «Территории городских и сельских поселений. Правила планировки, застройки и благоустройства жилых микрорайонов», табл. 8.2;

– ориентировочный уровень предельной рекреационной нагрузки указан в Постановлении Правительства Москвы от 6 августа 2002 года № 623-ПП «Об утверждении Норм и правил проектирования комплексного благоустройства на территории города Москвы МГСН 1.02-02» (с изменениями на 24 мая 2022 г.), табл. 4.5;

– расстояния от сооружений до оси растений указаны в Постановлении Правительства Москвы от 4 октября 2005 года № 770-ПП «Методические рекомендации по составлению дендрологических планов и перечетных ведомостей» (с изменениями на 26 мая 2016 г.), табл. 1;

– нормативно-правовые аспекты, связанные с организацией посадки зеленых насаждений в приближении к инженерным сетям, более подробно рассмотрены в публикации авторов «Особенности посадки древесно-кустарниковых пород в приближении к инженерным сетям» [17, с. 1–4].

Компенсационный. В существующих экологических паспортах не содержится информации об эквивалентности растений, подвергшихся вырубке в связи с проектными решениями. Эквивалентными растениями могут служить схожие по своим свойствам породы древесных насаждений. Необходимо обратить внимание на плотность посадки, возраст насаждений, учет динамики изменения грунтовых условий. Рекомендации по составлению дендрологических планов и перечетных ведомостей представлены в Постановлении Правительства Москвы от 4 октября 2005 г. № 770-ПП «Методические рекомендации по составлению дендрологических планов и перечетных ведомостей» (с изменениями на 26 мая 2016 г.).

В целях обеспечения сохранности зеленого фонда г. Новосибирска была утверждена Методика исчисления суммы восстановительной стоимости зеленых насаждений на территории города Новосибирска. Данная методика представлена в постановлении мэрии города Новосибирска от 18 июля 2023 г. № 3703 «О Методике исчисления суммы восстановительной стоимости зеленых насаждений на территории города Новосибирска».

В соответствии с постановлением мэрии города Новосибирска от 30 января 2023 г. № 490 «О создании муниципальной информационной системы “Реестр зеленых насаждений города Новосибирска”» необходимо создать муниципальную информационную систему «Реестр зеленых насаждений города Новосибирска» (сокращенно МИС «РЗН»).

Результаты работы

С учетом анализа существующих экологических паспортов, а также сформированных принципов предлагается актуализация паспортов древесно-кустарниковых пород с принятием унифицированного вида. Основные положения экологического паспорта с анализом частоты использования данных характеристик представлены в табл. 1.

Фрагмент доработанного экологического паспорта ассортимента древесно-кустарниковых пород, рекомендованных для посадки в Новосибирской области, представлен в табл. 2.

Таблица 1

Table 1

Положения унифицированного вида экологического паспорта

Provisions for unified-standard environmental passport

Имя вида	Листопадные деревья и кустарники	Параметры элементов озеленения открытых пространств																				Рекомендации по месту озеленения	Тип насаждения										
		Темпы роста										Требования к				Основы композиции				Дополнительные функциональные возможности				Фактор времени и антропогенных нагрузок									
		Жизненная форма	Прорастание	Скорость роста до 10 лет	Скорость роста после 10 лет	Высота растения в 10 лет (м)	диаметр в 10 лет (см)	макс. диаметр (см)	диаметр кроны (м)	Формы кроны	Корневая система	макс. высота (м)	освещение	состав почвы	влажность почвы	плодородность почвы	Аллеопатия	Форма кроны	Текстура листьев/цвет	Плоды/цветы/ период	Цветы/ период			Иммунитет	Пылеулавливание	Ветроустойчивость	Солнцезащита	Огнеустойчивость	Укрывающая	Зимостойкость	Защитная функция	Устойчивость	Расстояние от транспортных средств (м)
Частота использования характеристики 0-1 редко (красный) 2 среднее (желтый) 3-4 часто (зеленый)	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	3	1	3	2	0	0	2	0	1	3	1	1	0	0	0	0	2	1	2	1	1	1

Таблица 2

Экологический паспорт ассортимента древесно-кустарниковых пород

Table 2

Environmental passport for hardy-shrub species

Название вида	Известные ареалы распространения	Параметры известных описания открытых пространств																				
		Типы роста						Требования к:						Особенности композиции				Дополнительная функциональная возможность		Фактор времени и антропогенных нагрузок		Типы нагрузок
		Живая форма	Живая высота (м)	Живая ширина (м)	Средняя высота (м)	Ширина кроны (м)	Ширина в 10 см (см)	Живая высота (м)	Живая ширина (м)	Живая форма	Живая высота (м)	Живая ширина (м)	Живая форма	Живая высота (м)	Живая ширина (м)	Живая форма	Живая высота (м)	Живая ширина (м)	Живая форма	Живая высота (м)	Живая ширина (м)	
Живая форма	Живая высота (м)	Живая ширина (м)	Средняя высота (м)	Ширина кроны (м)	Ширина в 10 см (см)	Живая высота (м)	Живая ширина (м)	Живая форма	Живая высота (м)	Живая ширина (м)	Живая форма	Живая высота (м)	Живая ширина (м)	Живая форма	Живая высота (м)	Живая ширина (м)	Живая форма	Живая высота (м)	Живая ширина (м)			
Бугайчатый (Astragalus palustris)		К	И	←	0	3	10	1	8	9	1	8	9	1	8	9	1	8	9	1	8	9
Амурский (Siberian amurensis Maxim)		К	И	↑	1	1	120	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Полесья (Sibira pendula)		Д	М	↔	5	20	80	1	5	1	16	0	1	16	0	1	16	0	1	16	0	1
Крово-рысый (Sibiricus)		К	И	↔	2	1	10	4	4	3	5	0	1	10	4	4	3	5	0	1	10	4
Европейский (Sibiricus)		К	М	↔	3	-	-	4	4	3	5	0	1	10	4	4	3	5	0	1	10	4

Условные обозначения:			
Жизненная форма:	Д-дерево;	К-кустарник;	Л-лиана.
Происхождение:	М-местное;	И-интродуцент.	
Скорость роста:	↑-быстрое;	↔-умеренное;	↓-медленное.
Форма кроны:	1-колоновидная; 5-плакучая; 9-выступающая лиана.	2-коническая; 6-стегающаяся;	3-пирамидальная; 7-шаровидная; 8-полусферическая.
Корневая система:	1-мочковатая;	2-стержневая;	3-поверхностная.
Требования к освещению:	○-гелиофит;	○-сциофит, гемиофиты;	●-сигиофиты
Требования к составу почвы:	□-сухотолерант;	▣-супесь;	■-известняк.
Требования к влажности почвы:	▽-субгидрофиты;	▤-мезофиты;	▼-гидрофиты.
Требования к плодородию почвы:	△-олиготрофы;	▲-мезотрофы;	▲-эвотрофы.
Зимостойкость:	1-не промерзает;	2-подмерзает отдельные побеги.	
Засухоустойчивость:	+ да;	- нет.	
Газоустойчивость:	1-очень устойчивые;	2-устойчивые;	
	3-относительно устойчивые/ не устойчивые.		
Дополнительные функциональные возможности:	+ да;	- нет.	

Заключение

В дальнейших исследованиях авторами планируется разработка экологического паспорта для г. Новосибирска унифицированного вида, который можно использовать при планировке городских территорий, а также создание на его основе учебного пособия для студентов кафедры градостроительства и городского хозяйства.

Результаты исследования также послужат для написания магистерской диссертации, в которой планируется формирование единого паспорта древесно-кустарниковых пород для разных климатических зон.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Василенко Н.А.* Системные принципы формирования ландшафтно-рекреационной среды крупного города : специальность 18.00.01 «Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры. Москва, 2009. 27 с.
2. *Колпакова М.Р., Гончар А.А., Чиндяева Л.Н.* Ландшафтная архитектура Сибири. Новосибирск : НГАХА, 2003. 163 с.
3. *Горохов В.А.* Городское зеленое строительство. Москва : Стройиздат, 1991. 416 с.
4. *Горохов В.А.* Зеленая природа города. Москва : Архитектура С, 2005. 592 с.
5. *Бобылев С.Н., Завалеев И.С., Завалева А.И., Ховавко И.Ю.* Развитие «зеленой» инфраструктуры в городах // Научные исследования экономического факультета : электронный журнал. 2022. Т. 14. Вып. 3 (45). С. 48–58. URL: <https://scires.elpub.ru/jour/article/view/224/210> DOI: 10.38050/2078-3809-2022-14-3-48-61
6. *Воронин А.Г.* Принципы формирования озелененных пространств в жилых многоэтажных зданиях : специальность 05.23.21 «Архитектура зданий и сооружений» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры. Москва, 2013. 29 с.
7. *Николаевская И.А.* Благоустройство городов. Москва : Высшая школа, 1990. 160 с.
8. *Боговая И.О., Теодоронский В.С.* Озеленение населенных мест. Москва : Агропромиздат, 1990. 239 с.
9. *Вергунов А.П.* Архитектурно-ландшафтная организация пространств городских центров. Москва : МАРХИ, 1996. 126 с.
10. *Вергунов А.П., Денисов М.Ф., Ожегов С.С.* Ландшафтное проектирование. Москва : Высшая школа, 1991. 240 с.
11. *Кругляк В.В., Карташова Н.П.* Урбоэкология и мониторинг среды. Воронеж : ВГЛТА, 2004. 72 с.
12. *Горышина Т.К.* Растение в городе. Ленинград : Изд-во «Ленинград», 1991. 152 с.
13. *Березина Е.А., Колпакова М.П., Гончар А.А.* Ландшафтная архитектура Сибири. Новосибирск : Апостроф, 2013. 149 с.
14. *Сковородникова Т.А.* Экологический паспорт древесно-кустарниковых пород для озеленения территории Новосибирской области. URL: <https://disk.yandex.ru/d/52-LERfoucTvA> (дата обращения: 07.12.2023).
15. *Ассортимент растений для озеленения города Новосибирска с характеристикой применения на озелененных территориях разного типа и подтипа посадок* // Приложение № 1 к приказу заместителя мэра города Новосибирска – начальника департамента культуры, спорта и молодежной политики от 19.01.2022 № 0021-ОД. 2022. 11 с.
16. *Силютин Д.А.* Роль зеленых насаждений в формировании благоприятных параметров городской среды. Новосибирск : [б. и.] : НГАСУ (Сибстрин), 2015. 32 с.
17. *Савчук Д.Ю., Смолина О.О.* Особенности посадки древесно-кустарниковых пород в приближении к инженерным сетям // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2023. С. 152–155.

REFERENCES

1. *Vasilenko N.A.* Systemic principles of landscape and recreational environment in a large city. PhD Abstract. Moscow: Stroyizdat, 2009. 180 p. (In Russian)
2. *Kolpakova M.R., Gonchar A.A., Chindyaeva L.N.* Landscape architecture of Siberia. Novosibirsk, 2003. 163 p. (In Russian)
3. *Gorokhov V.A.* Urban green construction. Moscow: Stroyizdat, 1991 416 p. (In Russian)
4. *Gorokhov V.A.* Green nature of city. Moscow: Arkhitektura S. 2005. 592 p. (In Russian)
5. *Bobylev S.N., Zavaleev I.S., Zavaleeva A.I., Khovavko I.Yu.* Development of green infrastructure in cities. *Nauchnye issledovaniya ekonomicheskogo fakul'teta*. 2022; 14 3(45): 48–58. Available: <https://scires.elpub.ru/jour/article/view/224/210> DOI: 10.38050/2078-3809-2022-14-3-48-61. (In Russian)
6. *Voronin A.G.* Formation principles of green spaces in residential multi-storey buildings. PhD Abstract. Moscow. 2012. 27 p. (In Russian)

7. Nikolaevskaya I.A. Urban improvement. Moscow: Vysshaya shkola. 1990. 160 p. (In Russian)
8. Bogovaya I.O., Teodoronsky V.S. Greening of populated areas. Moscow: Agropromizdat, 1990. 239 p. (In Russian)
9. Vergunov A.P. Architectural and landscape organization of spaces of urban centers. Moscow, 1996. 58 p. (In Russian)
10. Vertunov A.P., Denisov M.F., Ozhegov S.S. Landscape design. Moscow: Vysshaya shkola, 1991. 240 p. (In Russian)
11. Kruglyak V.V., Kartashova N.P. Urban ecology and environmental monitoring. Voronezh, 2004. 72 p. (In Russian)
12. Goryshina T.K. Plant in the city. Leningrad, 1991. 152 p. (In Russian)
13. Berezina E.A., Kolpakova M.P., Gonchar A.A. Landscape architecture of Siberia. Novosibirsk: Apostrof, 2013. 149 p. (In Russian)
14. Skovorodnikova T.A. Environmental passport of wood and shrub species for landscaping in the Novosibirsk region. Available: <https://disk.yandex.ru/d/52-LERfou-cTvA> (accessed December 7, 2023). (In Russian)
15. Landscaping of Novosibirsk using different types of plantings. Appendix No. 1 to the order No. 0021-OD by Head of the Department of Culture, Sports and Youth Policy of the Deputy Mayor of Novosibirsk. 2022. 11 p. (In Russian)
16. Silyutina D.A. The role of green spaces in the formation of favorable parameters of urban environment. Novosibirsk, 2015. 4 p. (In Russian)
17. Savchuk D.Y., Smolina O.O. Tree-shrub species in engineering networks. In: *Proc. All-Russ. Sci. Conf. 'Technologies and Equipment for Gardening and Landscape Construction'*, Krasnoyarsk: 2022. Pp. 152–155. (In Russian)

Сведения об авторах

Савчук Дарья Юрьевна, магистрант, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, dashenka-savchuk@mail.ru

Смолина Олеся Олеговна, канд. архитектуры, доцент, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, zelenoest-vo@mail.ru

Authors Details

Daria Yu Savchuk, Undergraduate Student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, dashenka-savchuk@mail.ru

Olesya O. Smolina, PhD, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, zelenoest-vo@mail.ru

Вклад авторов

Савчук Д.Ю. – концепция исследования, сбор и обработка материала, написание статьи.

Смолина О.О. – научное руководство и редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

Savchuk D.Y. conceptualization, data curation collection and processing, writing – original draft preparation.

Smolina O.O. supervision and editing the manuscript.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 11.12.2023
Одобрена после рецензирования 09.01.2024
Принята к публикации 16.01.2024

Submitted for publication 11.12.2023
Approved after review 09.01.2024
Accepted for publication 16.01.2024

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING AND CONSTRUCTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 26. № 1. С. 96–107.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 26 (1): 96–107.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 69.003.13

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-26-1-96-107

EDN: HOUUYJ

К ВОПРОСУ О СОСТОЯНИИ ПРИМЕНЕНИЯ BIM-ТЕХНОЛОГИЙ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ ВЬЕТНАМА

Ле Чунг Хиеу¹, Нгуен Ван Дат², Нго Суан Хунг²

¹Российский университет транспорта, г. Москва, Россия

²Ханойский горно-геологический университет, г. Ханой, Вьетнам

Аннотация. В настоящее время во Вьетнаме с учетом тенденций применения информационного моделирования зданий (BIM) концепция BIM стала достаточно популярной в строительной отрасли. Применение BIM оптимизирует обмен информацией и координацию между участниками различных сторон проекта, помогает визуализировать процесс проектирования, строительства и управления проектом, обеспечивает качество проекта и различные преимущества на более позднем этапе управления и эксплуатации объекта.

Целью исследования является обзор текущей ситуации и тенденций применения BIM в строительных инвестиционных проектах, а также неизбежной цифровой трансформации в строительном секторе Вьетнама.

Материалы и методы. Использованы статистический и сравнительно-исторический методы. В статье представлены данные опросов, полученные с помощью анкетирования, в форме статистического анализа с использованием диаграмм, описывающих применение BIM в строительной отрасли во Вьетнаме.

Результаты. Показано, что субъектами, заинтересованными в применении BIM, являются в основном предприятия, напрямую получающие выгоду от результатов внедрения современных технологий. Широта применения BIM отражает разнообразие объектов исследования, поскольку BIM может применяться на разных этапах строительного проекта всеми заинтересованными сторонами. Результаты опроса отражают равномерное распределение исследуемых параметров между участниками строительного проекта, что подтверждает заинтересованность всех основных сторон в применении BIM.

Выводы. Настоящее исследование дополняет информацию о статусе и тенденциях применения BIM в строительных инвестиционных проектах в разных странах, в том числе во

Вьетнаме. Таким образом, BIM все шире применяется в строительной отрасли, однако сохраняется нехватка квалифицированных кадров, умеющих использовать эти технологии.

Ключевые слова: новая технология, строительная информационная модель, информационное моделирование, современные тенденции строительной отрасли, цифровизация строительной отрасли, проект «Ориентир 81», Республика Вьетнам

Для цитирования: Ле Чунг Хиеу, Нгуен Ван Дат, Нго Суан Хунг. К вопросу о состоянии применения BIM-технологий в строительной отрасли Вьетнама // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 26. № 1. С. 96–107. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-26-1-96-107. EDN: HOUYIJ

ORIGINAL ARTICLE

BIM TECHNOLOGY APPLICATION IN CONSTRUCTION INDUSTRY OF VIETNAM

Le Trung Hieu¹, Nguyen Van Dat², Ngo Xuan Hung²

¹Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

²Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

Abstract. In Vietnam, the concept of building information modeling (BIM) has become quite popular in the construction industry. The BIM application optimizes the information exchange and coordination between participants in various project, helps to visualize design, construction and project management processes, ensures the project quality and various benefits at a later stage of the project management and operation.

Purpose: A review of the current situation and trends of BIM application in construction investment projects as well as inevitable digital transformation in the construction sector of Vietnam.

Methodology: Statistical and comparative-historical methods, survey data obtained through a questionnaire in the form of statistical analysis using charts describing the BIM application in the construction industry in Vietnam.

Research findings: It is shown that BIM is mostly used by enterprises that directly benefit from modern technologies. The BIM reflects the diversity of research subjects, as is can be applied at different stages by many project stakeholders. It is found that many surveys are distributed rather evenly, confirming that all key project participants are interested in using BIM.

Originality: This study supplements information on the current status and trends of the BIM application in construction investment projects in different countries, including Vietnam. Thus, the BIM is increasingly being used in the construction industry, but there is still a lack in qualified personnel who can use this technology.

Keywords: new technology, building information modeling, construction industry, digitalization, Landmark 81, Vietnam

For citation: Le Trung Hieu, Nguyen Van Dat, Ngo Xuan Hung. BIM technology application in construction industry of Vietnam. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 26 (1): 96–107. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-26-1-96-107. EDN: HOUYIJ

Введение

BIM – сокращение от Building Information Modeling – это новая технология, разработанная на цифровой технологической платформе, способствующая оптимизации процессов взаимодействия при проектировании, строи-

тельстве и управлении строительством (рис. 1) [1, 2]. BIM-проектирование позволяет снизить инвестиционные риски, уменьшить затраты на строительство объектов недвижимости, повысить их экономическую эффективность. Причиной спада в строительной отрасли, как известно, является совокупное сочетание различных экономических факторов. Среди них: кратное увеличение затрат при возведении сооружений, снижение платежеспособности покупателей, падение спроса. Внедрение BIM-технологий дает возможность сократить издержки строительной отрасли в целом [3].

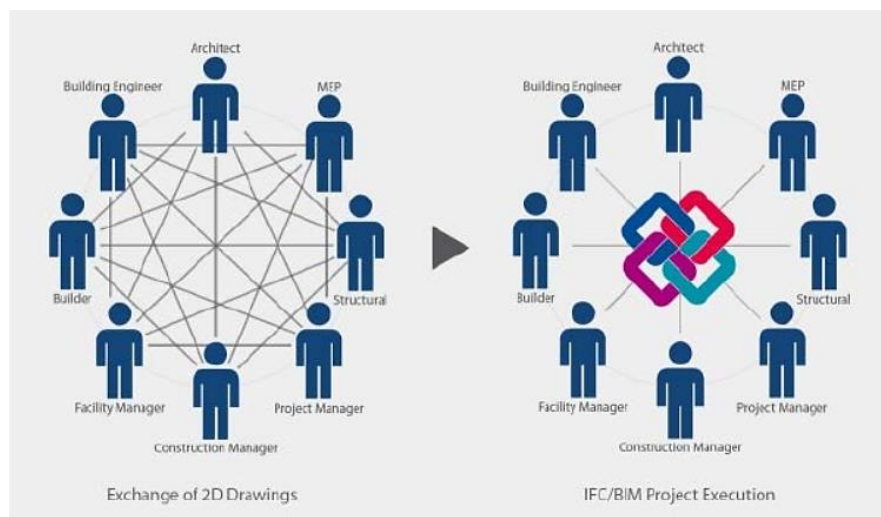


Рис. 1. Взаимодействие участников процесса строительства и эксплуатации здания [4]

Fig. 1. Interaction of participants in building construction and operation

Необходимо подчеркнуть, что, являясь революционной в строительной отрасли в эпоху информационных технологий, BIM обращает на себя внимание правительства, исследователей и тех, кто работает в строительной сфере во всем мире (рис. 2). Согласно отчету всемирно известной исследовательской компании Research and Market, опубликованному в январе 2023 г., объем мирового рынка BIM в 2022 г. составил около 6,6 млрд долл. США, а к 2030 г. он увеличится до 22,1 млрд долл. США. Темпы роста прогнозируются на уровне 17,4 % в течение следующих 8 лет [5].

Благодаря широкому применению технологий BIM в ключевых проектах промышленного и инфраструктурного строительства Азиатско-Тихоокеанский регион может стать крупнейшим и наиболее быстрорастущим региональным рынком BIM в мире в ближайшие несколько лет. Отрасли бизнеса и инфраструктурного строительства по-прежнему останутся основными пользователями BIM в будущем и в 2022–2025 гг. будут занимать около 60–70 % мирового рынка.

Информационное моделирование зданий – это создание информационной модели здания. Несмотря на свою новизну, эта технология в последние годы нашла применение в ряде строительных проектов Вьетнама.



Рис. 2. Организации разных стран, применяющие BIM сегодня [6]

Fig. 2. Organizations applying BIM today in different countries

В настоящем исследовании приведен обзор текущей ситуации и тенденций применения BIM в строительных инвестиционных проектах во Вьетнаме, а также отражена тенденция цифровой трансформации в строительном секторе Вьетнама. Используются статистический и сравнительно-исторический методы. Представлены данные опросов, полученные с помощью анкетирования, в форме статистического анализа с использованием диаграмм, описывающих применение BIM в строительной отрасли Вьетнама.

Технология BIM во Вьетнаме получила распространение достаточно поздно. Однако в настоящее время она активно развивается и находится в фокусе внимания правительства, предприятий, учебных заведений и научно-исследовательских институтов, проводящих обучение и организующих сотрудничество по техническому обмену.

Постановление правительства о применении технологий BIM в строительстве во Вьетнаме

Во Вьетнаме применение BIM при проектировании, строительстве и управлении эксплуатацией проектов апробируется с конца 2016 г. В настоящее время технология BIM официально включена в Постановление Правительства № 15/2021/Постановление-СР от 3 марта 2021 г., детализирующее ряд материалов по управлению строительными инвестиционными проектами; Министерство строительства также издало Решение № 348/QD-BXD от 2 апреля 2021 г. о публикации Общих инструкций по применению информационного моделирования зданий (BIM) к строительным работам и объектам технической инфраструктуры. Направления и перспективы развития BIM и строительной отрасли до 2030 г. таковы:

– в 2023 г. будут выпущены полные стандарты применения BIM для архитектурных, структурных, инфраструктурных, механических и электрических проектов;

– в 2025 г. около 10 % строительных проектов, реализуемых на платформе BIM, будут получать проектную документацию, поступающую в Минстрой на экспертизу в режиме онлайн (4-й уровень онлайн-госсервиса);

– к 2030 г. около 20 % строительных инвестиционных проектов будет реализовано на платформе BIM. Все оценочные документы в Минстрое или местных специализированных строительных агентствах можно будет создавать напрямую на уровне 4;

– репликация цифровой бизнес-модели, успешно опробованной в период 2020–2025 гг.

По запросу Министерства строительства 17 марта 2023 г. премьер-министр издал Решение № 258/QĐ-TTg об утверждении Дорожной карты по применению BIM в строительной деятельности, обязывающей задействовать BIM в инвестиционных проектах нового строительства, регламентирующей использование государственного инвестиционного капитала; государственного капитала, не являющегося государственными инвестициями; инвестиций в режиме государственно-частного партнерства [7].

Правительство регулирует применение BIM поэтапно:

– 1-й этап будет реализован с 2023 г. при обязательном применении BIM для уровня I и работ специального уровня инвестиционных проектов нового строительства с использованием государственного инвестиционного капитала; государственного капитала, отличного от государственных инвестиций; инвестиций в форме государственно-частного партнерства, которые начинают реализовывать проект на стадии подготовительных работ;

– 2-й этап будет реализован с 2025 г. с обязательным применением BIM для работ уровня II или выше инвестиционных проектов нового строительства с использованием государственного инвестиционного капитала; государственного капитала в дополнение к государственным инвестициям и частным инвестициям. В рамках метода государственно-частного партнерства начинается реализация работ по подготовке проекта.

Результаты подведения итогов реализации «Проекта по применению информационного моделирования зданий (BIM) в строительной деятельности и управлении эксплуатацией проекта» (Проект утвержден Премьер-министром в Постановлении № 2500/QĐ-TTg от 22 декабря 2016 года сроком до 2021 г.), а также результаты мониторинга и оценки применения BIM за последний период показывают, что использование BIM в процессе подготовки технико-экономических обоснований, выполнения, проектирования, строительства, управления качеством, управления проектами и эксплуатации принесло явные преимущества и продемонстрировало свою эффективность.

Анализ результатов опросов

Исследование и обзор текущего статуса применения BIM в строительной отрасли во Вьетнаме проводились с участием различных субъектов: частных лиц, предприятий и государственных органов управления в строительной отрасли. Результаты опроса, полученные с помощью анкетирования, приведены на рис. 3, 4.

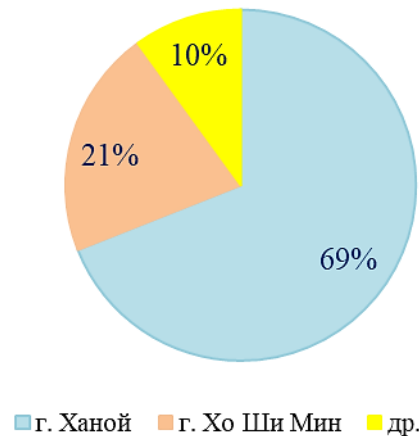


Рис. 3. Применение BIM в строительной отрасли во Вьетнаме
Fig. 3. BIM application in construction industry in Vietnam

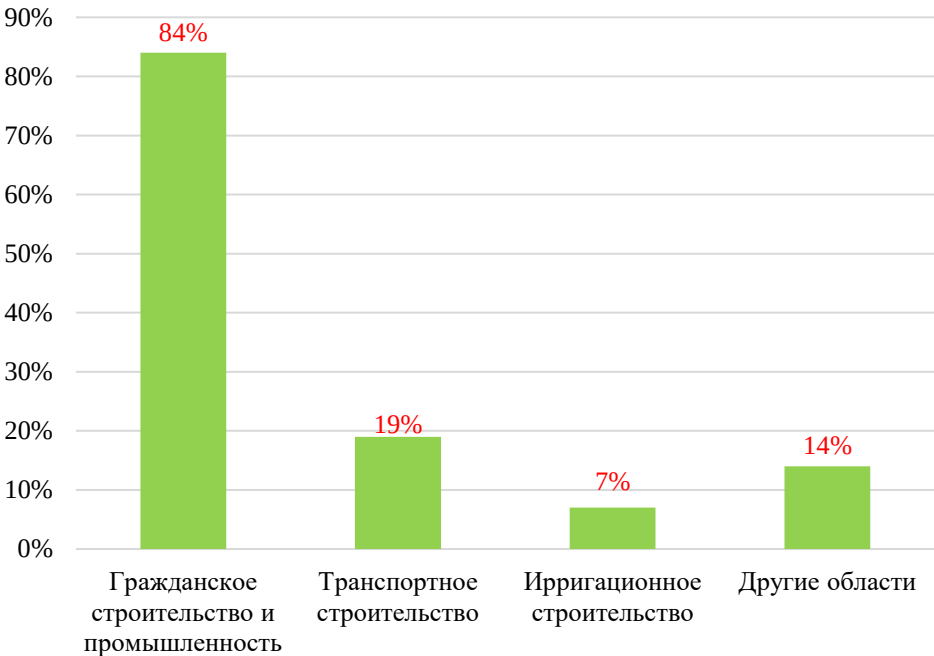


Рис. 4. Применение BIM в различных областях во Вьетнаме
Fig. 4. BIM application in different fields in Vietnam

Ответы, данные респондентами, позволяют заключить, что лидером по внедрению BIM-технологий является бизнес-сектор: 32 % приходится на частные предприятия, 24 % – на предприятия с иностранным капиталом и 19 % – на государственные предприятия. Анализ приведенных выше данных свидетельствует, что субъектами, заинтересованными в применении BIM, являются в основном предприятия, поскольку именно они напрямую получают выгоду от использования технологий информационного моделирования. Предприятия со-

средоточены главным образом в сферах гражданского, промышленного и транспортного строительства, что также соответствует реалиям строительной отрасли, когда спрос на строительство в этих отраслях находится на низком или очень высоком уровне, требуя новых инструментов управления и внедрения последних достижений науки и техники в строительстве.

Еще одним важным аспектом изучения текущего статуса применения BIM является разнообразие объектов исследования, поскольку использование BIM возможно на разных этапах строительного проекта всеми заинтересованными сторонами. В ходе опроса доля консультантов по проектированию составила 64 % (Вьетнамская строительная консалтинговая корпорация – СТСП, акционерное общество «Вьетнамская емкость» – VСС, Фотоэлектрическая инженерия, Полисиус АГ и др.), строительных подрядчиков – 38 % (Хоабинь, Кофико, Юниконы, Поско Э&К, Дельта, Винаконекс, Хандико и др.), консалтинг по управлению проектами составляет 27 % (например, Тернер и др.), 16 % принадлежит инвестору (в частности, ВинГрупп и др.), 32 % – консалтинг по надзору (Конинко и др.). Данные других опросов [8] в качестве объектов исследования выделяют государственные органы управления (Институт экономики строительства, Департамент управления качеством дорожного строительства, Департамент транспорта города Хошимина и др.) и учебные учреждения (Ханойский университет гражданского строительства, Архитектурный университет Дананга, Университет транспорта Хошимина и др.), их доля составляет около 12 %. Таким образом, установлено, что результаты обследования распределены равномерно между участниками строительного проекта, это подтверждает заинтересованность всех основных участников проекта в применении BIM.

Некоторые примеры применения BIM в строительстве во Вьетнаме

Типичным примером применения BIM в строительстве Вьетнама стал проект Landmark 81 (Ориентир 81). Это крупномасштабный объект высотой 1500 футов (примерно 461 м), являющийся рекордсменом по разным показателям, в котором залита самая большая на сегодняшний день партия бетона во Вьетнаме. Соответственно фундамент проекта был визуализирован в 3D для детального армирования плитного фундамента и оценки возникновения рисков между различными частями конструкции, такими как детали конструкции пересечения и последовательность установки между стальной колонной, пересекающейся с переносной балкой в системе оголовка колонн на 6-м этаже (это область сложных конструктивных систем), форма конструкции нетипичная, а наклонная, пересекающая железобетон с композитно связанной сталью. Предварительные детали системы охлаждения бетонного блока высотой 4 м также включены в 3D-схему для выявления рисков. Для изготовления стальных счетчиков использовались высокопрочные, устойчивые к давлению материалы. Только действительно сложные области могут быть преобразованы в 3D, такие как переносные балки, вертикальные сечения. Другие детали, например небольшие балки и простые перекрытия, требуют применения программного обеспечения САПР, которое рассчитывает массовую производительность после чертежа (рис. 5).

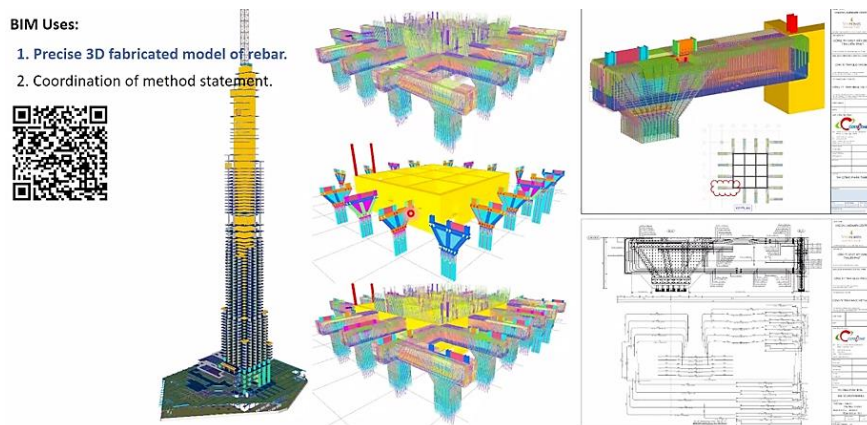


Рис. 5. Моделирование стальных конструкций в проекте Landmark 81 с использованием моделей BIM перед началом строительства [9]

Fig. 5. Modeling of steel structures in Landmark 81 Project using BIM models before construction [9]

В проекте моста Ту Тим 2 был применен ряд приложений BIM, таких как моделирование во взаимосвязи с другими дисциплинами, а также между основным и подъездным мостом для обращения к 2D-чертежам и сравнения объемов. В 2D-чертеже создается координационная модель, состоящая из объектов из разных инженерных дисциплин, чтобы вся необходимая информация была представлена через модель (рис. 6). В программном обеспечении для проектирования дорог компания использует Civil 3D для моделирования естественных поверхностей и проектирования трубопроводных систем. Для боковой структуры применяется программное обеспечение Credit. Общая модель проекта использует финское программное обеспечение.



Рис. 6. Проект моста Ту Тим 2, соединяющего Ту Тим и район 1 [10]

Fig. 6. Design of Tu Tim 2 bridge connecting Tu Tim and District 1

Однако высокий уровень применения BIM по-прежнему в основном приходится на проекты с привлечением частного капитала и капитала с иностранными элементами (около 70 %). Типы проектов с применением BIM пока не разнообразны. Как правило, гражданские проекты сфокусированы в основном на жилищных проектах, офисах, коммерческих центрах и промышленных проектах, применяемых к линиям электропередачи, трансформаторным подстанциям и гидроэлектростанциям (рис. 7, 8). Транспортные проекты в основном применимы к мостам и аэропортам.

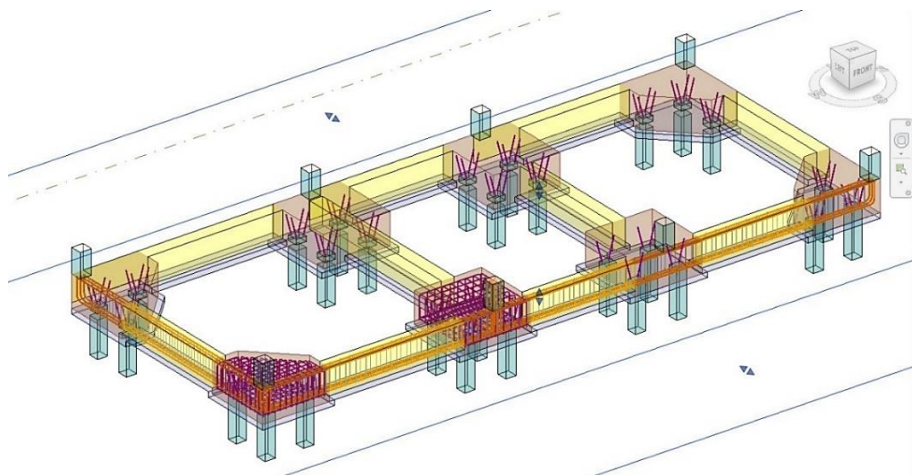


Рис. 7. Применение модели BIM для структурных расчетов гражданских зданий (выполнено авторами)

Fig. 7. Application of BIM model for structural analysis of civil buildings (compiled by the authors)



Рис. 8. 4D-модель возведения сборно-монокристаллического каркаса жилого здания [11]

Fig. 8. 4D model of prefabricated monolithic frame of a residential building

Что касается институциональной структуры, то в последнее время применение BIM только поощряется, поэтому многие инвесторы и лица, принимающие инвестиционные решения в проектах, использующих государственный инвестиционный капитал и государственный капитал в дополнение к государственным инвестициям, все еще сталкиваются с трудностями. Трудности и путаница возникают при принятии решения о применении BIM для организации реализации проекта. Консалтинговые организации также сталкиваются с трудностями при доступе и применении BIM в проектах, использующих государственный инвестиционный капитал и государственный капитал в дополнение к государственным инвестициям.

Обсуждение и заключение

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Тенденция применения информационного моделирования зданий (BIM) в сфере строительства становится все более популярной, способствуя повышению производительности, качества и конкурентоспособности многих предприятий, стремящихся осуществить качественный скачок в современной строительной отрасли – переход на новую фазу промышленной революции – «Индустрия 4.0».

2. Применение BIM дает многочисленные преимущества для устойчивого развития строительной отрасли и постепенно охватывает строительные проекты в различных сегментах рынка, поднимая новые вопросы о новых ориентирах развития и государственного управления строительной отраслью.

3. В настоящее время применение BIM в строительстве считается перспективным направлением, но, поскольку это новая технология, ее внедрение сопряжено с разнообразными трудностями и барьерами. Стандарты и правила во Вьетнаме необходимо корректировать с учетом каждого этапа. В процессе пилотирования BIM в ряде проектных подразделений Вьетнама для проектов, финансируемых государством, выявлены сложности с несоответствием стандартов и правил проектирования Вьетнама международным национальным стандартам. Внесение изменений и дополнений в правила и стандарты для приведения их в соответствие с международной практикой, применяемой в модели BIM, зависит от государственного органа управления, отвечающего за строительство.

Настоящее исследование дает общую оценку и дополняет информацию о текущем состоянии и тенденциях применения BIM в строительных инвестиционных проектах разных стран, уделяя особое внимание Вьетнаму. Таким образом, BIM все более широко внедряется в строительную отрасль, но наличие квалифицированных специалистов в сфере BIM по-прежнему остается актуальной проблемой.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гевара Рада Л.Т., Пешков В.В., Мартыанов В.И., Радионова Е.А., Бужеева Ф.Г., Сайбаталова Е.В. Технологии информационного моделирования (BIM) как основа бережливого строительства // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 70–81. URL: <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81>

2. Savina A.G., Malyavkina L.I., Savin D.A. Theoretical and methodological bases of building a digital infrastructure of BIM-based management of capital construction projects // *Russian Journal of Economics and Law*. 2023. V. 17. № 1. P. 90–109. URL: <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2023.1.90-109>
3. Загидуллина Г.М., Иванова Р.М., Новишванов М.Л. Анализ текущих проблем развития BIM-технологий на рынке капитального строительства // *Московский экономический журнал*. 2022. № 12. URL: <https://qje.su/ekonomicheskayateoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-12-2022-20>
4. Зиганшин А.М., Зиганшин М.Г. Информационное моделирование в системах отопления и вентиляции. Казань : Изд-во Казанск. гос. архитектур.-строит. ун-та, 2018. 255 с.
5. *Building Information Modeling (BIM)* // *Global Strategic Business Report*. 2023. URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4804704/building-information-modeling-bim-global> (дата обращения: сентябрь 2023).
6. *BIM-внедрение* (Techture ISO 9001:2015). URL: <https://www.techture.global/solutions/bim-implementation> (дата обращения: октябрь 2018).
7. *Решение № 258/QĐ-TTg Премьер-министра: Утверждение Дорожной карты по применению информационного моделирования зданий (BIM) в строительной деятельности*. 2023. URL: <https://tapchixaydung.vn/thuc-trang-va-xu-huong-ap-dung-bim-20201224000016997.html> (дата обращения: 17.03.2023).
8. *Текущий статус* применения информационной модели строительства. URL: <https://one-bimvn.com/tin-tuc/bim-tai-viet-nam> (дата обращения: май 2023).
9. *Применение BIM* в проекте Landmark 81. 2019. URL: <https://bim.gov.vn/tin-tuc/ap-dung-bim-tai-du-an-landmark-81> (дата обращения: 22.02.2019).
10. *Перспектива моста Ту Тим 2*, соединяющего Ту Тим и район 1. 2019. URL: <https://diaochongthai.com/phoi-can-hau-thu-thiem-2-noi-thu-thiem-va-quan-1/> (дата обращения: 07.02.2019).
11. Бовтеев С.В., Евстифеева Е.С. Применение 4D-моделей для визуализации возведения сборно-монолитного каркаса здания : материалы VI Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А.А. Семенова ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2023. С. 20–25.

REFERENCES

1. Guevara Rada L.T., Peshkov V.V., Martyanov V.I., Radionova E.A., Buzheeva F.G., Saibatalova E.V. Building information modeling as a basis for lean construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2022; 12 (1): 70–81. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-70-81> (In Russian)
2. Savina A.G., Malyavkina L.I., Savin D.A. Theoretical and methodological bases of building digital infrastructure of BIM-based management of capital construction projects. *Russian Journal of Economics and Law*. 2023; 17 (1): 90–109. <https://doi.org/10.21202/2782-2923.2023.1.90-109>
3. Zagidullina G.M., Ivanova R.M., Novshirvanov M.L. Analysis of current problems in the development of BIM technologies in the capital construction market. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal*. 2022; (12). <https://qje.su/ekonomicheskayateoriya/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-12-2022-20> (In Russian)
4. Ziganshin A.M., Ziganshin M.G. Information modeling in heating and ventilation systems. Kazan, 2018. 255 p. (In Russian)
5. *Building Information Modeling (BIM)*. *Global Strategic Business Report*. Available: www.researchandmarkets.com/reports/4804704/building-information-modeling-bim-global (accessed September, 2023).
6. *BIM implementation* (ISO 9001:2015). Available: www.techture.global/solutions/bim-implementation (accessed October, 2018).
7. *Decision No. 258/QĐ-TTg of the Prime Minister: Approval of the Roadmap for the use of building information modeling in construction activities*. Available: <https://tapchixaydung.vn/thuc-trang-va-xu-huong-ap-dung-bim-20201224000016997.html> (accessed March 17, 2023).

8. Current status of application of the construction information model. Available: <https://onebimvn.com/tin-tuc/bim-tai-viet-nam> (date of the application: May 2023).
9. Application of BIM in the Landmark 81 project. Available: <https://bim.gov.vn/tin-tuc/ap-dung-bim-tai-du-an-landmark-81> (accessed February 22, 2019).
10. Perspective of Tu Thim 2 Bridge connecting Tu Thim and District 1. Available: <https://diaochongthai.com/phoi-can-hau-thu-thiem-2-noi-thu-thiem-va-quan-1> (accessed February 07, 2019).
11. Bvteev S.V., Evstifeeva E.S. Application of 4D models for construction visualization of prefabricated monolithic building frame. In: *Proc. 6th Int. Sci. Conf. A.A. Semenov, Ed.*, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering: Saint-Petersburg, 2023. Pp. 20–25. (In Russian)

Сведения об авторах

Ле Чунг Хиеу, аспирант, Российский университет транспорта, 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, ORCID: 0000-0002-6346-8829, SPIN-код: 7248-5793, AuthorID: 1215684, letrunghieu531996@gmail.com

Нгуен Ван Дат, магистрант, Ханойский горно-геологический университет, г. Ханой, Вьетнам, 221810724@student.humg.edu.vn

Нго Суан Хунг, канд. техн. наук, преподаватель, Ханойский горно-геологический университет, г. Ханой, Вьетнам, ORCID: 0000-0003-2868-6342, ngoxuanhung@humg.edu.vn

Authors Details

Le Trung Hieu, Research Assistant, Russian University of Transport, 9, Obratsov Str., 127994, Moscow, Russia, letrunghieu531996@gmail.com

Nguyen Van Dat, Master's Student, Hanoi Mining and Geological University; Hanoi, Socialist Republic of Vietnam, 221810724@student.humg.edu.vn

Ngo Xuan Hung, PhD, Lecturer, Hanoi Mining and Geological University; Hanoi, Socialist Republic of Vietnam, ngoxuanhung@humg.edu.vn

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 16.10.2023
Одобрена после рецензирования 14.11.2023
Принята к публикации 16.01.2024

Submitted for publication 16.10.2023
Approved after review 14.11.2023
Accepted for publication 16.01.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 108–117.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 108–117.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 622.692.4: 539.43

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-108-117

EDN: NTQOUA

СТОХАСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Олег Александрович Курасов¹, Петр Владимирович Бурков^{1,2}

¹Национальный исследовательский

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

²Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия

Аннотация. Актуальность. Серьезность и важность вопроса обеспечения надежности сложных технических систем в области нефтегазотранспорта не вызывает сомнений.

С целью оценки риска и прогнозирования надежности сложных технических систем, в частности наземных газопроводов, которые подвержены внешней коррозии, в статье предлагаются два вероятностных метода, основанных на анализе структурной надежности.

Методы исследования. Описание рассматриваемых методологий реализуется двумя разными стратегиями проверки и технического обслуживания опасных производственных объектов.

Результаты. Предлагается модель структурной надежности, которая обеспечивает оценку вероятности разрыва металла от наружной коррозии на исследуемом участке трубы. Представленная последовательность анализа структурной надежности моделирует механический отказ исследуемого участка трубопровода, учитывая стохастические процессы, связанные с нагрузками и сопротивлением на исследуемом сегменте трубы.

Неоднородный пуассоновский процесс применяется для моделирования образования новых дефектов, а распределение Пуассона используется для моделирования роста дефектов. Первая методика посвящена анализу внешней коррозии газопроводов с потерей металла и содержит оценки вероятности разрыва на эталонном участке трубы, который был построен на основе средних характеристик разрывов труб из базы данных PHMSA. Вторая вероятностная модель позволяет прогнозировать надежность для неочищаемых участков, подверженных внешней коррозии с потерей металла.

Ключевые слова: трубопровод, техническое обслуживание, целостность, газопровод, коррозия

Для цитирования: Курасов О.А., Бурков П.В. Стохастический анализ структурной надежности сложных технических систем // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 108–117. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-108-117. EDN: NTQOUA

ORIGINAL ARTICLE

STOCHASTIC ANALYSIS OF STRUCTURAL RELIABILITY OF COMPLEX ENGINEERING SYSTEMS

Oleg A. Kurasov¹, Petr V. Burkov^{1,2}

¹National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

²Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Purpose: The assessment of risks and prediction of reliability of complex engineering systems, in particular onshore gas pipelines subjected to external corrosion. Two methods are proposed using the structural reliability analysis.

Methodology: Two strategies are considered for inspection and maintenance service of hazardous production facilities.

Research findings: The model of structural reliability is proposed to estimate the metal rupture from external corrosion of the pipe section. Models are presented for its mechanical failure with respect to stochastic processes of loads and resistance.

Value: The inhomogeneous Poisson point process is used to simulate the formation of new defects, and the Poisson distribution is used to simulate their growth. The first method focuses on the analysis of external corrosion of gas pipelines with metal loss and predicts rupture at a reference pipe segment, constructed with respect to average pipe rupture characteristics from the PHMSA database. The second model predicts reliability for untreated sections subject to external corrosion with metal loss.

Keywords: pipeline, maintenance service, consistence, gas pipeline, corrosion

For citation: Kurasov O.A., Burkov P.V. Stochastic analysis of structural reliability of complex engineering systems. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 108–117. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-108-117. EDN: NTQOUA

Введение

Многие литературные обзоры были сосредоточены на различных аспектах обеспечения надежности и управления целостностью, методах обнаружения неисправностей [1], причинах отказа трубопроводов в агрессивных средах [2], неразрушающем контроле [3], внутритрубной диагностике и применении данных внутритрубной диагностики для управления целостностью [4], оценке структурной целостности и давления разрыва трубопровода [5] и моделей прогнозирования отказов [6].

В настоящей статье предпринимаются попытки рассмотрения подходов, основанных на оценке риска, в контексте управления целостностью трубопровода и обеспечения надежности, а также концепций гарантии устойчивости применительно к обеспечению надежности сложных технических систем (СТС).

В моделях надежности главным является применение вероятностных подходов для анализа неопределенностей, связанных с прогностическим моделированием. Различным аспектом моделей надежности являются модели деградации и подход к оценке целостности. Модели предиктивной аналитики для оценки надежности являются стохастическими и основаны на статистических подходах к выводу о будущем функционировании объекта на основе исторических и текущих данных.

Из-за серьезности и важности СТС в области нефтегазотранспорта было проведено несколько видов исследований для оценки их рисков. Количественная оценка риска нефте- и газопроводов является сложной задачей. Это связано с тем, что нефтегазораспределительные системы состоят из многих километров труб с разным сроком службы, изготовленных из разных материалов. Кроме того, условия окружающей среды и эксплуатационные условия крайне неопределенны и стохастичны как во времени, так и в пространстве. Доступность данных о состоянии трубопровода иногда ограничена, особенно для подземного трубопровода. Фактически исторические записи о некоторых сценариях риска, таких как чрезвычайно опасные события, часто недостаточны и неполны. Кроме того, некоторые механизмы сбоев мало изучены из-за задержки во времени между сбоем и моментом обнаружения последствий. Эти обстоятельства, в свою очередь, могут вызвать трудности с разработкой надлежащих функций распределения вероятностей.

В статье предлагаются две вероятностные методологии для продления срока службы наземных газопроводов, подверженных наружной коррозии с потерей металла, основанные на стохастической вероятностной оценке надежности и долговечности, в рамках анализа структурной надежности (АСН).

Применение предлагаемых методологий реализуется на двух разных стратегиях проверки и технического обслуживания (ТО) опасных производственных объектов трубопроводного транспорта углеводородов. Предлагается модель структурной надежности, которая обеспечивает оценку вероятности разрыва металла из-за наружной коррозии на исследуемом участке трубы. Характеристики участка получены из открытых данных об отказах из базы данных Управления по безопасности трубопроводов и опасным материалам (PHMSA). В частности, используются описанные случаи разрыва трубопроводов из-за наружной коррозии с потерей металла за период 2002–2020 гг. Исследуемый участок трубопровода анализируется на основе этих характеристик.

Предлагаемая последовательность АСН моделирует механический отказ данного участка трубопровода, принимая во внимание стохастические процессы, связанные с нагрузками и сопротивлениями на исследуемом сегменте трубы. Неоднородный пуассоновский процесс используется для моделирования образования новых дефектов, а распределение Пуассона – для моделирования роста дефектов. Нагрузка внутреннего давления описывается как дискретный стохастический процесс Ферри-Боржеса. Исследуемая СТС проверяется с помощью программы технического обслуживания и ремонта (ТОиР), основанной на стандарте ASME B31.8S для методов внутритрубной диагностики (ВТД) на срок службы 100 лет. В модель также включена реалистичная характеристика вероятности обнаружения и ошибки измерения, связанная с данными ВТД.

Также рассматривается стратегия ТО, а именно прямая оценка внешней коррозии (ПОВК). В этом случае так называемый не подвергаемый очистке, или неочищаемый (т. е. в случаях, когда не могут быть использованы внутритрубные очистные скребки), корродирующий участок береговой системы газопровода исследуется на предмет наружной коррозии с потерей металла. Применяется эвристический метод, а именно сплит-системный подход [7],

который позволяет связать АСН с долгосрочным планово-предупредительным ТО с целью мониторинга в режиме реального времени информации о техническом состоянии исследуемого участка трубопровода с использованием последних доступных данных. Развитие коррозионных процессов оценивают по количеству дефектов на исследуемом отрезке трубы. Неоднородный пуассоновский процесс (НПП) используется для моделирования неопределенностей и появления дефектов, а эмпирическая модель степенного закона принимается для оценки роста дефектов во времени. Оценка и прогнозирование надежности исследуемого участка осуществляется по предельному состоянию на разрыв внутренним давлением, включая неопределенности с помощью распределения Пуассона.

Постановка задачи, методы исследования

Образование новых дефектов на исследуемом участке характеризуется с помощью НПП [8, 9]. Предполагается, что время возникновения дефектов неравномерно. Для подземных трубопроводов применима модель, которая основана на фактических данных о возникновении коррозионных дефектов, учитывающая время начала t_{i0} роста n коррозионных дефектов и некоторые свойства системы «почва – трубопровод».

$$d_i(t) = k_{Ai} (t - t_{i0})^{ai}. \quad (1)$$

Модель роста дефектов по уравнению (1) представляет собой стохастический процесс, т. к. является функцией двух случайных величин. Параметры k_A и a являются случайными величинами, которые могут быть оценены по свойствам почвы [10]. Коэффициенты пропорциональности k_{Ai} из уравнения (1) характеризуются распределением Пуассона. Эта модель является одной из наиболее правдоподобных и может обеспечить реалистичные значения глубины коррозионных дефектов, а также может быть легко откалибрована по фактическим данным о величине коррозионных процессов или обновлена с помощью байесовского вывода.

Альтернативным методом моделирования роста коррозии с потерей металла СТС является использование стохастического процесса, который учитывает временную неопределенность роста дефектов во времени. В этом случае используется распределение Пуассона, где выборочные варианты коррозионного разрушения металла трубы непрерывны во времени, а значит, и рост дефектов, что в целом является реалистичным учетом развития коррозии с потерей металла [11].

Предполагается, что дефект определенной длины появляется на трубе в момент времени начала развития дефекта t_{i0} в виде пятна с длиной и шириной по причине повреждения защитного покрытия трубопровода. Предполагается, что различные длины дефектов остаются неизменными с течением времени и подчиняются предопределенному распределению вероятности.

На практике внутреннее давление в трубопроводе со временем колеблется случайным образом из-за изменения условий эксплуатации. Поэтому предполагается, что внутреннее давление представляет собой стохастическую модель нагрузки, основанную на процессе, изменяющемся во времени. Вме-

сто этого следует рассмотреть случайные периодические колебания давления в трубопроводе в виде непрерывного процесса. Таким образом, сочетание случайных периодических экстремумов с ухудшением сопротивления из-за коррозии можно считать здесь приемлемым, учитывая, что развитие коррозионных процессов осуществляется постепенно. Поэтому в данном случае рассмотрены дискретный стохастический процесс Ферри-Боржеса [12] и распределение Пуассона [13]. Отличие распределения Пуассона для внутреннего давления от моделирования роста коррозионных дефектов СТС заключается в том, что здесь отсутствует необходимость в положительном распределении случайной величины для амплитуд импульсов. Для внутреннего давления $P_{\text{сop}}$ величины различных импульсов P_A являются независимыми и одинаково распределенными случайными величинами, характеризуемыми плотностью распределения вероятностей $f_{PA}(P_A)$. Предполагается, что величина P_A в данный момент времени соответствует распределению Гумбеля с параметрами распределения a_{PA} и μ_{PA} , т. е.

$$f_P(P_A | a_{PA}, \mu_{PA}) = a_{PA} \exp(-a_{PA}(P_A - \mu_{PA})) \exp(-\exp(-a_{PA}(P_A - \mu_{PA}))). \quad (2)$$

Газопровод, подверженный коррозии и содержащий многочисленные дефекты, может выйти из эксплуатации по нескольким причинам. Малая течь является следствием дефекта в стенке. Большая утечка и разрыв отличаются только наличием или отсутствием сквозного дефекта в стенке трубы, возникающего в результате пластического разрушения внутренним давлением на дефект. Оценки надежности в таком случае проводятся с использованием модели коррозионного разрушения трубопроводов для расчета давления разрыва.

Число разрывов, деленное на общее число N_{stp} шагов Монте-Карло, составляет оценку вероятности разрыва трубы $Pr(F_{3i})$. Для каждого из s дефектов этот метод повторяется N_{stp} раз. Таким образом, всего процесс повторяется $s \cdot N_{\text{stp}}$ раз. Он также повторяется еще несколько раз в течение определенного промежутка времени. В результате оценивается вероятность разрыва для каждого из коррозионных участков трубопровода в каждый момент времени t . С учетом определения надежности [14]

$$R_{3i} = 1 - Pr(F_{3i}). \quad (3)$$

В случае, если коррозионные дефекты независимы, можно получить верхнюю границу вероятности разрыва сегмента трубы:

$$Pr(F_3) = 1 - \prod_i [1 - Pr(F_{3i})] \quad (4)$$

или эквивалентно надежности исследуемого участка трубы от разрыва:

$$R_3 = 1 - Pr(F_3). \quad (5)$$

ВТД реализуется на исследуемом участке трубы на основе стандарта ASME B31.8S в течение рассматриваемого срока службы. Считается, что в течение данного срока службы на сегментах труб СТС проводятся различные инспекции и ТО, поэтому их общая надежность постоянно поддерживается в определенном приемлемом диапазоне. Этот диапазон варьируется в зависимости от принятия решений операторами и индивидуальных планов ТО.

Ремонтные работы на извлеченном из траншеи участке трубы включают полное удаление существующего защитного покрытия, после чего наносится изоляционное покрытие или покрытие с кожухом, в зависимости от величины дефектов. Независимо от конкретных мероприятий, участок трубы считается полностью восстановленным до исходного состояния. Кожух обеспечивает, по крайней мере, сопротивление росту коррозии, в то время как повторное изоляционное покрытие устраняет существующие дефекты.

В качестве неопределенности инструментов ВТД рассматривается способность инспекционного оборудования определять местонахождение и размер фактического дефекта, связанного с потерей металла. Вероятность обнаружения дефекта с помощью ВТД обычно зависит от размера дефекта и присутствующих инструменту возможностей. Вероятность обнаружения дефекта имеет следующую экспоненциальную форму:

$$PoD = 1 - e^{-qdi}, \quad (6)$$

где q – константа, определяющая способность инструмента обнаруживать дефекты. Измеренные глубины и длины (y_i и L_{Mi}) оцениваются [15] как

$$y_i = c_1 + c_2 d_i + \varepsilon_i; \quad (7)$$

$$L_{Mi} = c_{l1} + c_{l2} L_i + \varepsilon_{li}, \quad (8)$$

где c_1 (c_{l1}) и c_2 (c_{l2}) – смещения инструмента ВТД, которые считаются детерминированными величинами, а ε и ε_l – дисперсия случайной ошибки, соответствующая измеренным глубинам и длинам дефектов.

Надежность участка трубы, полученная из уравнения (5), будет уменьшаться во времени по причине износа трубопровода. Таким образом, его можно описать следующим образом [16, 17]:

$$R_{sc}(t_{yA}) = R_3(t_{yA} - T_{vA}) \quad T_{vA} \leq t_{yA} < T_{vA+1} \quad (9)$$

при условии, что участок трубопровода не выходит из эксплуатации до времени T каждого ремонта.

Общая надежность участка трубы эквивалентна вероятности безотказной работы до времени T_m регулярного ТО и формулируется как

$$R_s(t_{yA}) = R_3(t_{yA} - v_A \cdot T_{vA}) R_3(T_m)^{y_A}; \quad (10)$$

$$y_A \cdot T_m \leq t_{yA} < (y_A + 1) T_m.$$

Вышеизложенное подразумевает, что общая надежность (вероятность безотказной работы) R_s не может увеличиваться в течение всего срока службы, в отличие от условной надежности R_{sc} , которая известна как готовность.

Обсуждение результатов исследования

Описанная методология прогнозирования надежности для конкретного сегмента трубопровода дополнительно включается в методологию, которая оценивает общую надежность СТС, состоящей из нескольких сегментов. Реализация возможна на основе сплит-системного подхода, который моделирует надежность системы совместно с мероприятиями по планово-предупредительным работам на каждом сегменте и позволяет точно рассчитать изменения

надежности из-за некачественного ремонта. Этот метод напрямую связывает модель АСН с долгосрочными планово-предупредительными работами, что позволяет вести мониторинг технического состояния трубопроводной системы на основе данных о ТО.

Как правило, анализ изменения надежности осуществляется с использованием теоремы Байеса. В данном случае рассматривается только первоначальный план управления ТО до момента, когда фактически будут выполнены какие-либо действия по ТОиР. Таким образом, информация, полученная в результате ТОиР, не известна заранее, и анализ изменения надежности проводится с помощью прямой оценки внешней коррозии.

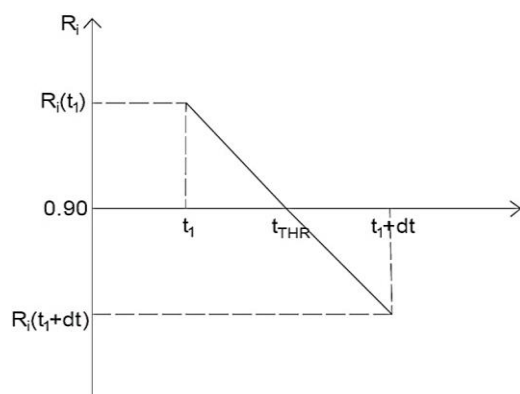
Стратегия ТО, ориентированного на надежность, является устаревшей, и всякий раз, когда надежность системы падает до заранее определенного уровня, конкретный сегмент трубы необходимо будет извлечь и проанализировать. Выбор подходящего сегмента трубы для ремонта может основываться на соответствующих данных технического осмотра или экспертном заключении.

После подъема трубопровода в траншее и его обследования проводятся ремонтные работы в соответствии с выбранной стратегией ТО, которые включают полную очистку трубопровода от старого изоляционного покрытия. В зависимости от степени износа на сегмент может быть нанесено повторное покрытие или покрытие с защитным кожухом. Первое предотвращает рост всех существующих дефектов на участке трубы, в то время как защитный кожух покрывает сегмент, содержащий критические дефекты, величина которых может быть охарактеризована экспертной оценкой. Отремонтированный сегмент трубы считается полностью восстановленным до начального состояния, т. к. защитный кожух, по крайней мере, имеет такую же способность сопротивления развитию коррозионных процессов, как и новый сегмент трубы, в то время как повторное покрытие снижает рост существующих дефектов.

На практике обычно применяется календарное техническое и инспекционное обслуживание, когда речь идет о линейных объектах, таких как трубопроводные системы. Однако ТО также широко применимо и может быть использовано в качестве дополнительной стратегии. В первом случае – ремонт отдельных участков трубопроводной системы при падении уровня надежности до заранее определенного предела. Вероятность безотказной работы трубопроводной системы при условии, что ее сегменты успешно прошли профилактическое обслуживание, называется условной вероятностью. С другой стороны, вероятность безотказной работы системы, учитывающая вероятности безотказной работы отдельных сегментов до запланированного времени ТО, именуется общей надежностью системы. Условная надежность более полезна для определения динамических интервалов ТО, т. к. описывает изменения надежности между ТО, в то время как общая надежность показывает изменения за весь срок эксплуатации СТС, который обычно охватывает большое количество интервалов ТО.

Оценка функции надежности отдельного участка трубы проводится методом Монте-Карло. Каждый образец определяется одной реализацией каждой случайной величины в начальный момент, а затем в следующих дискретных точках dt по мере развития коррозионных процессов до окончания рассматриваемого срока эксплуатации. После выполнения вычислений в dt

можно использовать линейные приближения для соединения временных интервалов между значениями надежности дискретных моментов времени. Этого можно достичь в случае, если учесть, что среди значений дискретных моментов времени надежность уменьшается линейно. На рисунке схематически представлено линейное приближение.



Линейное приближение для определения точного времени падения уровня надежности до 0,9
Linear approximation to detect exact time for reliability level decrease to 0.9

Заключение

В работе предложены две вероятностные методики, основанные на интеграции стохастических процессов в рамках анализа структурной надежности. Они были основаны на планах ТО и касались СТС, в частности газопроводов, подверженных внешней коррозии с потерей металла. Первая методика посвящена анализу внешней коррозии газопроводов с потерей металла и содержит оценки вероятности разрыва на эталонном участке трубы, который был построен на основе средних значений разрывов труб из базы данных PHMSA за период 2002–2020 гг.

Можно сделать вывод, что модель дает дополнительные сведения о состоянии наземной газотранспортной сети в 2002–2020 гг. – периоде, достаточно репрезентативном для современных стратегий эксплуатации и восстановления СТС в нефтегазовой отрасли, что повышает значимость полученных результатов для анализа надежности существующих или перспективных газотранспортных систем.

Вторая модель позволяет точно прогнозировать надежность для неподвергаемых очистке трубопроводов, подверженных внешней коррозии с потерей металла.

Предполагалось, что СТС не будет достаточно качественно отремонтирована при каждом последующем ТО ввиду человеческого фактора и финансовых ограничений. Сплит-системный подход позволяет количественно оценить изменения в надежности, вызванные несовершенством мероприятий ТОиР. Каждый конкретный тип стратегии ТО может быть полезен при принятии решений по прогнозированию надежности СТС как в качестве реалистичной стратегии ПОВК, так и для сравнения с другими стратегиями, основанными на ВТД.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Datta S., Sarkar S. A review on different pipeline fault detection methods // *Journal of loss prevention in the process industries*. 2016. V. 41. P. 97–106.
2. Ossai C.I., Boswell B., Davies I.J. Pipeline failures in corrosive environments – A conceptual analysis of trends and effects // *Engineering failure analysis*. 2015. V. 53. P. 36–58.
3. Coramik M., Ege Y. Discontinuity inspection in pipelines: A comparison review // *Measurement*. 2017. V. 111. P. 359–373.
4. Mingjiang X., Zhigang T. A review on pipeline integrity management utilizing in-line inspection data // *Engineering failure analysis*. 2018. V. 92. № 10. P. 222–239.
5. Amaya-Gómez R. et al. Reliability assessments of corroded pipelines based on internal pressure—A review // *Engineering Failure Analysis*. 2019. V. 98. P. 190–214.
6. Zakikhani K., Nasiri F., Zayed T. A review of failure prediction models for oil and gas pipelines. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*. 2020. V. 11. № 1. P. 03119001.
7. Sun Y., Ma L., Morris J. A practical approach for reliability prediction of pipeline systems // *European Journal of Operational Research*. 2009. V. 198. № 1. P. 210–214.
8. Shafiee M., Finkelstein M. An optimal age-based group maintenance policy for multi-unit degrading systems // *Reliability Engineering & System Safety*. 2015. V. 134. P. 230–238.
9. Zhang S., Zhou W. Cost-based optimal maintenance decisions for corroding natural gas pipelines based on stochastic degradation models // *Engineering Structures*. 2014. V. 74. P. 74–85.
10. Gomes W.J.S., Beck A.T., Haukaas T. Optimal inspection planning for onshore pipelines subject to external corrosion // *Reliability Engineering & System Safety*. 2013. V. 118. P. 18–27.
11. Bazán F.A.V., Beck A.T. Stochastic process corrosion growth models for pipeline reliability // *Corrosion Science*. 2013. V. 74. P. 50–58.
12. Zhou W. System reliability of corroding pipelines // *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2010. V. 87. № 10. P. 587–595. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2010.07.011>
13. Zhang S., Zhou W. System reliability of corroding pipelines considering stochastic process-based models for defect growth and internal pressure // *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2013. V. 111. P. 120–130.
14. Melchers R. *Structural Reliability Analysis and Prediction*. 2nd Edition. Wiley, 2004.
15. Stephens M., Nessim M. A comprehensive approach to corrosion management based on structural reliability methods // *International Pipeline Conference*. American Society of Mechanical Engineers, 2006. P. 695–704.
16. Barone G., Frangopol D.M. Reliability, risk and lifetime distributions as performance indicators for life-cycle maintenance of deteriorating structures // *Reliability Engineering & System Safety*. 2014. V. 123. P. 21–37.
17. Popov G., Bolobov V., Zhuikov I., Zlotin V. Development of the Kinetic Equation of the Groove Corrosion Process for Predicting the Residual Life of Oil-Field Pipelines // *Energies*. 2023. V. 16. № 20. P. 7067.

REFERENCES

1. Datta S., Sarkar S. A review on different pipeline fault detection methods. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2016; 41: 97–106.
2. Ossai C.I., Boswell B., Davies I.J. Pipeline failures in corrosive environments. A conceptual analysis of trends and effects. *Engineering Failure Analysis*. 2015; 53: 36–58.
3. Coramik M., Ege Y. Discontinuity inspection in pipelines: A comparison review. *Measurement*. 2017; 111: 359–373.
4. Mingjiang X., Zhigang T. A review on pipeline integrity management utilizing in-line inspection data. *Engineering Failure Analysis*. 2018; 92 (10): 222–239.
5. Amaya-Gómez R., et al. Reliability assessments of corroded pipelines based on internal pressure – A review. *Engineering Failure Analysis*. 2019; 98: 190–214.
6. Zakikhani K., Nasiri F., Zayed T. A review of failure prediction models for oil and gas pipelines. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*. 2020; 11 (1): 03119001.
7. Sun Y., Ma L., Morris J. A practical approach for reliability prediction of pipeline systems. *European Journal of Operational Research*. 2009; 198 (1): 210–214.

8. Shafiee M., Finkelstein M. An optimal age-based group maintenance policy for multi-unit degrading systems. *Reliability Engineering & System Safety*. 2015; 134: 230–238.
9. Zhang S., Zhou W. Cost-based optimal maintenance decisions for corroding natural gas pipelines based on stochastic degradation models. *Engineering Structures*. 2014; 74: 74–85.
10. Gomes W.J.S., Beck A.T., Haukaas T. Optimal inspection planning for onshore pipelines subject to external corrosion. *Reliability Engineering & System Safety*. 2013; 118: 18–27.
11. Bazán F.A.V., Beck A.T. Stochastic process corrosion growth models for pipeline reliability. *Corrosion Science*. 2013; 74: 50–58.
12. Zhou W. System reliability of corroding pipelines. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2010; 87(10). 587–595. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2010.07.011>
13. Zhang S., Zhou W. System reliability of corroding pipelines considering stochastic process-based models for defect growth and internal pressure. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2013; 111: 120–130.
14. Melchers R. *Structural Reliability Analysis and Prediction*, 2nd ed., Wiley, 2004.
15. Stephens M., Nessim M. A comprehensive approach to corrosion management based on structural reliability methods. In: *Proc. Int. Pipeline Conference*. American Society of Mechanical Engineers, 2006; 695–704.
16. Barone G., Frangopol D.M. Reliability, risk and lifetime distributions as performance indicators for life-cycle maintenance of deteriorating structures. *Reliability Engineering & System Safety*. 2014; 123: 21–37.
17. Popov G., Bolobov V., Zhuikov I., Zlotin V. Development of the kinetic equation of the groove corrosion process for predicting the residual life of oil-field pipelines. *Energies*. 2023;16 (20): 7067.

Сведения об авторах

Курасов Олег Александрович, аспирант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, oak18@tpu.ru

Бурков Петр Владимирович, докт. техн. наук, ст. научный сотрудник, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2; профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, burkovpv@mail.ru

Author Details

Oleg A. Kurasov, Research Assistant, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, oak18@tpu.ru

Petr V. Burkov, DSc, Senior Scientist, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, burkovpv@tpu.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 02.11.2023
Одобрена после рецензирования 21.11.2023
Принята к публикации 16.01.2024

Submitted for publication 02.11.2023
Approved after review 21.11.2023
Accepted for publication 16.01.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 118–126.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 118–126.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 693.22:624.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-118-126

EDN: OKFRNK

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КАРКАСА ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ ИЗ ТРУБЧАТЫХ ФЕРМ И РЕШЕТЧАТЫХ ПРОГОНОВ ПОКРЫТИЯ С УЧЕТОМ НЕСОВЕРШЕНСТВ

Иван Иванович Подшивалов

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. Актуальность работы заключается в том, что при реконструкции металлического каркаса промышленного здания возникла необходимость в оценке влияния несовершенств в виде неравномерных геометрических отклонений от вертикального положения решетчатых прогонов покрытия на их напряженно-деформированное состояние и в проверке условий выполнения первого и второго предельных состояний.

Цель работы состоит в расчетном обосновании допустимого значения горизонтального отклонения из плоскости решетчатых прогонов покрытия.

Методы. Расчетное обоснование возможности использования решетчатых прогонов покрытия с учетом установленных геометрических несовершенств при реконструкции промышленного здания выполнено моделированием напряженно-деформированного состояния металлического каркаса в программном комплексе Ing+2021 MicroFe с разработкой расчетной конечно-элементной пространственной модели.

Результаты. Расчетным путем обосновано предельное значение геометрического отклонения из плоскости решетчатых прогонов покрытия, при котором не требуется их возвращения в вертикальное положение или замена.

Ключевые слова: металлический каркас, трубчатые фермы, решетчатые прогоны покрытия, геометрические несовершенства

Для цитирования: Подшивалов И.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния металлического каркаса промышленного здания из трубчатых ферм и решетчатых прогонов покрытия с учетом несовершенств // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 118–126. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-118-126. EDN: OKFRNK

ORIGINAL ARTICLE

STRESS-STRAIN STATE MODEL OF BUILDING METAL FRAME MADE OF TUBE TRUSSES AND BAR JOISTS WITH REGARD TO GEOMETRICAL IMPERFECTIONS

Ivan I. Podshivalov

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The paper studies the metal frame industrial building during the reconstruction of its bar joists having imperfections in the form of non-uniform geometric deviations from the vertical position.

Purpose: The aim of this work is to calculate the allowable value of horizontal deviation of bar joists from the vertical position.

Methodology: The computational justification of using roof bar joists with regard to geometric imperfections in the reconstruction of the industrial building, is provided by modeling the stress-strain state of the metal frame in Ing + 2021, MicroFe software using the finite element model.

Research findings: The limiting value of the geometric deviation from the bar joist plane, at which their vertical position or replacement is not required, is justified by calculation.

Keywords: metal frame, tubular truss, bar joist, geometrical imperfections

For citation: Podshivalov I.I. Stress-strain state model of building metal frame made of tube trusses and bar joists with regard to geometrical imperfections. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 118–126. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-118-126. EDN: OKFRNK

Анализ напряженно-деформированного состояния металлических каркасов промышленных зданий при выполнении их реконструкции обусловлен необходимостью оценки несущей способности конструкций с учетом фактического их состояния и соответствия современным нормам проектирования [1, 2].

Реконструкция промышленных предприятий, как правило, связана с изменением эксплуатационных нагрузок на существующие конструкции и с необходимостью оценки их технического состояния [3]. Отказы отдельных элементов или всего здания обусловлены, как правило, ошибками при проектировании и дефектами при изготовлении и монтаже конструкций [4, 5].

Анализ надежности несущих металлоконструкций покрытий показывает, что минимизация ущерба возможна путем регулирования взаимодействия несущих элементов покрытия между собой. Например, для стропильных ферм достаточно реализовать конструктивные мероприятия применительно к связевым элементам покрытий [6, 7].

Как известно, основной задачей связей в покрытиях каркасных зданий является восприятие и передача горизонтальных нагрузок, а также обеспечение требуемого закрепления поясов ферм из плоскости. Горизонтальные связи по верхним поясам ферм необходимы для предотвращения смещения сжатого верхнего пояса из плоскости и обеспечения его требуемой расчетной длины [8]. От этих связей можно отказаться, если применить жесткий диск покрытия из профилированного настила, закрепленного к прогонам в каждой гофре [9].

Учет несовершенств реальных конструкций, имеющих, как правило, технологическую природу (неточности изготовления и монтажа), имеет большое практическое значение. В настоящее время учет несовершенств выполняется путем придания некоторого искривления всем элементам в расчетной стержневой системе, после чего выполняется ее расчет по деформированной схеме [10].

Значительный практический интерес представляет расчет несущей способности большепролетных ферм покрытия, у которых в процессе эксплуатации из-за скрытых дефектов, ошибок проектирования, изготовления, монтажа, эксплуатации возможно повреждение отдельных конструкций, в том числе выход из строя некоторых стержней. В работе [11] представлена методика расчета покрытия с поврежденными стальными стержневыми элементами.

В рассматриваемой статье объектом исследования является покрытие металлического каркаса промышленного здания, находящегося в стадии реконструкции. Размеры здания в плане – 60×168 м, номинальная высота до низа конструкций покрытия – 10,8 м (рис. 1). Каркас здания выполнен по рамно-связевой схеме. Продольная устойчивость каркаса обеспечивается вертикальными связями по колоннам, а поперечная устойчивость – за счет статической работы двух пролетных рам. Пролет рам – 30 м, высота рам – 10,8 м. Сопряжение с фундаментом стоек рам, выполненных из прокатного широкополочного двутавра I70Ш4, жесткое. Покрытие промышленного здания образовано стальными бесфасоночными фермами с параллельными поясами пролетом 30 м, высотой 2,9 м. Шаг ферм в продольном направлении здания – 12 м. Пояса и элементы решетки ферм выполнены из труб. Уклон двухскатной крыши в 10° обеспечивается установкой стоек разной высоты в узлах верхних поясов ферм.

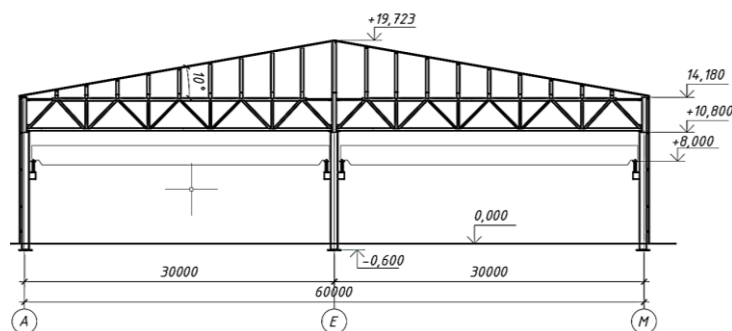


Рис. 1. Схема поперечного разреза
Fig. 1. Schematic view of cross-section

В покрытии стальные решетчатые прогоны пролетом 12 м представляют собой плоские трехпанельные треугольные фермы высотой 1,5 м (рис. 2). Верхний пояс прогонов состоит из двух спаренных швеллеров U14, а решетка – из одиночных холодногнутых швеллеров Гн160×60(70)×5. На прогоны уложен профилированный лист Н60-782-1,0, который «развязывает» верхний пояс прогонов из плоскости по всей его длине. В расчетной схеме прогоны приняты как разрезные свободно опертые конструкции. Сопряжение решетки с верхним поясом прогонов жесткое.

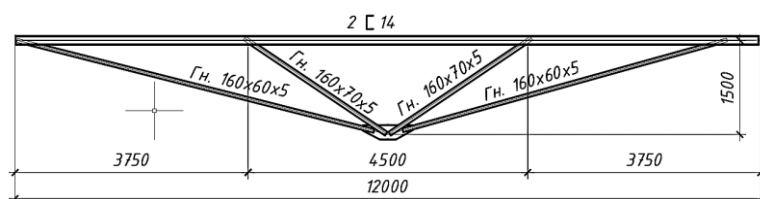


Рис. 2. Решетчатый прогон покрытия

Fig. 2. Schematic of bar joists

При обследовании металлического каркаса были зафиксированы геометрические несовершенства отдельных решетчатых прогонов, которые заключались в их наклонном положении из плоскости за счет горизонтального смещения нижнего узла решетчатых прогонов относительно его верхнего пояса. Эти горизонтальные смещения оказались разными, наибольшее значение составило 11,2 см. В связи с этим была поставлена задача по оценке влияния установленных геометрических несовершенств отдельных решетчатых прогонов на их напряженно-деформированное состояние в составе пространственной системы покрытия металлического каркаса производственного здания в стадии реконструкции.

В программном комплексе Ing+2021 MicroFe с использованием стержневых конечных элементов была разработана конечно-элементная модель металлического каркаса промышленного здания (рис. 3).

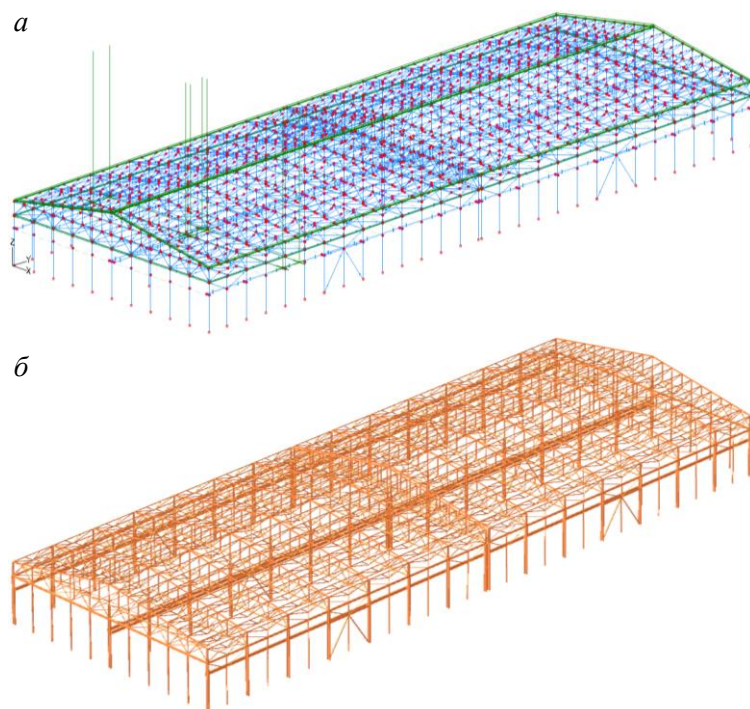


Рис. 3. Расчетная конечно-элементная модель (а) и ее визуализация (б)

Fig. 3. FEM (a) and model visualization (b)

В расчетной модели были рассмотрены две расчетные схемы:

– расчетная схема № 1 – вертикальное положение решетчатых прогонов покрытия;

– расчетная схема № 2 – наклонное положение из плоскости решетчатых прогонов покрытия за счет горизонтального смещения нижнего узла прогонов относительно его верхнего пояса. Здесь величина горизонтального смещения принята равной $\delta_{см} = 11,5$ см. В программе наклонное положение из плоскости прогонов задается в опции несовершенства через эксцентриситеты.

Расчетная схема № 1. В условиях плоского изгиба эпюра изгибающих моментов и значения вертикальных перемещений решетчатого прогона приведены на рис. 4. Наибольшие пролетный и опорный изгибающие моменты равны: $M_{пр} = 14,6$ кНм и $M_{оп} = -18,4$ кНм соответственно. Прогиб верхнего пояса решетчатого прогона составил $f = 22,6$ мм, что меньше предельного значения $[f] = (1/200)L = (1/200) \times 12000 = 60$ мм.

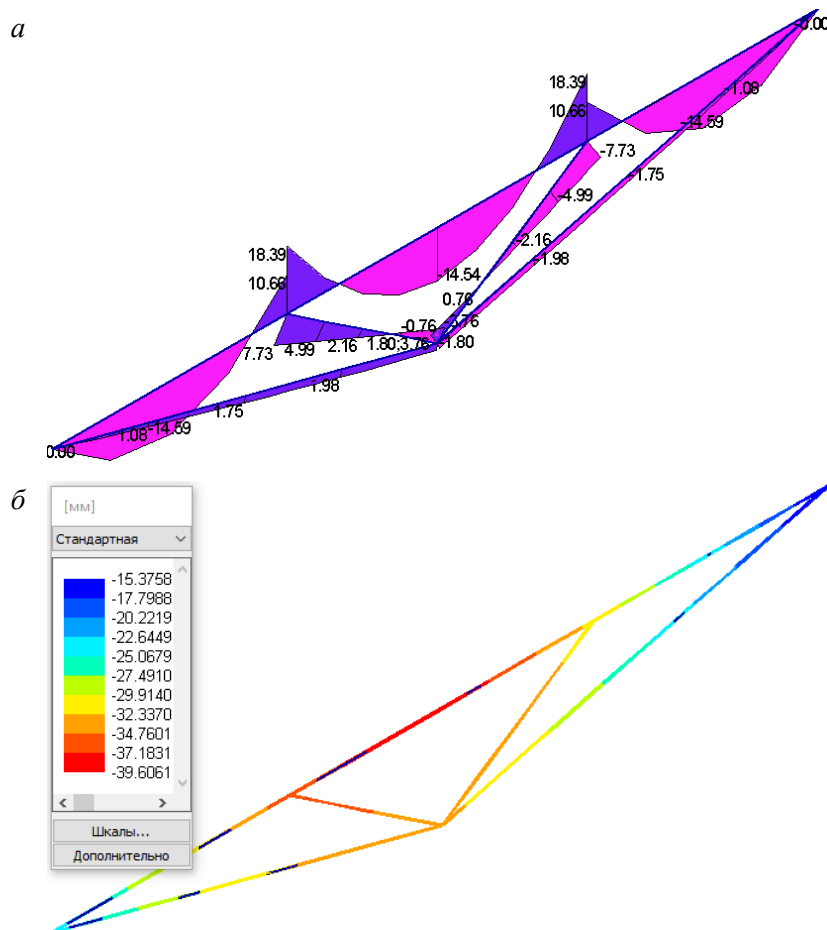


Рис. 4. Решетчатый прогон расчетной модели по схеме № 1:

a – эпюра изгибающих моментов; *б* – изополя вертикальных перемещений

Fig. 4. Model 1 of bar joists:

a – bending-moment curve; *b* – isofields of vertical displacement

Расчетная схема № 2. Эпюра изгибающих моментов и значения вертикальных перемещений при косом изгибе решетчатого прогона даны на рис. 5. По сравнению с расчетной схемой № 1 в верхнем поясе решетчатого прогона пролетный изгибающий момент увеличился на 33 %, а опорный изгибающий момент, наоборот, уменьшился на 39 % – $M_{пр} = 21,6$ кНм, $M_{оп} = -11,3$ кНм. Прогиб верхнего пояса решетчатого прогона увеличился на 63 % и составил $f = 60,8$ мм, что немного превысило предельно допустимое значение $[f] = (1/200)L = (1/200) \times 12000 = 60$ мм.

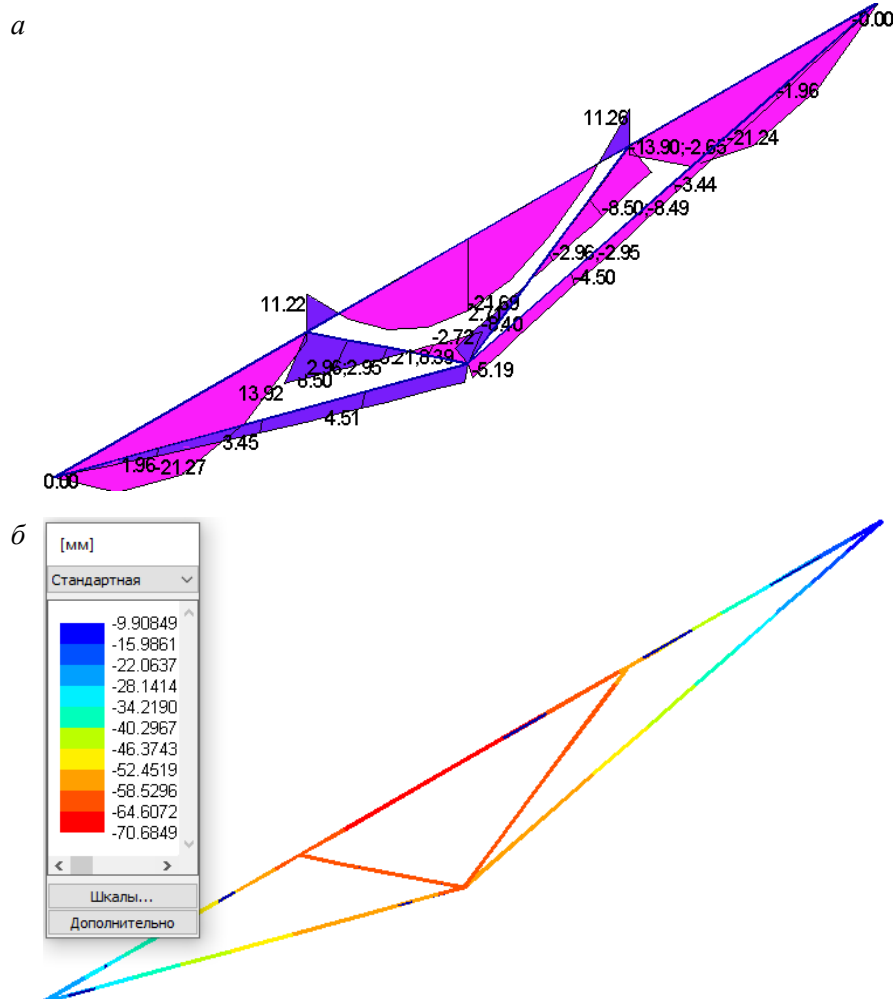


Рис. 5. Решетчатый прогон расчетной модели по схеме № 2:

a – эпюра изгибающих моментов; *б* – изополя вертикальных перемещений

Fig. 5. Model 2 of bar joists:

a – bending-moment curve; *b* – isofields of vertical displacement

Конструктивный расчет решетчатых прогонов показал следующие результаты (рис. 6):

– при вертикальном (проектном) положении прогонов наибольший коэффициент использования сечения по условию устойчивости плоской формы изгиба $K_{ик} = 0,8$;

– при наклонном (из плоскости) положении прогонов со значением горизонтального смещения нижнего узла относительно верхнего пояса $\delta_{см} = 11,5$ см коэффициент использования сечения по условию устойчивости в плоскости момента M_z превысил единицу и составил $K_z = 1,07$.

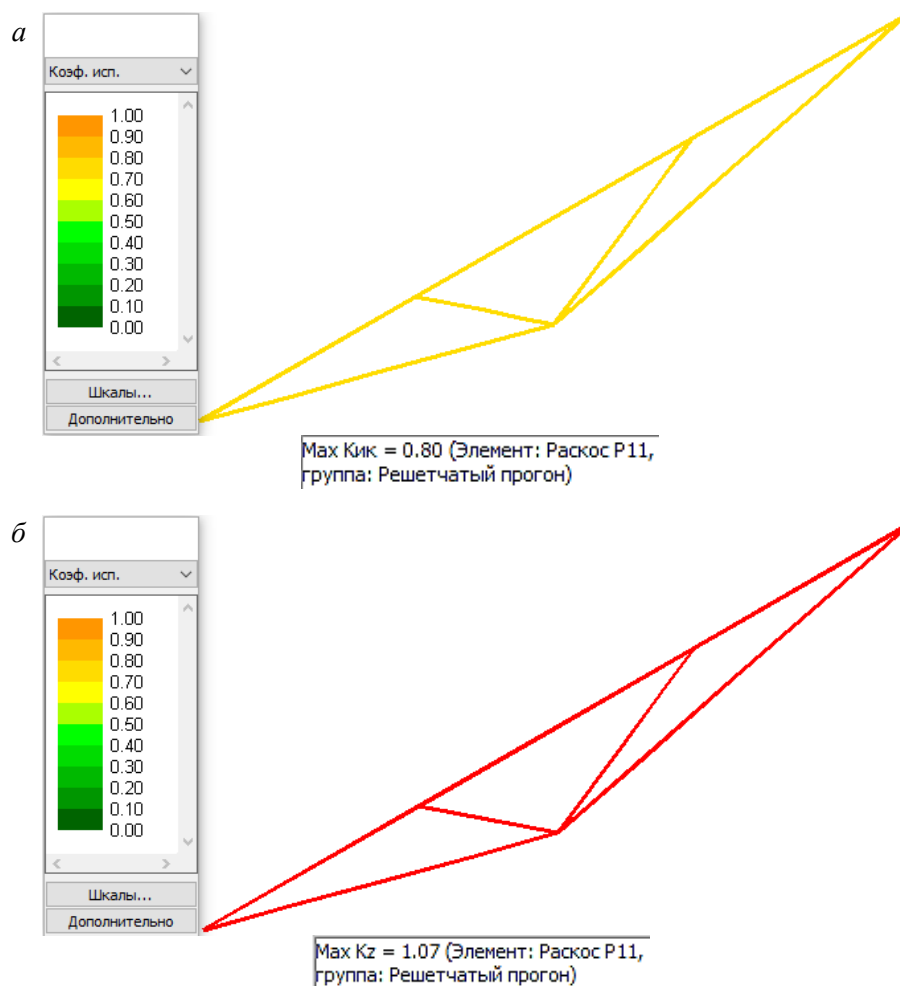


Рис. 6. Значения коэффициентов использования сечения:
 а – в расчетной схеме № 1; б – в расчетной схеме № 2
 Fig. 6. Use factor values:
 а – model 1; б – model 2

В заключение можно отметить, что максимально зафиксированное при обследовании горизонтальное смещение нижнего узла решетчатых прогонов относительно его верхнего пояса составляет $\delta_{см} = 11,2$ см и является допустимым, выверка или замена решетчатых прогонов покрытия не требуется.

В этом случае в решетчатых прогонах покрытия промышленного здания максимальные значения коэффициента использования сечений $\text{Max } K_z = 1,07$ незначительно превышает единицу. После реконструкции промышленного здания дальнейшая эксплуатация решетчатых прогонов покрытия с такими несовершенствами возможна, т. к. условие по первой группе предельных состояний практически выполнено, а условие выполнения второй группы предельных состояний будет обеспечено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золина Т.В., Туснин А.Р. Увеличение срока эксплуатации промышленного объекта введением конструктивных мер // Вестник МГСУ. 2015. № 6. С. 41–49.
2. Золина Т.В. Порядок проведения обследования здания с целью последующей оценки его остаточного ресурса // Вестник МГСУ. 2014. № 11. С. 98–108.
3. Боровский Д.С. Расчет на прочность усиливаемых под нагрузкой стержневых элементов стальных конструкций при многопараметрическом нагружении // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2 (85). С. 36–41.
4. Гукова М.И., Искендеров В.Г., Фарфель М.И. Ошибки проектирования, изготовления и монтажа, приводящие к аварийному состоянию строительных конструкций производственных зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 10. С. 25–28.
5. Лебедь Е.В., Григорян А.А. Влияние монтажных расчетных схем ребер двухпоясного металлического купола на начальные усилия при устранении погрешностей // Вестник МГСУ. 2015. № 8. С. 66–79.
6. Еремин К.А., Матвеевский С.А. Анализ риска несущих конструкций покрытий стальных каркасов одноэтажных промышленных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 3. С. 16–18.
7. Еремин К.А., Матвеевский С.А. Анализ надежности несущих конструкций покрытий стальных каркасов одноэтажных промышленных зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 10. С. 19–21.
8. Туснина О.А. Работа связей в покрытии промышленного здания со стальным каркасом // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 1. С. 37–42.
9. Рекомендации по применению стальных профилированных настилов нового сортамента в утепленных покрытиях производственных зданий. Москва : Госстрой СССР. ЦНИИ-Проектстальконструкция им. Мельникова, 1985. 33 с.
10. Кудишин Ю.И. К вопросу учета начальных несовершенств при расчете стальных стержневых систем по деформированной схеме // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 3. С. 6–9.
11. Туснин А.Р., Бергер М.П. Расчет металлической фермы с поврежденными элементами // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 11. С. 35–41.

REFERENCES

1. Zolina T.V., Tusnin A.R. Extending of operation life of industrial building. *Vestnik MGSU*. 2015; (6): 41–49. (In Russian)
2. Zolina T.V. Examination procedure for building residual operation life. *Vestnik MGSU*. 2014; (11): 98–108. (In Russian)
3. Borovskiy D.S. Strength analysis of rod elements of steel structures under multiparameter loading. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2021; 2 (85): 36–41. (In Russian)
4. Gukova M.I., Iskenderov V.G., Farfel M.I. Design, manufacture and construction errors leading to emergency of industrial buildings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013; (10): 25–28. (In Russian)
5. Lebed E.V., Grigoryan A.A. Influence of analytical rib models of a double metal dome on initial forces at error elimination. *Vestnik MGSU*. 2015; (8): 66–79. (in Russian)

6. Eremin K.A., Matveyushkin S.A. Risk analysis of bearing structures of steel frame covering of one-storey industrial buildings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2011; (3): 16–18. (In Russian)
7. Eremin K.A., Matveyushkin S.A. Reliability analysis of load-bearing structures of steel frame coverings of one-storey industrial buildings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2010; (10): 19–21. (In Russian)
8. Tushina O.A. Performance of covering bonds of industrial building with steel frame. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019; (1): 37–42. (In Russian)
9. Recommendations on the use of steel profiled decks of a new grade in insulated coverings of industrial buildings: Moscow: Gosstroy, 1985. 33 p. (in Russian)
10. Kudishin Yu.I. The problem of initial imperfections in steel rod system analysis according to deformed scheme. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2011; (3): 6–9. (In Russian)
11. Tusnin A.R., Berger M.P. Strength analysis of metal truss with damaged elements. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2018; (11): 35–41. (In Russian)

Сведения об авторе

Подшивалов Иван Иванович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ivanpodchivalov@list.ru

Author Details

Ivan I. Podshivalov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; ivanpodchivalov@list.ru

Статья поступила в редакцию 04.12.2023
Одобрена после рецензирования 14.12.2023
Принята к публикации 16.01.2024

Submitted for publication 04.12.2023
Approved after review 14.12.2023
Accepted for publication 16.01.2024

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 127–139.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 127–139.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 666.712;666.5

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-127-139

EDN: OTWTTA

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ВСПЕНЕННЫХ ПРИРОДНЫХ СИЛИКАТОВ

Нина Григорьевна Васильовская¹, Галина Павловна Баранова¹,
Людмила Олеговна Роот², Владимир Иванович Верещагин²

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

²Национальный исследовательский

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Аннотация. Актуальным в гражданском и промышленном строительстве является уменьшение материалоемкости строительных конструкций и снижение теплопроводности строительных материалов при сохранении достаточной прочности.

Целью работы является исследование плотности, теплопроводности и прочности теплоизоляционных материалов и мелкозернистых бетонов на цементном вяжущем с применением вспененных силикатов. Для получения пористых заполнителей использовались вермикулит Татарского месторождения (Красноярский край), перлиты Хасынского (Магаданская область) и Мухор-Талинского (Республика Бурятия) месторождений, трепел Потанинского месторождения (Челябинская область).

Результаты. Установлено, что прочность материалов на цементном вяжущем с использованием вспененных силикатов определяется прочностью цементного камня, заполнителя и прочностью контактной зоны цементного камня с заполнителем. Коэффициент теплопроводности теплоизоляционных материалов на основе вспененных гранул природного дисперсного сырья (вермикулит, перлит, трепел) на цементной связке (23,5 % об.) находится в границах 0,112–0,181 Вт/(м·К), что в 1,5–1,6 раза больше по сравнению с коэффициентом теплопроводности насыпанного слоя гранул.

Предел прочности при сжатии полученных материалов составляет 2,0–4,0 МПа. Прочность при сжатии легких мелкозернистых бетонов при дополнительном введении кварцевого песка до 32 % об. с использованием пластификатора возрастает до 8,5 МПа в композициях с вермикулитом и до 9,4 МПа в композициях с перлитом Мухор-Талинского месторождения.

В зависимости от содержания кварцевого песка плотность бетонов со вспененным вермикулитом меняется от 1100 до 1400 кг/м³, а со вспененным перлитом – от 1300 до 1600 кг/м³. При этом коэффициенты теплопроводности для бетонов с минимальными плотностями соответствуют значениям 0,193 Вт/(м·К) в композиции с вермикулитом и 0,286 Вт/(м·К) в композиции с перлитом. При максимальных плотностях мелкозернистых бетонов коэффициенты теплопроводности увеличиваются до значений 0,277 и 0,411 Вт/(м·К) соответственно.

Ключевые слова: теплоизоляционный материал, легкий бетон, вспененный заполнитель, вермикулит, перлит, трепел, прочность, плотность, теплопроводность

Для цитирования: Васильевская Н.Г., Баранова Г.П., Рюот Л.О., Верещачин В.И. Исследование теплоизоляционных материалов с использованием заполнителей на основе вспененных природных силикатов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 127–139. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-127-139. EDN: OTWTTA

ORIGINAL ARTICLE

HEAT-INSULATING FOAM-SILICATE MATERIALS

Nina G. Vasilovskaya¹, Galina P. Baranova¹,
Lyudmila O. Root², Vladimir I. Vereshchagin²

¹Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

²National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Abstract. Purpose: The aim of this work is to study the density, thermal conductivity and strength of insulating materials and fine-grained concrete based on cement binder with the use of foamed silicates. Vermiculite from Tatarsky deposit (Krasnoyarsk region), perlite from Khasynsky (Magadan region) and Mukhor-Talinsky (Republic of Buryatia) deposits, and tripoli from Potaninsky deposit (Chelyabinsk region) are used to obtain porous fillers.

Research findings: It was found that the strength of materials based on cement binder and foamed silicates is determined by the strength of hydrated cement, aggregate, and contact zone of hydrated cement and filler. The coefficient of thermal conductivity of insulating materials based on foamed granules of natural dispersed raw materials (vermiculite, perlite, tripoli) with cement (23.5 vol. %) ranges from 0.112 to 0.181 W/(m·deg), which is 1.5–1.6 times higher than thermal conductivity of the granular layer.

Compressive strength of the obtained materials ranges between 2.0 and 4.0 MPa. Compressive strength of lightweight concrete with the silica sand content of 32 vol.% and plasticizer, increases up to 8.5 MPa in compositions with vermiculite and up to 9.4 MPa in compositions with perlite from Mukhor-Talinskoe deposit.

Depending on the quartz sand content, the density of concrete with foamed vermiculite and foamed perlite varies from 1100 to 1400 kg/m³ and from 1300 to 1600 kg/m³, respectively. Thermal conductivity of concretes with minimum density is 0.193 W/(m·deg) in the composition with vermiculite and 0.286 W/(m·deg) in the composition with perlite. At the maximum density of fine-grained concrete, the thermal conductivity increases to 0.277 and 0.411 W/(m·deg), respectively.

Keywords: heat-insulating material, lightweight concrete, foamed filler, vermiculite, perlite, tripoli, strength, solidity, thermal conductivity

For citation: Vasilovskaya N.G., Baranova G.P., Root L.O., Vereshchagin V.I. Heat-insulating foam-silicate materials. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 127–139. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-127-139. EDN: OTWTGA

Введение

Эффективность строительства включает уменьшение материалоемкости строительных конструкций и снижение теплопроводности строительных материалов при сохранении достаточной прочности, что отражается на несущей способности изделий. Одним из направлений повышения эффективности является разработка и применение легких бетонов с пониженной теплопроводностью [1, 2]. Снижение теплопроводности бетонов связано с использованием как пенобетонов, так и легких бетонов с пористыми заполнителями. В качестве природных пористых заполнителей применяют пемзу и вулканический шлак [3, 4, 5, 6, 7, 8]. В качестве техногенных пористых заполнителей используют зольные микросферы [9, 10, 11, 12], вспененные вермикулиты [13, 14] и перлиты [15], а также пористые гранулы на основе композиций дисперсного кремнеземистого сырья с содой (Na_2CO_3) или щелочью (NaOH) [16, 17, 18, 19].

Целью настоящей работы является исследование зависимости плотности и прочности теплоизоляционных материалов на цементном вяжущем от характеристик пористого заполнителя на основе вспененных пород вермикулита и перлита и пористых гранул из кремнеземистой породы – трепела и исследование изменения прочности мелкозернистых легких бетонов в зависимости от содержания кварцевого песка.

Характеристика исходных материалов и методы

Для получения пористых заполнителей использовались вермикулит Татарского месторождения (Красноярский край), перлиты Хасынского (Магаданская область) и Мухор-Талинского (Республика Бурятия) месторождений, трепел Потанинского месторождения (Челябинская область). Химический состав сырья приведен в табл. 1.

По химическому составу перлиты двух месторождений отличаются незначительно: по содержанию оксидов кремния и алюминия отклонения в границах $(1,00 \pm 0,03)$ масс. %. Отклонения по оксидам магния, железа, титана и натрия не превышают 0,7 масс. %, по стальным оксидам – не более 0,05 масс. %. Химический состав перлитов соответствует области составов технических силикатных стекол. По химическому составу трепел отличается от перлитов большим содержанием кремнезема и меньшим содержанием оксида алюминия. Химический состав вермикулита отвечает приблизительной формуле $(\text{Mg}^{+2}, \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3})_3 [(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}] \cdot (\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Однако вермикулит редко отвечает общей формуле и обычно содержит примеси, что подтверждается химическим составом реальной породы вермикулита Татарского месторождения.

В исследованиях применялся цемент типа ЦЕМ I 42,5Н производства ООО «Красноярский цемент». Минеральный состав цемента в массовых процентах: C_3S – 62,0 %; C_2S – 14,0 %; C_3A – 6,3 %; C_4AF – 13,4 %; гипс – 4,3 %. Химический состав цемента приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сырья

Table 1

Chemical composition of raw materials

Наименование	Содержание оксидов, масс. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	$\Delta m_{\text{пр}}$
Трепел Потанинского месторожд.	76,16	7,52	4,1	1,05	0,75	1,23	–	–	–	7,50
Перлит Хасынского месторожд.	70,75	13,74	1,14	1,26	0,37	0,03	0,26	3,63	4,12	3,85
Перлит Мухор- Талинского месторожд.	71,78	12,77	1,54	1,31	0,60	–	0,90	3,00	4,10	5,80
Вермикулит Татарского месторожд.	40,29	10,92	14,47	1,35	17,94	0,63	0,47	1,00	4,08	7,95
Цемент	20,35	4,70	4,15	63,83	2,03	–	–	–	–	1,33

Рентгеновские дифрактограммы использованных перлитов соответствуют аморфной структуре стекла (рис. 1, 2).

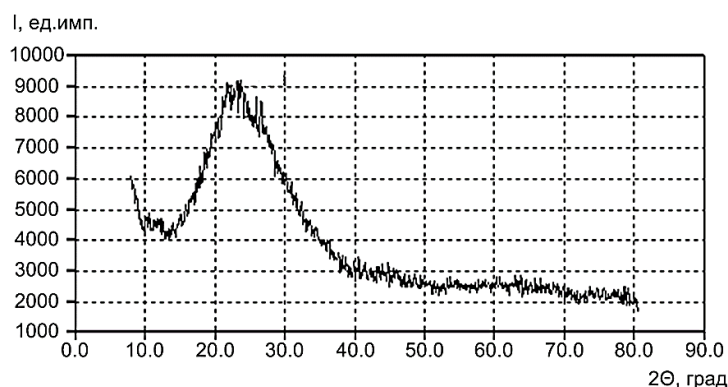


Рис. 1. Рентгеновская дифрактограмма перлита Хасынского месторождения (выполнено авторами)

Fig. 1. X-ray diffraction pattern of perlite from Khasyn deposit

Вспенивание перлитов осуществляется при удалении химически связанной воды при 1000–1100 °С. Вспенивание слоистого вермикулита происходит в процессе удаления химически связанной межпакетной воды при температуре 900–950 °С при увеличении расстояния между слоями в 9–15 раз. Пористые гранулы на основе активированного щелочью трепела получены вспениванием при 780–800 °С за счет воды, выделяющейся в процессе дегидратации гидросиликатов натрия. Характеристики вспененных гранул по размерам, плотности, теплопроводности и прочности приведены в табл. 2.

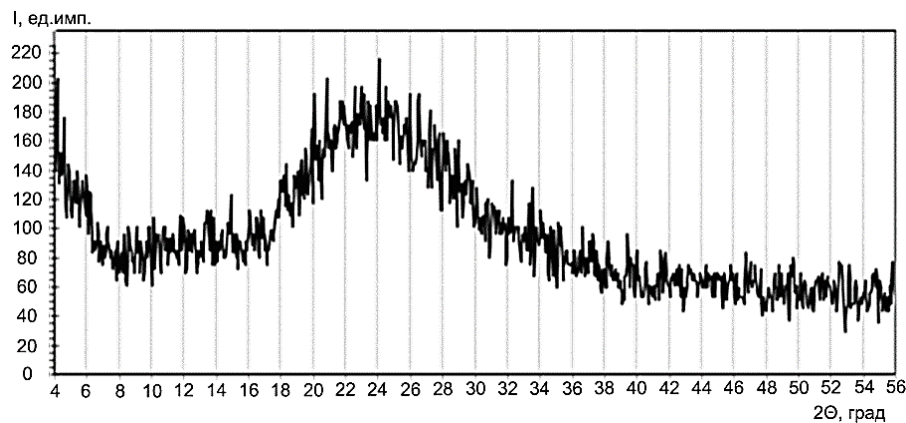


Рис. 2. Рентгеновская дифрактограмма перлита Мухор-Талинского месторождения [15]
Fig. 2. X-ray diffraction pattern of perlite from the Mukhor-Talinskoe deposit [15]

Таблица 2

Основные характеристики вспененных гранул из природного сырья

Table 2

Main characteristics of foamed grains from raw materials

Сырьё для вспенивания	Размер гранул, мм	Насыпная плотность ρ_n , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	Прочность гранул при сдавливании в цилиндре $\sigma_{сд}$, МПа
Вермикулит Татарского месторожд.	0,5–1,0	180 ± 10	0,074	0,23
Перлит Хасынского месторожд.	0,12–0,15	150 ± 10	0,069	0,50
Перлит Мухор-Талинского месторожд.	1,0–1,5	460 ± 20	0,110	2,78
Трепел Потанинского месторожд.	0,6–1,2	360 ± 20	0,085	0,89

Анализ характеристик вспененных гранул показывает, что меньшие значения насыпной плотности имеют гранулы вспененного перлита Хасынского месторождения (150 кг/м^3) и гранулы вспененного вермикулита (180 кг/м^3). Большая насыпная плотность характерна для вспененных гранул перлита Мухор-Талинского месторождения (460 кг/м^3). Прочность и коэффициент теплопроводности адекватны насыпной плотности гранул.

Для получения легких мелкозернистых бетонов в качестве наполнителя, обеспечивающего прочность, использовался кварцевый песок. Характеристики кварцевого песка по дисперсности, плотности и примесям приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика кварцевого песка

Table 3

Quartz sand properties

Наименование показателя	Значение
Модуль крупности (M_k)	2,15 (средний)
Насыпная плотность, г/см ³	1,55
Истинная плотность, г/см ³	2,50
Полный остаток на сите 0,63, %	45
Содержание зерен крупностью (в % по массе):	
св. 10 мм	0
св. 5 мм	0
менее 0,16 мм	3
Содержание пылевидных и глинистых частиц, % по массе	1

Для увеличения подвижности и снижения водоцементного отношения исходной смеси при получении легких мелкозернистых бетонов был использован суперпластификатор на основе поликарбоксилата производства компании MC-Bauchemie.

Теплопроводность определяли на приборе ИТП-МГ4 «100» на образцах размером 100×100 мм, высотой 10 мм. РФА выполнен на рентгеновском дифрактометре ДРОН-4М. Испытания образцов исследуемых материалов проводились в соответствии с ГОСТ 310.3–76, ГОСТ 310.4–81.

В работе применялось оборудование Центра коллективного пользования Научно-образовательного инновационного центра «Наноматериалы и нанотехнологии» ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

Результаты и их обсуждение

Первоначально были получены теплоизоляционные композиты, в которых вспененные гранулы связаны цементным камнем. Объемные количества гранул и цемента были одинаковыми в исходных смесях (23,5 % об. – цемент). После заполнения форм водными смесями и 28-суточного твердения образцов определялись свойства полученных теплоизоляционных материалов (табл. 4).

Определялись следующие характеристики: кажущаяся плотность (ρ), прочность при сжатии ($\sigma_{сж}$), коэффициент теплопроводности (λ). Расчетами получены: относительная плотность ($\rho_{от} = \rho/\rho_{ис}$, где $\rho_{ис}$ – истинная плотность), коэффициент конструктивного качества ($K_k = \sigma_{сж}/\rho_{от}$), аддитивная прочность при сжатии ($\sigma_{ад.сж} = 0,765 \sigma_{сж \text{ гранул}} + 0,235 \sigma_{сж \text{ ц.камень}}$).

Анализ полученных результатов (табл. 4) показывает, что при одинаковом отношении объемов вспененных гранул и цементного камня прочность теплоизоляционного материала обеспечивается цементным камнем, а плотность и коэффициент теплопроводности зависят от плотности пористых гранул. Достигнуты прочности 2,0–2,5 МПа при плотности 500 кг/м³; 2,7 МПа

при плотности 800 кг/м^3 , что соответствует прочности теплоизоляционных материалов. Прочность $4,1 \text{ МПа}$ при плотности композита с гранулами вспененного перлита Мухор-Талинского месторождения 1000 кг/м^3 не соответствует теплоизоляционным материалам. Наибольший коэффициент конструктивного качества $12,7$ получен для теплоизоляционного материала с гранулами на основе трепела Потанинского месторождения. Для теплоизоляционных материалов рассчитанная аддитивная прочность композиций ($12,06\text{--}14,02 \text{ МПа}$) превышает фактическую ($2,0\text{--}4,0 \text{ МПа}$) в $4,5\text{--}6,0$ раза. Это связано с тем, что в расчете использована прочность гранул при сдавливании в цилиндре без поправочных коэффициентов, определение которых связано с дополнительными исследованиями.

Таблица 4

Физико-механические характеристики теплоизоляционных материалов
Table 4

Physical and mechanical properties of heat-insulating materials

Содержание компонентов, % об.	Плотность ρ , кг/м^3 Относительная плотность $\rho/\rho_{\text{ис}}$	Коэффициент теплопроводности λ , $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	Прочность при сжатии $\sigma_{\text{сж}}$, МПа	Коэффициент конструктивного качества $K_{\text{к}}$	Прочность при сжатии цементного камня $\sigma_{\text{цк}}$, МПа	Аддитивная прочность при сжатии $\sigma_{\text{ад}}$, МПа
Вермикулит вспененный – 76,5 Цемент – 23,5	$\frac{800}{0,32}$	0,122	2,7	8,3	50,6	12,06
Перлит Хасынский вспененный – 76,5 Цемент – 23,5	$\frac{500}{0,20}$	0,112	2,0	9,5	50,6	12,27
Перлит Мухор-Талинский вспененный – 76,5 Цемент – 23,5	$\frac{1000}{0,40}$	0,181	4,0	10,3	50,6	14,02
Вспененные гранулы из трепела – 76,5 Цемент – 23,5	$\frac{500}{0,20}$	0,128	2,5	12,7	50,6	12,57

При получении мелкозернистых легких бетонов в исходные смеси с гранулами из вермикулита и перлита дополнительно вводился кварцевый песок (табл. 5). Количество кварцевого песка увеличивалось от $14,3$ до $32,0 \%$ по объему. При этом плотность образцов бетона со вспененным вермикулитом возрастала от 1100 до 1400 кг/м^3 , а образцов со вспененным перлитом – от 1300 до 1600 кг/м^3 . С увеличением содержания кварцевого песка в образцах бетона прочность при сжатии возрастает (рис. 3, 4). Прочность мелкозернистых бетонов со вспененным перлитом без пластификатора в $1,3\text{--}1,5$ раза вы-

ше по сравнению с прочностью бетонов с вермикулитом. С использованием пластификатора увеличение прочности для бетона с перлитом значительно меньше – в 1,03–1,10 раза.

Таблица 5

Составы, плотность и теплопроводность легких мелкозернистых бетонов

Table 5

**Composition, solidity and thermal conductivity
of lightweight fine-grained concrete**

Обозначение	Содержание компонентов, % об.			Бетон с вермикулитом		Бетон с перлитом	
	Цемент	Кварцевый песок	Вермикулит/перлит	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
1-в(-п)*	23,5	–	76,5	850	0,28	1050	0,31
2-в(-п)	28,0	15,0	57,0	1100	0,31	1300	0,45
3-в(-п)	25,0	25,0	50,0	1300	0,46	1480	0,51
4-в(-п)	20,0	32,0	48,0	1400	0,51	1600	0,56

* Композит без кварцевого песка.

На рис. 3 представлена прочность при сжатии мелкозернистых легких бетонов со вспененным вермикулитом без пластификатора и с пластификатором.

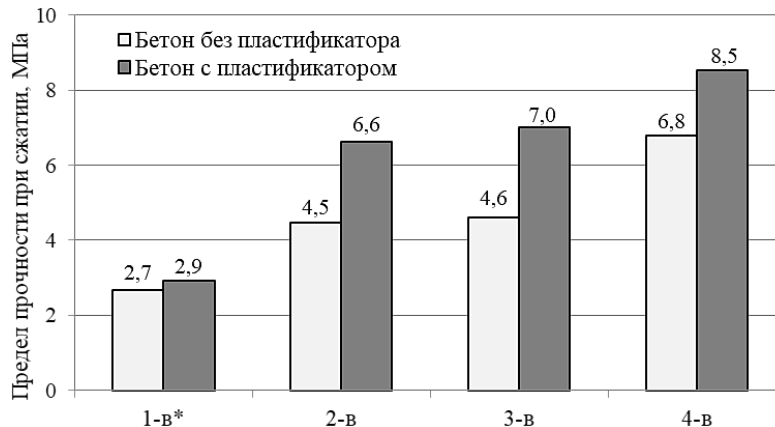


Рис. 3. Изменение прочности при сжатии легких бетонов с вермикулитом в зависимости от содержания кварцевого песка (*композит без кварцевого песка)

Fig. 3. Compressive strength of lightweight concrete with vermiculite vs. quartz sand content (*composite without quartz sand)

Использование пластификатора обеспечивает повышение прочности бетонов с вермикулитом и кварцевым песком в 1,3–1,5 раза. При отсутствии кварцевого песка в композиции увеличения прочности практически нет (рис. 3, 1-в*).

В случае применения пористого заполнителя – вспененного перлита Мухор-Талинского месторождения, наоборот, отмечается небольшое повышение прочности бетонов, содержащих кварцевый песок. Увеличение прочности – в 1,1 раза и меньше (рис. 4). В композиции без кварцевого песка прочность при сжатии образцов с пластификатором составляет 4,5 МПа, что 1,55 раза больше по сравнению с прочностью образцов без пластификатора (2,9 МПа) (рис. 4, 1-п*).

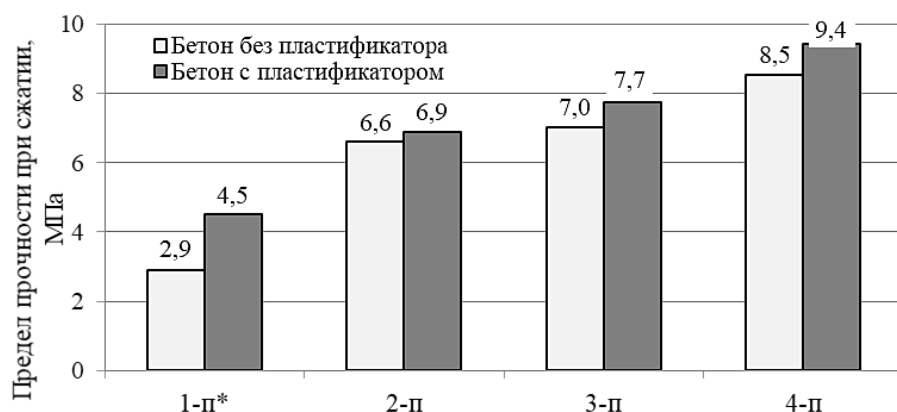


Рис. 4. Изменение прочности при сжатии легких бетонов с перлитом в зависимости от содержания кварцевого песка (*композит без кварцевого песка)

Fig. 4. Compressive strength of lightweight concrete with perlite vs. quartz sand content (*composite without quartz sand)

Прочность мелкозернистых бетонов со вспененным перлитом без пластификатора в 1,3–1,5 раза выше по сравнению с прочностью бетонов с вермикулитом без пластификатора. С использованием пластификатора прочность бетона с перлитом увеличивается до значений 6,9–9,4 МПа в зависимости от содержания кварцевого песка, что представляет небольшое увеличение прочности в 1,03–1,10 раза по сравнению с прочностью бетонов без пластификатора (6,6–8,5 МПа). На рис. 5 показана теплопроводность легких бетонов с пластификатором.

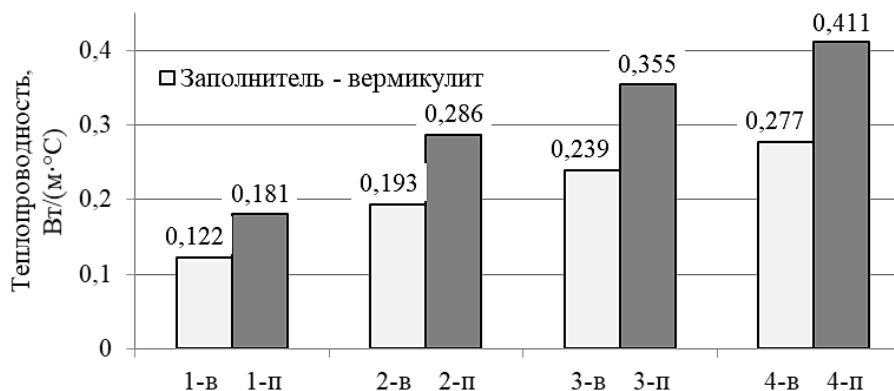


Рис. 5. Теплопроводность легких бетонов с пластификатором

Fig. 5. Thermal conductivity of lightweight concrete with plasticizer

Коэффициент теплопроводности мелкозернистых бетонов со вспененным вермикулитом на 35–65 % меньше по сравнению с бетоном со вспененным перлитом.

Заключение

Коэффициент теплопроводности теплоизоляционных материалов на основе вспененных гранул природного дисперсного сырья (вермикулит, перлит, трепел) на цементной связке (23,5 % об.) находится в границах 0,112–0,181 Вт/(м·К), что в 1,5–1,6 раза больше коэффициента теплопроводности насыпанного слоя гранул. Предел прочности при сжатии полученных материалов находится в пределах 2,0–4,0 МПа, что превышает прочность пеностекла вследствие более высоких плотностей материалов. Коэффициент конструкционного качества соответствует значениям 8,3–12,7: наименьший – для материала со вспененным вермикулитом, наибольший – для материала с пористыми гранулами на основе трепела.

Прочность при сжатии легких мелкозернистых бетонов при дополнительном введении кварцевого песка до 32 % об. с использованием пластификатора возрастает до 8,5 МПа в композициях с вермикулитом и до 9,4 МПа – в композициях с перлитом Мухор-Талинского месторождения. В зависимости от содержания кварцевого песка плотность бетонов со вспененным вермикулитом меняется от 1100 до 1400 кг/м³, а со вспененным перлитом – от 1300 до 1600 кг/м³. При этом коэффициенты теплопроводности для бетонов с минимальными плотностями соответствуют значениям 0,193 Вт/(м·К) в композиции с вермикулитом и 0,286 Вт/(м·К) – в композиции с перлитом. При максимальных плотностях мелкозернистых бетонов коэффициенты теплопроводности увеличиваются до значений 0,277 и 0,411 Вт/(м·К) соответственно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны на их основе* : справочное пособие / под ред. Ю.П. Горлова. Москва : Стройиздат, 1987. 304 с.
2. *Сапелин А.Н.* Лёгкие бетоны нового поколения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 4. С. 79–83.
3. *Muhtar.* Performance-based experimental study into quality zones of lightweight concrete using pumice aggregates // Case Studies in Construction Materials. 2023. V. 18. e01960. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01960>
4. *Karthika R.B., Vidyapriya V., Nandhini Sri K.V., Beaula K.M.G., Harini R., Sriram M.* Experimental study on lightweight concrete using pumice aggregate // Materials Today: Proceedings. 2021. 43. P. 1606–1613. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.762>
5. *Hariyadi H.T.* Enhancing the performance of porous concrete by utilizing the pumice aggregate // Procedia Engineering. 2015. V. 125. P. 732–738. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.116>.
6. *Shannag M.J., Charif A., Dghaither S.* Developing structural lightweight concrete using volcanic scoria available in Saudi Arabia // Arabian Journal for Science and Engineering. 2014. V. 39. P. 3525–3534. URL: <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1019-5>
7. *Rashad A.M.* A short manual on natural pumice as a lightweight aggregate // Journal of Building Engineering. 2019. V. 25. P.100802. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100802>
8. *Rajeswari S., George S.* Experimental study of light weight concrete by partial replacement of coarse aggregate using pumice aggregate // International Journal of Scientific Engineering and Research. 2015. V. 4. № 5. P. 50–53. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.762>

9. Гладких И.В., Волынкина Е.П. Утилизация зольных микросфер Западно-Сибирской ТЭЦ при получении безобжиговых композиционных материалов // Экология и промышленность России. 2009. № 2. С. 32–36.
10. Мальцев Е.В., Козлов А.В., Каклюгин А.В., Козлов Г.А. Ячеистые бетоны на основе зольных микросфер Новочеркасской ТЭС // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2003. № 5-2. С. 404–405.
11. Мальцева И.В., Мальцев Е.В. Мелкозернистые конструкционно-теплоизоляционные легкие бетоны на заполнителе из зольных микросфер // Научное обозрение. 2015. № 20. С. 120–123.
12. Теряева Т.Н., Костенко О.В., Исмаилов З.Р., Шикина Н.В., Рудина Н.А., Антипова В.А. Физико-химические свойства алюмосиликатных полых микросфер // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. № 5 (99). С. 86–90.
13. Енджиевская И.Г., Васильевская Н.Г., Гофман О.В., Игнатьев Г.В. Композиционный материал на основе вспученного вермикулита для огнезащитных покрытий // Фундаментальные исследования. 2016. № 2–1. С. 48–53. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39878>
14. Лотов В.А., Кутугин В.А. Использование термической поризации смесей при получении плит из вспученного вермикулита // Строительные материалы. 2015. № 5. С. 89–91.
15. Жерновой Ф.Е., Мирошников Е.В., Жерновая Н.Ф. Перлит Мухор-Талы как стекольное сырье // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С. 32–36.
16. Никитин А.И., Стороженко Г.И., Казанцева Л.К., Верещагин В.И. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе трепелов Потанинского месторождения // Строительные материалы. 2014. № 8. С. 34–36.
17. Казанцева Л.К., Юсупов Т.С., Лыгина Т.З., Шумская Л.Г., Цыплаков Д.С. Пеностекло из механоактивированных бедных цеолитсодержащих пород // Стекло и керамика. 2013. № 10. С. 18–22.
18. Казанцева Л.К. Особенности изготовления пеностекла из цеолитщелочной шихты // Стекло и керамика. 2013. № 8. С. 3–7.
19. Казьмина О.В., Верещагин В.И., Семухин Б.С., Абияка А.Н. Низкотемпературный синтез стеклогранулята из шихт на основе кремнеземсодержащих компонентов для получения пеноматериалов // Стекло и керамика. 2009. № 10. С. 5–8.

REFERENCES

1. Gorlov Yu.P. (Ed.) Artificial porous aggregates and lightweight concrete based on them. Reference guide. Moscow: Stroiizdat, 1987. 304 p. (In Russian)
2. Sapelin A.N. Advanced lightweight concrete. *Vestnik BSTU n.a. V.G. Shukhov*. 2014; (4): 79–83. (In Russian)
3. Muhtar. Performance-based experimental study into quality zones of lightweight concrete using pumice aggregates. *Case Studies in Construction Materials*. 2023; 18: e01960. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01960>
4. Karthika R.B., Vidyapriya V., Nandhini Sri K.V., Beaula K.M.G., Harini R., Sriram M. Experimental study on lightweight concrete using pumice aggregate. *Materials Today: Proceedings*. 2021; 43: 1606–1613. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.762>
5. Hariyadi H.T. Enhancing the performance of porous concrete by utilizing the pumice aggregate. *Procedia Engineering*. 2015; 125: 732–738. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.116>
6. Shannag M.J., Charif A., Dghaither S. Developing structural lightweight concrete using volcanic scoria available in Saudi Arabia. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2014; 39: 3525–3534. <https://doi.org/10.1007/s13369-014-1019-5>
7. Rashad A.M. A short manual on natural pumice as a lightweight aggregate. *Journal of Building Engineering*. 2019; 25: 100802. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100802>
8. Rajeswari S., George S. Experimental study of light weight concrete by partial replacement of coarse aggregate using pumice aggregate. *International Journal of Scientific Engineering and Research*. 2015; 4 (5): 50–53. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.762>
9. Gladkikh I.V., Volynkina E.P. Utilization of ash microspheres from the West Siberian thermal power plant in the production of non-firing composite materials. *Ecology and Industry of Russia*. 2009; (2): 6.

10. Mal'tsev E.V., Kozlov A.V., Kaklyugin A.V., Kozlov G.A. Cellular concrete based on ash microspheres at Novocherkassk Thermal Power Plant. *Vestnik BSTU n.a. V.G. Shukhov*. 2003; 5-2: 404–405. (In Russian)
11. Mal'tseva I.V., Mal'tsev E.V. Fine-grained structural and thermal insulation lightweight concrete with filler made of ash microspheres. *Nauchnoe obozrenie*. 2015; 20: 120–123. (In Russian)
12. Teryaeva T.N., Kostenko O.V., Ismagilov Z.R., Shikina N.V., Rudina N.A., Antipova V.A. Physicochemical properties of aluminosilicate hollow microspheres. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013; 5(99): 86–90. (In Russian)
13. Endzhievskaya I.G., Vasilovskaya N.G., Gofman O.V., Ignat'ev G.V. Composite material based on expanded vermiculite for fire retardant coatings. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2016; 2-1: 48–53. (In Russian). Available: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39878>
14. Lotov V.A., Kutugin V.A. The use of thermal porous mixtures in the production of expanded vermiculite slabs. *Stroitel'nye materialy*. 2015; (5): 89–91. (In Russian)
15. Zhernovoi F.E., Miroshnikov E.V., Zhernovaya N.F. Mukhor-Taly perlite as glass raw material. *Vestnik BSTU n.a. V.G. Shukhov*. 2012; (3): 32–36. (In Russian)
16. Nikitin A.I., Storozhenko G.I., Kazantseva L.K., Vereshchagin V.I. Heat-insulating materials and products on the basis of tripolis of Potanin deposit. *Stroitel'nye materialy*. 2014; (8): 34–36. (In Russian)
17. Kazantseva L.K., Yusupov T.S., Lygina T.Z., Shumskaya L.G., Tsyplakov D.S. Foam glass from mechanoactivated zeolite-poor rock. *Glass and Ceramics*. 2014; 70 (9–10): 360–364. <https://doi.org/10.1007/s10717-014-9580-7>
18. Kazantseva L.K. Particulars of foam glass manufacture from zeolite-alkali batch. *Glass and Ceramics*. 2013; 70 (7–8): 277–281. <https://doi.org/10.1007/s10717-013-9560-3>
19. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Semukhin B.S., Abiyaka A.N. Low-temperature synthesis of granular glass from mixes based on silica-alumina-containing components for obtaining foam materials. *Glass and Ceramics*. 2009; 66 (9–10): 341–344. <https://doi.org/10.1007/s10717-010-9193-8>

Сведения об авторах

Васильевская Нина Григорьевна, канд. техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79/10, vasng46@mail.ru

Баранова Галина Павловна, канд. техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79/10, putinap@mail.ru

Рюм Людмила Олеговна, канд. техн. наук, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, tolbanowa@tpu.ru

Верещагин Владимир Иванович, докт. техн. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, vver@tpu.ru

Authors Details

Nina G. Vasilovskaya, PhD, A/Professor, Siberian Federal University, 79/10, Svobodnyy Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, vasng46@mail.ru

Galina P. Baranova, PhD, A/Professor, Siberian Federal University, 79/10, Svobodnyy Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, putinap@mail.ru

Lyudmila O. Root, PhD, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, tolbanowa@tpu.ru

Vladimir I. Vereshchagin, DSc, Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, vver@tpu.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.01.2024
Одобрена после рецензирования 01.02.2024
Принята к публикации 02.02.2024

Submitted for publication 24.01.2024
Approved after review 01.02.2024
Accepted for publication 02.02.2024

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 140–151.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 140–151.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 628.1.1–122:618.712

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-140-151

EDN: SLIEAT

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ И МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ

Олег Александрович Продоус¹, Петр Петрович Якубчик²,
Лев Дмитриевич Терехов², Дмитрий Иванович Шлычков³

¹Независимый эксперт по «Водоснабжению и водоотведению»,
г. Санкт-Петербург, Россия

²Петербургский государственный университет путей сообщения Им-
ператора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

³Национальный исследовательский Московский государственный стро-
ительный университет, г. Москва, Россия

Аннотация. На сегодняшний день *актуальность* вопроса подтверждается тем, что увеличение объема выпуска трубной продукции из полимерных и металлополимерных материалов требует систематизации гидравлических расчетов трубопроводов за счет уточнения используемых в настоящее время расчетных зависимостей.

Цель исследования: описать причины, влияющие на точность гидравлического расче-
та труб из полимерных материалов, и на конкретном примере показать изменение зна-
чений характеристик гидравлического потенциала труб в зависимости от этих причин.

Материалы и методы: для оценки влияния технологических параметров при изго-
товлении труб из полимерных и металлополимерных материалов на значение гидравли-
ческих характеристик использован классический набор формул для гидравлического
расчета водопроводов.

Результаты: на конкретном примере доказано влияние на точность гидравлического расчета труб из полимерных материалов значений технологических допусков на наружный (внутренний) диаметр труб и толщину стенки трубы.

Выводы: доказано на примере влияние технологических допусков при производстве труб из полимерных материалов на значение характеристик их гидравлического потенциала, определяющих величину энергопотребления насосного оборудования. Рекомендовано установить нормативные требования на шероховатость внутренней поверхности водопроводных труб из полимерных материалов и производить их гидравлический расчет с учетом фактических значений величин высотного и шагового параметров шероховатости.

Ключевые слова: трубопроводы из разных полимерных материалов, расчетные зависимости, точность гидравлического расчета труб, энергопотребление, шероховатость

Для цитирования: Продоус О.А., Якубчик П.П., Терехов Л.Д., Шлычков Д.И. Повышение точности гидравлического расчета напорных трубопроводов из полимерных и металлополимерных труб // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 140–151. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-140-151. EDN: SLIEAT

ORIGINAL ARTICLE

HYDRAULIC CALCULATION IMPROVEMENT OF POLYMER AND METAL-POLYMER PRESSURE PIPELINES

Oleg A. Prodous¹, Piotr P. Yakubchik²,
Lev D. Terekhov², Dmitry I. Shlyichkov³

¹"Water and Sanitation", Saint-Petersburg, Russia

²Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
Saint-Petersburg, Russia

³National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia

Abstract. The relevance of this paper is determined by the pipe manufacturing from polymer and metal-polymer materials, that requires hydraulic calculations.

Purpose: The purpose is to describe reasons affecting the accuracy of the hydraulic calculation of pipes made of polymer materials and show changes in their hydraulic potential, depending on these reasons.

Methodology/approach: Assessment of the influence of process parameters on hydraulic characteristics, classical equations of hydraulic calculation of water pipes.

Research findings: The paper shows the influence of technological tolerances for the outer/inner diameter of pipes and the pipe wall thickness on the accuracy of hydraulic calculation of pipes made of polymer materials.

Value: It is advisable to establish regulatory requirements for inner surface roughness of pipes made of polymer materials and perform their hydraulic calculation with respect to real hills and valleys which constitute surface roughness.

Keywords: polymer pipelines, calculated dependencies, hydraulic calculation, energy consumption, roughness

For citation: Prodous O.A., Yakubchik P.P., Terekhov L.D., Shlychkov D.I. Hydraulic calculation improvement of polymer and metal-polymer pressure pipelines. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Jour-

nal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 140–151. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-140-151. EDN: SLIEAT

В настоящее время в России и за рубежом широко освоено производство труб из различных полимерных материалов согласно СП 399.1325800.2018 (рис. 1).



Рис. 1. Виды труб, применяемых в системах водоснабжения (доля в процентах от использования труб из конкретного вида материала):

а – труба из полиэтилена низкого давления (ПНД)¹ по ГОСТ 18599–2001 – 60–65 %; б – труба из поливинилхлорида (ПВХ)² по ГОСТ 52134–2013 или молекулярно-ориентированного ПВХ-О 500 по ГОСТ 56927–2016 – 10–15 %; в – трубы из стеклопластика (СП)³ по ГОСТ 32415–2013 – 8–10 %; г – стальные электросварные трубы (СТ) с внутренним полимерным покрытием «Амеркот-391»⁴ по ГОСТ 20295–85 – 3–5 %; д – труба чугунная из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ) с полиуретановым внутренним и наружным покрытием (ПУ)⁵ по EN 545–2010 – до 3 %

Fig. 1. Types of pipes for water supply systems (percentage from particular material):

а – low-pressure polyethylene pipe according to GOST 18599–2001 (60–65 %); б – polyvinyl chloride pipe according to GOST 52134–2013 or molecularly oriented PVC-O 500 according to GOST 56927–2016 (10–15 %); в – fiberglass plastic pipes according to GOST 32415–2013 (8–10 %); г – steel electric-welded pipes with internal polymer coating "Amerkot-391" according to GOST 20295–85 (3–5 %); д – high-strength cast iron with spheroidal graphite with polyurethane internal and external coating according to EN 545–2010 (3 %)

В соответствии с СП 399.1325800.2018 гидравлический расчет напорных трубопроводов (труб) производится по заданному расходу q и давлению

¹ URL: <https://instrument.ms/raskhodnye-materialy-i-osnastka/osnastka-dlya-sistem-vodosnabzheniya/truby-napornye-dlya-nasosov/tm-dzhileks/truba-pnd-32kh2-4mm-1m-dzhileks-re100>

² URL: <https://tera-plast.ru/truba-obsadnaya-pvh-195-mm/>

³ URL: <https://25torg.com/en/obyavlenie/kompozitnye-truby-3c1cd4da92.html>

⁴ URL: https://www.tpl96.ru/goods/247218711-emal_trepp_tr_90

⁵ URL: <https://www.tcpumpparts.com/dn125-twin-wall-concrete-pump-pipe/>

РН. Для определения величины потерь напора по длине h_l рассматриваемого участка и выбора фактического внутреннего диаметра труб $d_{\text{вн}}^{\phi}$, а также характеристик насосного оборудования используются известные формулы [1, 2].

Потери напора по длине h_l , м, рассматриваемого участка L для напорного движения определяются по формуле

$$h_l = i \cdot L, \quad (1)$$

где i – удельные потери напора на единицу длины напорного трубопровода, м/м; L – длина рассматриваемого участка трубопровода, м.

Удельные потери напора i (без учета гидравлических сопротивлений стыковых соединений), м/м, определяются в соответствии с действующими нормами по формуле Дарси – Вейсбаха [3]:

$$i = \lambda \frac{V_{\phi}^2}{2g \cdot d_{\text{вн}}^{\phi}}, \quad (2)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления трения по длине трубопровода; V_{ϕ} – фактическая средняя скорость потока жидкости, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; $d_{\text{вн}}^{\phi}$ – фактический внутренний диаметр трубопровода, м.

Коэффициент гидравлического сопротивления λ , согласно требованиям настоящего свода правил, определяется по формуле

$$\sqrt{\lambda} = \frac{0,5 \left[\frac{b}{2} + \frac{1,312(2-b) \lg \left(\frac{3,7 d_{\text{вн}}^{\phi}}{K_s} \right)}{\lg \text{Re}_{\phi} - 1} \right]}{\lg \left(\frac{3,7 d_{\text{вн}}^{\phi}}{K_s} \right)}, \quad (3)$$

где b – число подобия режимов движения жидкости, определяется по формуле

$$b = 1 + \frac{\lg \text{Re}_{\phi}}{\lg \text{Re}_{\text{кв}}}; \quad (4)$$

Re_{ϕ} – фактическое число Рейнольдса,

$$\text{Re}_{\phi} = \frac{V_{\phi} \cdot d_{\text{вн}}^{\phi}}{\nu}, \quad (5)$$

ν – коэффициент кинематической вязкости воды, м²/с; $\text{Re}_{\text{кв}}$ – число Рейнольдса, соответствующее началу квадратичной области гидравлических сопротивлений при турбулентном движении жидкости:

$$\text{Re}_{\text{кв}} = \frac{500 d_{\text{вн}}^{\phi}}{K_s}, \quad (6)$$

где K_s – коэффициент эквивалентной шероховатости, м, принимаемый по нормативным требованиям не менее $K_s \geq 0,00001$ м [3, 4]; при $b > 2$ принимают $b = 2$ [5].

Методы

Достаточно сложный для использования при расчетах вид формулы (3) позволил авторам предложить упрощенный вид нормативной зависимости для расчета значений коэффициента гидравлического сопротивления λ труб из любых полимерных материалов [6]:

$$\lambda = \left(\frac{0,5 \left(\frac{b}{2} + \frac{1,312(2-b)m}{n} \right)}{m} \right)^2, \quad (7)$$

где $m = \lg \frac{3,7d_{\text{вн}}^{\phi}}{K_z}$ – число подобия параметров трубопровода, отражающее из-

менения значений величины фактического внутреннего диаметра труб за счет влияния технологических допусков на толщину их стенки и номинальный наружный диаметр, а также значения измеренной величины высотного параметра шероховатости внутренней поверхности труб R_a [7]; $n = \lg \text{Re}_{\phi} - 1$ – показатель, характеризующий изменение фактически транспортируемого расхода q_{ϕ} , в зависимости от изменения величины фактического внутреннего диаметра труб и физических свойств жидкости.

Подтверждено расчетами и экспериментально, что точность гидравлического расчета водопроводов из полимерных материалов (ПЭ, ПВХ, стеклопластика и металлических труб с полимерным покрытием, например, полипропилена) зависит от точности расчета параметров, входящих в расчетную зависимость, по которой производится гидравлический расчет труб [8, 9].

Учитывая, что трубопроводы из полимерных материалов работают, как правило, в квадратичной зоне гидравлических сопротивлений (иногда в переходной), значение величины параметров шероховатости труб оказывает доминирующее влияние на точность гидравлического расчета труб и, как следствие, влияет на точность расчета значений фактического энергопотребления насосного оборудования [10, 11, 12].

В СП 399.1325800.2018 величина шероховатости внутренней поверхности труб из полимерных материалов оценивается коэффициентом эквивалентной шероховатости K_z , значение которого приводится только для труб из полиэтилена, блок-сополимера, пропилена и поливинилхлорида. Отсутствие в СП 399.1325800.2018 значений K_z для труб из стеклопластика, стальных с полимерным покрытием «Амеркот-391» и ВЧШГ с полиуретановым покрытием не позволяет осуществлять обоснованный гидравлический расчет, а волевое назначение величины K_z ведет к существенным погрешностям при определении в них фактических потерь напора.

Экспериментальными исследованиями, проведенными в разное время, установлено, что между коэффициентом эквивалентной шероховатости K_z и высотным параметром физической шероховатости внутренней поверхности труб R_a существует математическая зависимость, m , имеющая вид

$$K_s = 2R_a^{1,33}, \quad (8)$$

где R_a – среднеарифметическое абсолютное значение отклонений профиля поверхности от средней линии в пределах базовой длины, мкм (м) [13].

Приведенная ниже формула (9) позволяет без проведения трудоемких гидравлических экспериментов, измерив лишь с помощью прибора (профилографа) значение высотного параметра шероховатости R_a , определить значение коэффициента эквивалентной шероховатости K_s и далее значение коэффициента гидравлического сопротивления λ , используя для этого государственную методику расчета значений параметров шероховатости МИ 41–75 [14].

После определения значений показателей b , m и n в формуле (7) переходят к определению значений величин коэффициента гидравлического сопротивления λ для труб из конкретного вида полимера (ПЭ, ПВХ, СП, ПУ и др.).

На основе проводимых авторами с 1976 г. по настоящее время исследований установлено, что трубы из полимерных и металлополимерных материалов характеризуются различными значениями высотного параметра шероховатости R_a и шагового S_m внутренней поверхности труб.

С учетом этих параметров О.А. Продроусом и П.П. Якубчиком была предложена формула для определения коэффициента сопротивления по длине трубопровода:

$$\lambda = \frac{0,3162}{Re_\phi^{0,25}} \left(\frac{10R_a^\phi \cdot 10^3}{S_m^\phi} + 1 \right)^{0,172} \left(\frac{2R_a^\phi \cdot 10^3}{d_{вн}^\phi} + 1 \right)^{0,475}, \quad (9)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления по длине трубопровода; R_a^ϕ – параметр шероховатости труб по МИ 41–75, мкм [12]; S_m^ϕ – фактический шаг неровностей по вершинам выступов, мкм; Re_ϕ – фактическое число Рейнольдса; $d_{вн}^\phi$ – фактический внутренний диаметр трубы в соответствии с технологическими допусками, мм.

Выполненные авторами исследования на экспериментальном стенде по сравнению фактических значений удельных потерь напора с рассчитанными по формуле (9) показали высокую сходимость результатов.

Результаты

На конкретном примере для трубопровода из полиэтилена ПЭ 100 авторами рассчитаны значения удельных потерь напора по методике, изложенной в СП 399.1325800.2018, и с использованием формулы (9).

В табл. 1 для конкретного номинального диаметра труб $d_n = 630$ мм при заданном расходе $q = 300$ л/с и давлении $P_N = 1,0$ МПа приводится сравнение значений гидравлических характеристик труб (гидравлического потенциала), подсчитанных по разным расчетным зависимостям.

Анализ значений гидравлических характеристик труб, рассчитанных по разным расчетным зависимостям (табл. 1), показывает, что коэффициент гидравлического сопротивления λ , рассчитанный по формуле (9), учитывающий значение характеристик R_a и S_m , на 43,5 % меньше рассчитанного по формулам, приведенным в СП 399.1325800.2018.

Таблица 1

**Значения гидравлических характеристик труб,
рассчитанных по разным зависимостям**

Table 1

Hydraulic characteristics of pipes calculated according to different dependences

Характеристики шероховатости труб		Гидравлические характеристики труб							
		По нормативной зависимости (3)					По формуле Продоуса – Якубчика (9)		
		$q, \text{ м}^3/\text{с}$	$d_{\text{вн}}^p, \text{ м}$	$V_p, \text{ м/с}$	λ	$i_p, \text{ мм/м}$	$d_{\text{вн}}^{\phi}, \text{ м}$	$V_{\phi}, \text{ м/с}$	$i_{\phi}, \text{ мм/м}$
$R_a, \text{ мкм}$	0,41	0,3	0,5528	1,25	0,01331	0,001917	0,5528	1,25	0,000835
			Процент расхождения расчетных и фактических значений (по формулам (3) и (9))						
$S_m, \text{ мкм}$	6800		–	–	–	–	0	0	53,31

В табл. 2 приведены значения коэффициента гидравлического сопротивления λ и удельных потерь напора i , полученные по формуле, рекомендованной СП 399.1325800.2018, и формуле Продоуса – Якубчика (9) при разных скоростях движения воды в трубе.

Таблица 2

**Значения гидравлических характеристик труб,
рассчитанных по различным методикам**

Table 2

Hydraulic characteristics of pipes calculated by different methods

Скорости потока $V, \text{ м/с}$	0,5	1,0	1,5	2	2,5
По нормативной зависимости (3)					
λ	0,01536	0,01375	0,01297	0,01247	0,01211
$i, \text{ мм/м}$	0,00035	0,00127	0,00269	0,00460	0,00698
По формуле Продоуса – Якубчика (9)					
λ	0,01601	0,01346	0,01217	0,01132	0,01071
$i, \text{ мм/м}$	0,00037	0,00124	0,00252	0,00418	0,00617

По данным табл. 2 на рис. 2 приведен график зависимости $i_{\phi} = f(V_{\phi})$ для скоростей в диапазоне значений $V_{\phi} = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 \text{ м/с}$.

Из графика следует, что значения удельных потерь напора на единицу длины трубопровода i_{ϕ} , рассчитанного по разным зависимостям, отличаются, и эти отклонения увеличиваются при возрастании скорости и превышают значение 13 %. Значение λ , рассчитанное по зависимости (9), следует считать бо-

лее точным, т. к. оно наиболее полно характеризует форму и структуру шероховатости внутренней поверхности трубы.

Сравнение результата гидравлического расчета труб по справочному пособию Шевелева [15] дает для условия задачи расхождение значений коэффициента λ в сравнении с результатом расчета по формуле (9) 68,65 %, т. е. при гидравлических расчетах труб из полимерных и металлополимерных материалов использовать таблицы Шевелева не рекомендуется.

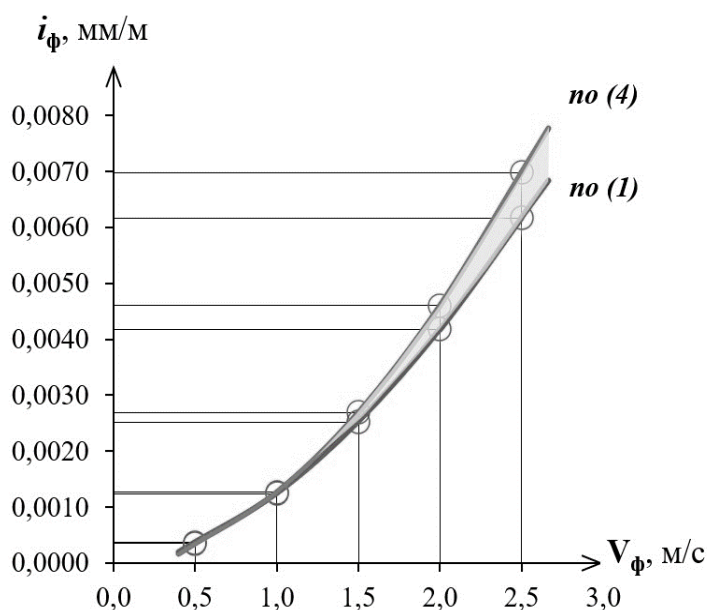


Рис. 2. Графики зависимости $i_{\phi} = f(V_{\phi})$
Fig. 2. Dependences $i_{\phi} = f(V_{\phi})$

С учетом этого в работах авторского коллектива настоящей статьи была разработана методика производственного контроля значений параметров шероховатости внутренней поверхности труб из разных полимерных материалов, позволяющая прогнозировать значение λ по измеренным с помощью профилометра значениям характеристик шероховатости труб R_a и S_m , зная которые, в заводских условиях можно рассчитывать по формуле (1) значения λ и далее по формуле Дарси – Вейсбаха (2) вычислять значения i_{ϕ} .

В табл. 3 приведены значения параметров шероховатости труб R_a и S_m , полученные по данным исследования большого количества образцов труб из разных полимерных материалов, а также значения гидравлических уклонов, подсчитанные для рассматриваемого выше примера трубопроводов из разных материалов с диаметром условного прохода 600 мм при расходе 300 л/с.

В этом случае $d_{\text{вн}}^p = d_{\text{н}} - 2e$, мм, рассчитано по нормативной зависимости СП 399.1325800–2018, где $d_{\text{вн}}^p$ – расчетный внутренний диаметр трубы, мм; $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр трубы, мм; e – толщина стенки трубы, мм.

Таблица 3

**Гидравлические и геометрические характеристики труб
из разных полимерных и металлополимерных материалов**

Table 3

Hydraulic and geometrical parameters of polymer and metal-polymer pipes

Заданный расход q , л/с	Показатели	Материал труб диаметром 630 мм из полимерного сырья				
		ПНД ПЭ 100 по ГОСТ 18599–2001	ПВХ по ГОСТ 32413–2013	Стеклопластик СП по ГОСТ Р 54560–2015	ВЧШГ с ПУ	Сталь с полимерным покрытием Америкот-391
		Гидравлические характеристики труб и их шероховатость				
300	$d_{\text{вн}}^{\text{P}^*}$, мм	554,6	631,9	591,9	613,0	616,0
	V_p , м/с	1,24	0,96	1,09	1,02	1,01
	i_p^* , мм/м	0,00180	0,00096	0,00131	0,00110	0,00107
	R_a , мкм	0,41	0,35	0,37	0,304	0,298
	S_m , мкм	6 800	7 600	7 800	8 900	8 200

* Доля в процентах от использования труб из конкретного вида материала.

Из данных табл. 3 следует, что:

– гидравлические и геометрические характеристики сравниваемых труб отличаются по причине разной толщины стенок труб e по государственным стандартам для каждого вида материала;

– наиболее выгодным, имеющим наименьшие потери напора, следует считать трубопровод из ПВХ по ГОСТ 32413–2013.

Выводы

Изложенные в статье материалы позволяют сделать следующие выводы:

1. Необходимо проведение дополнительных исследований шероховатости внутренней поверхности труб из разных видов полимерных материалов с последующей разработкой нормативных требований на величину коэффициента эквивалентной шероховатости K , и внесение их в действующий СП 399.13258800.2018.

2. Для выполнения гидравлического расчета и обоснования выбора диаметров труб из конкретных видов полимерных материалов необходимо разработать сводные (общие) таблицы для гидравлического расчета трубопроводов из разных полимерных и металлополимерных материалов с учетом фактических значений характеристик шероховатости труб R_a и S_m .

3. Внести в государственный стандарт на трубы из разных полимерных и металлополимерных материалов (по виду) требования обязательного производственного контроля значений параметров шероховатости R_a и S_m на партии выпускаемых труб, которые должны указываться на производстве в Техническом паспорте продукции на каждую конкретную партию (заказ). Это позво-

лит по формуле (9) Продоуса – Якубчика рассчитывать величины значений λ , а затем по формуле (3) рассчитывать значения удельных потерь напора $1000i$.

Повышение точности гидравлического расчета трубопроводов из полимерных материалов предусматривает использование при этом расчетной зависимости (9), учитывающей значения высотного R_a и шагового S_m параметров шероховатости труб по ГОСТ 2789–73 с помощью приборов профильного метода МИ 41–75.

Формула (9) обладает практической особенностью – учитывает изменение фактических значений параметров шероховатости труб, которые в первую очередь зависят от качества исходного полимерного сырья, температуры охлаждения готовой трубы и других технологических факторов.

Достоинством формулы (9), кроме повышенной точности, подтвержденной конкретным примером, является возможность с ее помощью прогнозировать гидравлические характеристики труб, изменяя (регулируя) значения их параметров шероховатости R_a и S_m .

Впервые в отечественной практике приводятся выборки из таблиц для гидравлического расчета водопроводов из ПВХ, стеклопластика (СП) и металлических труб с полимерным покрытием «Амеркот-391».

Авторами составлены обобщенные таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб из разных видов полимерных материалов с разной шероховатостью их внутренней поверхности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Продоус О.А., Якубчик П.П. Влияние гидравлических характеристик труб из полимерных материалов на величину фактических потерь напора в трубопроводах // Инженерные системы. 2023. № 1. С. 46–50.
2. Продоус О.А., Васильева М.А. Упрощенный вид нормативной зависимости для проведения гидравлических расчетов трубопроводов из полимерных материалов // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 9. С. 53–55.
3. Фоминых А.В., Тельминов А.В., Ковишова Н.А. Зависимость коэффициента потерь на трение по длине трубы в гидравлических системах АПК // Вестник Курганской ГСХА. 2018. № 3 (27). С. 79–82.
4. Абдуламид Л.С., Орлов В.А., Джумагулова Н.Т. Гидравлический эксперимент на безнапорном трубопроводе из полимерного материала // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 4. С. 487–500.
5. Воронов Ю.В., Журов В.Н. Пластмассовые трубы, их характеристики и область применения. Стокгольм, Швеция : NPG, 2000. 114 с.
6. Добромислов А.Я., Продоус О.А., Шашкова И.Л. О качестве внутренней поверхности пластмассовых труб // Водоснабжение и санитарная техника. 1987. № 5. С. 6–8.
7. Добромислов А.Я., Продоус О.А. О связи между эквивалентной равномерно-зернистой шероховатостью и параметрами физической шероховатости труб из различных материалов // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1987. № 5. С. 92–96.
8. Продоус О.А. Таблицы для гидравлического расчета труб напорных из полиэтилена : справочное пособие. 3-е изд., доп. Санкт-Петербург : ООО «Свое издательство», 2017. 240 с.
9. Продоус О.А., Якубчик П.П., Шлычков Д.И. Особенности гидравлического расчета водопроводов из металлических, полимерных и металлополимерных труб. Терминологический словарь по наружным сетям водоснабжения и канализации. Москва : Перо, 2023. 288 с.
10. Продоус О.А. Влияние колебаний значений параметров, входящих в нормативную зависимость СП 40-102–2000, на величину потерь напора в трубах из разных полимерных материалов // Инженерные системы. 2019. № 4. С. 50–53.

11. Методика измерения параметров шероховатости поверхности по ГОСТ 2789–73 при помощи приборов профильного метода. МИ 41–75. Москва : Изд-во стандартов, 1975. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293815/4293815845.htm>
12. Mokhov A.I., Komarov N.M., Abrosimova I.A. Information model of intelligent support for effective decisions // Building Life-cycle Management. Information Systems and Technologies: Selected Papers. Cham : Springer International Publishing, 2022. P. 191–198.
13. Orlov V., Zotkin S. Influence of the temperature factor on the hydraulic re-sistance of pressure pipes // E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2021. V. 263. P. 04004.
14. Продоус О.А., Якубчик П.П. Гидравлический расчет трубопроводов из полимерных материалов с учетом параметров шероховатости внутренней поверхности труб // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 11. С. 55–60.
15. Шевелев Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета стальных, чугунных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных водопроводных труб. 5-е изд., доп. Москва : Стройиздат, 1973. 112 с.

REFERENCES

1. Prodous O.A., Yakubchik P.P. Influence of hydraulic characteristics of polymer pipes on actual pressure losses. *Inzhenernye sistemy*. 2023; (1): 46–50. (In Russian)
2. Prodous O.A., Vasilyeva M.A. A simplified type of regulatory dependence for hydraulic calculations of polymer pipelines. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2017; (9): 53–55. (In Russian)
3. Fomin A.V., Telminov A.V., Kovshova N.A. Dependence of friction loss coefficient on pipe length in hydraulic systems. *Vestnik Kurganskoi GSKhA*. 2018; 3 (27): 79–82. (In Russian)
4. Abdulamir L.S., Orlov V.A., Dzhumagulova N.T. Hydraulic experiment on a pressure-free pipeline made of polymer material. *Vestnik MGSU*. 2022; 17 (4): 487–500. (In Russian)
5. Voronov Yu.V., Zhurov V.N. Plastic pipes, their characteristics and scope of application. Stockholm, Sweden: NPG, 2000. 114 p. (In Russian)
6. Dobromyslov A.Ya., Prodous O.A., Shashkova I.L. Quality of inner surface of plastic pipes. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 1987; (5): 6–8. (In Russian)
7. Dobromyslov A.Ya., Prodous O.A. Relationship between equivalent uniform-grained roughness and physical roughness parameters of pipes made of different materials. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1987; (5): 92–96. (In Russian)
8. Prodous O.A. Tables for hydraulic calculation of polyethylene pressure pipes. 3rd ed., Saint-Petersburg: ООО "Svoe izdatel'stvo", 2017. 240 p. (In Russian)
9. Prodous O.A., Yakubchik P.P., Shlychkov D.I. Hydraulic calculation of water pipelines made of metal, polymer and metal-polymer pipes. Terminological dictionary on outdoor water supply and sewerage networks. Moscow: Pero, 2023. 288 p. (In Russian)
10. Prodous O.A. Different values of parameters included in SP 40-102–2000 affecting head losses in polymer pipes. *Inzhenernye sistemy*. 2019; (4): 50–53. (In Russian)
11. Method of measuring surface roughness parameters according to GOST 2789–73 using profile method devices. Moscow, 1975. Available: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293815/4293815845.htm> (In Russian)
12. Mokhov A.I., Komarov N.M., Abrosimova I.A. Information model of intelligent support for effective decisions. Building Lifecycle Management. Information Systems and Technologies: Selected Papers. Cham: Springer International Publishing, 2022. Pp. 191–198.
13. Orlov V., Zotkin S. Influence of the temperature factor on the hydraulic resistance of pressure pipes. *E3S Web of Conferences*. 2021; 263: 04004.
14. Prodous O.A., Yakubchik P.P. Hydraulic calculation of polymer pipelines taking into account inner surface roughness. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2020; 11: 55–60. (In Russian)
15. Shevelev F.A. Tables for hydraulic calculation of steel, cast iron, asbestos cement, plastic and glass water pipes. 5th ed., Moscow: Stroyizdat, 1973. 112 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Продоус Олег Александрович, докт. техн. наук, профессор, независимый эксперт по «Водоснабжению и водоотведению», 190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 37/1, лит. А, пом. 1-Н, pro@enco.su

Якубчик Петр Петрович, канд. техн. наук, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, P.jakub@mail.ru

Терехов Лев Дмитриевич, докт. техн. наук, профессор, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, levter4@rambler.ru

Шлычков Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, ShlyichkovDI@mgsu.ru

Authors Details

Oleg A. Prodous, DSc, Professor, Independent Expert "Water and Sanitation", 37/1, Moskovskii Ave., Letter A, Build. 1-N, 190005, Saint-Petersburg, Russia, pro@enco.su

Piotr P. Yakubchik, DSc, A/Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskii Ave., 190031, Saint-Petersburg, Russia, P.jakub@mail.ru

Lev D. Terekhov, DSc, Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskii Ave., 190031, Saint-Petersburg, Russia, levter4@rambler.ru

Dmitrii I. Shlyichkov, PhD, A/Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia, ShlyichkovDI@mgsu.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 25.11.2023
Одобрена после рецензирования 07.12.2023
Принята к публикации 16.01.2024

Submitted for publication 25.11.2023
Approved after review 07.12.2023
Accepted for publication 16.01.2024

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

CONSTRUCTION TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 152–162.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 152–162.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 69.003.13

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-152-162

EDN: KOB DJV

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНВЕСТИЦИОННО-СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**Ирина Александровна Саенко, Татьяна Александровна Шпенькова,
Ярослав Дмитриевич Саенко**

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются аспекты организации системы управления инвестиционно-строительными проектами с применением технологий информационного моделирования, приведены характеристики элементов системы управления этапом строительства при определяющей роли информационной модели объекта капитального строительства при ее построении.

Актуальность. Одним из ключевых принципов развития строительной отрасли до 2030 г. является переход на технологии информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства. Процесс цифровой трансформации не только затрагивает и изменяет конечный продукт, но и требует полноценного реинжиниринга внутренних процессов компании.

На этой основе была определена *цель* работы – проведение системного анализа управления этапом строительства в рамках реализации инвестиционно-строительного проекта в условиях цифровой трансформации.

В результате проведенного исследования разработана модель системы управления жизненным циклом объекта капитального строительства, основой которой является его информационная модель. Кроме того, обозначены две основные проблемы, требующие решения для успешного внедрения разработанной системы управления в практику. К ним относятся: нехватка кадров для организации проектных и строительных работ в условиях цифровизации и наполняемость рынка предложениями программного обеспечения, удовлетворяющего требованиям заинтересованных сторон.

Выводы. Решение данных проблем на макроуровне способно увеличить показатели финансовой деятельности как отдельной компании, так и строительной отрасли в целом.

Ключевые слова: инвестиционно-строительный проект, система, цифровизация, информационная модель объекта капитального строительства, управление, модуль, планирование, мониторинг, изменения

Для цитирования: Саенко И.А., Шпенькова Т.А., Саенко Я.Д. Исследование системы управления инвестиционно-строительными проектами с применением технологии информационного моделирования // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 152–162. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-152-162. EDN: KOB DJV

ORIGINAL ARTICLE

INVESTMENT AND CONSTRUCTION PROJECT MANAGEMENT SYSTEM WITH THE USE OF BUILDING INFORMATION MODELING

Irina A. Saenko, Tat'yana A. Shpen'kova, Yaroslav D. Saenko
Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. One of the key principles of the construction industry development until 2030 is the transition to building information modeling at all stages of the life cycle of the capital construction object. The process of digital transformation not only affects and changes the final product, but also requires a full-fledged re-engineering of the company's internal processes.

Purpose: The aim of this paper is to conduct the systems analysis of construction stage management within the framework of investment and construction project realization in the conditions of digital transformation.

Research findings: The model of the life cycle management system of the capital construction object is developed using basis the information model.

Value: Two main problems are outlined, that must be solved to implement the developed management system into practice.

Keywords: investment and construction project, system, digitalization, building information modeling, capital construction object, management, module, planning, monitoring

For citation: Saenko I.A., Shpen'kova T.A., Saenko Ya.D. Investment and construction project management system with the use of building information modeling. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 152–162. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-152-162. EDN: KOB DJV

Введение

Цифровизация экономики России является ключевой задачей настоящего времени. В инвестиционно-строительной сфере она основана на применении технологий информационного моделирования (ТИМ) в практике управления инвестиционно-строительными проектами [1, 2]. Инвестиционно-строительный проект – это многоуровневая система управления, которая требует постоянного мониторинга внутренней среды и внешних факторов, учет которых в условиях динамичности современного мира крайне необходим для принятия грамотных управленческих решений, направленных на обеспечение эффективного исполь-

зования инвестиций и реализации проекта в соответствии с обозначенными сроками, стоимостью и качеством исполнения всех предусмотренных мероприятий. В этой системе происходит процесс создания нового объекта капитального строительства или реконструкции (реставрации) существующего, а сам процесс становится искусством курирования человеческих и материальных ресурсов, которое имеет значение на протяжении всего жизненного цикла не только инвестиционного проекта, но и объекта строительства в целом.

Цель исследования заключается в рассмотрении с позиции теории и практики управления проектами особенностей построения системы управления инвестиционно-строительными проектами с применением технологий информационного моделирования. Инструменты управления инвестиционно-строительным проектом должны соответствовать современным технологическим изменениям и развитию цифровизации экономики, что позволяет улучшить качество управления проектами и ускорить процесс принятия решений, а в целом способствует повышению эффективности инвестиций и созданию качественной строительной продукции.

Методы исследования

В ходе проведения исследования для достижения цели применялись такие методы, как системный подход, контент-анализ, интуитивное моделирование и прием обобщения. Информационной базой исследования стали открытые информационные источники, отражающие вопросы цифровизации строительной отрасли.

Результаты исследования

В «Кодексе знаний об управлении проектами» проект – некоторая задача с определенными исходными данными и требуемыми результатами, обуславливающими способ ее решения. Проект включает в себя замысел, средства его реализации и получаемые в процессе реализации результаты [3].

Методология Института управления проектами (Project Management Institute) для жизненного цикла проекта определяет пять групп процессов: инициация, планирование, исполнение, мониторинг, закрытие (рис. 1) [3].



Рис. 1. Группы процессов для жизненного цикла проекта [4]

Fig. 1. The project lifecycle [4]

Рассмотрим особенности процессов для инвестиционно-строительного проекта.

Инициация проекта – это процесс, связанный с разработкой экономического обоснования реализации инвестиционно-строительного проекта, результатом которого является решение о необходимости строительства или реконструкции (реставрации) объекта.

Планирование проекта – непрерывный процесс, направленный на определение и согласование наилучшего способа действий для достижения по-

ставленных целей инвестиционно-строительного проекта с учетом всех факторов его реализации, который начинается после принятия решения об инициации проекта и сопровождает весь жизненный цикл ввиду происходящих изменений как внутри проекта, так и во внешнем окружении, что часто требует уточнения планов, а иногда возникает необходимость значительного перепланирования работ и мероприятий.

Исполнение проекта – это процесс обеспечения реализации плана инвестиционно-строительного проекта путем организации выполнения включенных в него мероприятий и координации исполнителей. При бизнес-моделировании процесса управления инвестиционно-строительным проектом – это последовательность стадий «Е» – engineering (выполнение проектно-изыскательских работ и разработка проектной документации), «Р» – procurement (поставки) и «С» – construction (выполнение строительно-монтажных работ).

Стадия «Е» является определяющей, на ней закладываются потребительские характеристики объекта строительства и определяется прогнозный объем инвестиций для реализации проекта.

Стадия «Р» может начинаться уже во время разработки проектной документации, когда появляются первые спецификации на материалы и оборудование. Завершение стадии возможно в момент подготовки к сдаче готового объекта.

Стадия включает три обязательных этапа:

- поиск технических специалистов для комплектации оборудования;
- закупка оборудования и материалов отделом снабжения с выбором наилучшей цены, сроков поставок и минимальных рисков;
- логистика, т. е. управление и доставка купленного оборудования и материалов.

Стадия «С» не может начаться без получения положительного заключения экспертизы на проектную документацию. Заканчивается одновременно с вводом объекта в эксплуатацию.

Мониторинг проекта – это процесс сравнения плановых и фактических показателей выполнения проекта, анализ отклонений и их причин, оценка возможных альтернатив и принятие, в случае необходимости, решений о корректирующих действиях для ликвидации нежелательных отклонений.

Закрытие проекта – процесс формального окончания работ и завершения всех запланированных мероприятий инвестиционно-строительного проекта, обуславливающих целесообразность вложения инвестиций. Схема реализации системы применительно к инвестиционно-строительным проектам представлена на рис. 2.

В проведенном исследовании в качестве объекта выступила система управления жизненным циклом инвестиционно-строительного проекта на стадии строительства объекта, отличительной особенностью которой является применение в управленческих процессах технологий информационного моделирования, призванных повысить эффективность функционирования этой системы и обеспечить максимальную производительность ее элементов, оптимизацию затрат и результативность процессов, связанных с управлением объектами капитального строительства.

Для описания объекта настоящего исследования как системы используем IDEF0 – методологию функционального моделирования и графическую нотацию, предназначенную для формализации и описания бизнес-процессов. Отличительной особенностью является ее акцент на соподчиненности объектов [7]. Структура методологии представлена четырьмя компонентами.

1. Входящие – вводные факторы, которые ставят определенную задачу.
2. Исходящие представлены в виде конечного продукта работы системы.
3. Механизмы служат инструментом для управления системой.
4. Контроль – рычаги управления системой.



Рис. 2. Схема реализации инвестиционно-строительного проекта (выполнено авторами на основе [4–6])

Fig. 2. Schematic of investment and construction project implementation (performed by the authors on the basis of [4–6])

В системе, представленной на рис. 3, входящими элементами являются: зарубежный опыт, информация из внешних источников и консалтинговые услуги. Эти составляющие – первоисточники для реализации задачи «управление жизненным циклом объекта капитального строительства с применением технологии информационного моделирования». На их основе возможна разработка всех мероприятий, необходимых для управления системой.

Реализация контроля над системой осуществляется на основе нормативно-технических документов (например, «СП 48.13330.2019. Свод правил. Организация строительства СНиП 12-01-2004»), стратегии развития эконо-

мики страны и строительного комплекса, а также путем выполнения определенного должностными инструкциями функционала сотрудниками организаций, участвующих в реализации инвестиционно-строительного проекта. Механизмы выполнения работы системы – это информационная модель объекта капитального строительства, профессиональные компетенции задействованных специалистов организаций, участвующих в реализации инвестиционно-строительного проекта, специализированное программное обеспечение, ЭВМ и технические средства. В результате на выходе получаем готовый продукт в виде реинжиниринга бизнес-процессов, а также повышения уровня цифровизации всей строительной отрасли.



Рис. 3. Графическая нотация управления строительными проектами на основе ТИМ (выполнено авторами на основе [7–10])

Fig. 3. Construction project management based on BIM (performed by the authors on the basis of [7–10])

Информационная модель объекта капитального строительства представляет собой центральный элемент системы управления и включает в себя структурированные данные об объекте капитального строительства, в том числе информацию об объемно-планировочных и конструктивных решениях, список конструкций, материалов и их характеристики и т. д. Именно информационная модель является основополагающей для построения всей системы управления жизненным циклом объекта капитального строительства и обеспечивает единую и точную основу данных для всех модулей этой системы (рис. 4), процессы в которой характеризуют стадию исполнения при реализации инвестиционно-строительных проектов.

Приведем характеристики указанных на рис. 4 элементов системы управления инвестиционно-строительным проектом с применением технологий информационного моделирования на стадии строительства.

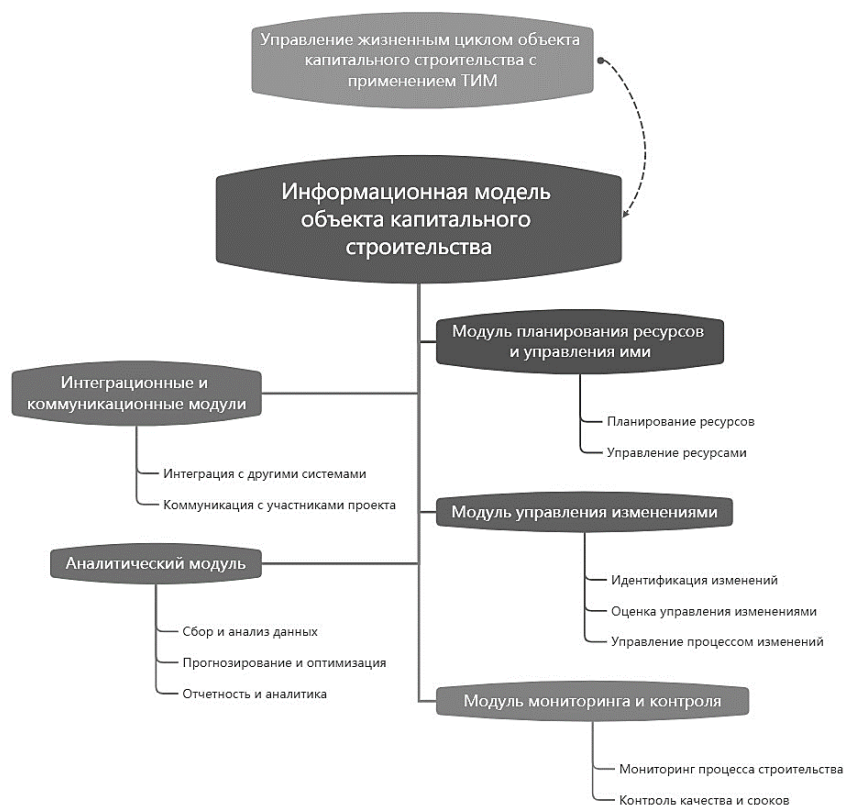


Рис. 4. Информационная модель как основа построения системы управления реализацией инвестиционно-строительного проекта на стадии строительства (выполнено авторами на основе [11, 12])

Fig. 4. Information model as a basis for management system for investment and construction project implementation at the construction stage (performed by the authors on the basis of [11, 12])

Информационная модель объекта капитального строительства – основополагающий элемент системы, который дает возможность создания трехмерной цифровой информационной модели объекта капитального строительства и включает в себя все необходимые данные, параметры и характеристики, что позволяет визуализировать и анализировать проектируемый объект, проводить проверки на соответствие требованиям и оптимизировать его конструкцию.

Планирование и управление ресурсами – элементы в системе, которые позволяют разрабатывать детальные планы и графики выполнения работ, а также эффективно распределять ресурсы: материалы, оборудование и трудовые ресурсы, что помогает сократить время выполнения работ и мероприятий, минимизировать затраты и улучшить производительность. Модуль планирования и управления ресурсами, по мнению авторов, является ключевым компонентом системы управления объектом капитального строительства на стадии строительства. Материалы и сборные конструктивные элементы, строительная техника, механизмы и оборудование, перемещение рабочих и финансовых потоков – все представленные элементы нуждаются в грамотном

планировании, чтобы не создавать временных простоев на строительной площадке, которые в конечном итоге приведут к удорожанию этапа строительства и, как следствие, конечной продукции.

Мониторинг и контроль – это элементы системы, благодаря которым предоставляется возможность непрерывного «наблюдения» за ходом выполнения строительно-монтажных работ, а также обеспечивается соблюдение установленных сводами правил и нормативами стандартов качества. Основная задача модуля мониторинга и контроля – отслеживание и контроллинг процессов строительства и соблюдение графиков календарного планирования, появляется возможность для создания предиктивной аналитики по имеющимся сведениям. На их основе главные специалисты могут давать временные и финансовые прогнозы, принимать решения по повышению эффективности производства.

Необходимость наличия цифровой информационной модели обусловлена возможностью поиска ошибок и коллизий (пространственных или временных). Их предотвращение на стадии планирования способствует разработке мер по их минимизации и исключению в будущем, что выгодно для экономической стороны проекта.

Ни один проект не обходится без правок и изменений на этапе его реализации. Такими изменениями могут стать новые требования в градостроительной политике, требования заказчика или экспертизы, погодные условия, которые влекут за собой сдвиг графика работ, поэтому *модуль управления изменениями* отвечает за структурированный и систематический подход внедрения этих изменений в проект: как они повлияют на сроки и стоимость проекта, на использование дополнительных материальных и трудовых ресурсов, на внешнюю среду. Информационная среда дает единое пространство хранения всех возможных требований и изменений, и заинтересованные стороны могут получить к ним доступ в любое время.

Кроме основных элементов (планирование и управление ресурсами, мониторинг и контроль, управление изменениями), система содержит дополнительные модули, которые обеспечивают действенное функционирование вышеприведенных модулей системы управления инвестиционно-строительными проектами.

Быстрый обмен информацией между участниками строительства стал неотъемлемой частью успешно реализованного проекта. *Модули коммуникации и интеграции* предназначены для сокращения сроков передачи информации на основе интеграции между программным обеспечением разных вендоров. Это позволяет координировать действия между специалистами и переходить от одного статуса проекта к другому с экономией времени.

Аналитика данных помогает менеджерам проектов принимать информированные решения и мониторить ход выполнения проекта. *Аналитический модуль* является вспомогательным инструментом специалиста, производящего оценку рисков и прогнозирующего исходы событий. На основе его данных проводят оптимизацию ресурсов и распределение задач, улучшают сотрудничество внутри команды, выявляют области, где необходимо внедрять изменения.

Для внедрения представленной системы управления в коммерческую деятельность компаний, занимающихся реализацией инвестиционно-строительных проектов, необходимы два условия.

Первое – наличие специалистов, подготовленных к работе в условиях цифровизации строительной отрасли, т. к. развитие цифровых технологий способствует тому, что инженеру мало обладать специальными техническими знаниями только в проектировании или управлении строительством, ему также необходимы знания из сфер программирования или больших данных. Базовые знания помогут ускорить работу, создать собственное IT-решение и расширить круг компетенций. Отметим, что сотрудникам необходимо понимать, какими компетенциями они должны обладать в будущем, чтобы оставаться востребованными в строительной сфере, а работодателям и государству создавать условия для формирования этих компетенций, т. е. речь идет о программах обучения и их финансировании.

Вторым фактором, влияющим на успех внедрения, является полная обеспеченность рынка программными средствами, закрывающими разные задачи заказчика. Необходимо создание экосистемы, в которой смогут выполнять свои задачи разные участники строительного процесса: проектировщики и линейные работники, инженеры службы производственно-технического обеспечения и отдела снабжения, специалисты планово-экономического обеспечения и работники бухгалтерии. Единая экосистема позволит минимизировать риск потери данных при передаче из одной программы в другую, а также позволит хранить все данные в едином информационном пространстве. Примером такого программного комплекса служит разработка компании «1С» – «1С: BIM 6D». Это российский интегрированный программный комплекс для цифровизации предприятий строительной отрасли в соответствии с технологией информационного моделирования. В его состав входит система для проектирования Renga от разработчика «Аскон», а также ряд отраслевых решений «1С», позволяющих работать с информационной моделью на всех этапах жизненного цикла строительных объектов [13].

При использовании этого комплекса необходимо его наличие у всех участников инвестиционно-строительного проекта (от заказчика до генерального подрядчика), что может стать проблемой, т. к. во многих организациях имеется свое программное обеспечение для ведения проектов и приобретение другого ПО для реализации одного проекта может стать экономически невыгодным. Решением этой задачи является создание единого формата обмена данными между программами. Здесь появляется вопрос, что будет быстрее и эффективнее: разработка (доработка) единого формата обмена данными, например, существующего уже несколько лет XML-формата [14] или создание с нуля новой программы, объединяющей в себе этапы строительного производства? Строителям искать ответ на этот вопрос необходимо совместно с программистами. Только объединив усилия, можно получить качественный «продукт», который сможет оцифровать процесс управления инвестиционно-строительными проектами.

Заключение

Стратегическая задача развития строительной отрасли – это переход на технологии информационного моделирования на всех этапах жизненного цикла объекта капитального строительства, т. е. их применение в процессе разработки и реализации инвестиционно-строительных проектов. Это требует

системного подхода в управлении, учета при планировании этого процесса ключевой роли информационной модели объекта капитального строительства при формировании модулей системы управления, а также необходимости решения проблем обучения специалистов строительной отрасли и обеспеченности соответствующими программными продуктами. В свою очередь, этот процесс может значительно повысить эффективность, прозрачность и укрепление сотрудничества между участниками инвестиционно-строительных проектов, способствуя достижению успешных результатов и улучшению качества проектной и строительной деятельности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Российская Федерация. Президент.* О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года : Указ Президента Российской Федерации от 21.07.2020 г. № 474 // Официальный интернет-портал правовой информации. 2020. URL: <http://pravo.gov.ru/>
2. *Российская Федерация. Правительство.* Об утверждении Стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ на период до 2030 г. с прогнозом до 2035 г. : Распоряжение Правительства от 31 октября 2022 г. № 3268-р // Официальный интернет-портал правовой информации. 2020. URL: <http://pravo.gov.ru/>
3. *Долматов А.В.* Управление проектами в строительстве. URL: <https://topuch.com/lekciidolmatov-a-v-potovalova-a-a-oglavlenie/index.html> (дата обращения: 01.10.2023).
4. *Бачурина С.С.* Информационное моделирование: методология использования цифровых моделей в процессе перехода к цифровому проектированию и строительству. Ч. 1. Цифровой проектный менеджмент полного цикла в градостроительстве. Теория. Москва : ДМК-Пресс, 2021. 112 с.
5. *Малахов В.И.* Современные технологии управления проектами в строительстве. Москва : Первое издание, 2018. 80 с.
6. *Мазур И.И. и др.* Управление проектами / под общ. ред. И.И. Мазура, В.Д. Шапиро. 6-е изд., стер. Москва : Омега-Л, 2010. 960 с.
7. *Integration Definition for Function Modeling (IDEF0)* / пер. с англ. Р.Х. Кинзябулатова. URL: <https://trinion.org/blog/perevod-standarta-idef0-s-angliyskogo-na-russkiy-yazyk> (дата обращения: 17.09.2023).
8. *Мухин В.И.* Исследование систем управления. Москва : Экзамен, 2003. 384 с.
9. *Борисов А.В., Волков Б.А.* Управление строительным проектированием. Санкт-Петербург : Стройиздат, 1986. 256 с.
10. *Гусакова Е.А., Павлов А.С.* Основы организации и управления в строительстве. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Юрайт, 2023. 648 с.
11. *Калашиников А.А., Ватин Н.И.* Организация, управление и планирование в строительстве. Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та, 2011. 189 с.
12. *Шлапакова Н.А., Белянская Н.М., Глазкова С.Ю.* Основы организации и управления в строительстве. Ч. 1. Организация производств. Пенза : ПГУАС, 2013. 152 с.
13. *IC: BIM 6D* // IC: Отраслевые и специализированные решения. URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/bim6d> (дата обращения: 25.11.2023).
14. *XML схемы в строительстве* // Digital developer. URL: <https://digitaldeveloper.ru/blog/tpost/54e1frt6t1-xml-shemi-v-stroitelstve> (дата обращения: 07.10.2023).

REFERENCES

1. President's Decree N 474, 21.07.2020 of the of the Russian Federation "National development goals of the Russian Federation for the years up to 2030", 2020. Available: <http://pravo.gov.ru/> (In Russian)
2. Government Order N 3268-r, October 31, 2022 "Approval of the strategy for the development of the construction industry, housing and communal services of the Russian Federation for the years 2030 to 2035", 2020. Available: <http://pravo.gov.ru> (In Russian)
3. *Dolmatov A.V.* Project management in construction. Available: <https://topuch.com/lekciidolmatov-a-v-potovalova-a-a-oglavlenie/index.html> (accessed October 1, 2023). (In Russian)

4. *Bachurina S.S.* Informational modeling: Digital models in the transition to digital design and construction. Part 1. Digital project management of full cycle in urban planning. Theory. Moscow: DMK-Press, 2021. 112 p. (In Russian)
5. *Malakhov V.I.* Modern technologies of project management in construction, 1st ed., Moscow, 2018. 80 p. (In Russian)
6. *Mazur I.I., Ed., Shapiro V.D.* Project management, 6th ed., Moscow: Omega-L, 2010. 960 p. (In Russian)
7. Integration definition for function modeling. Available: <https://trinion.org/blog/perevod-standarta-idef0-s-angliyskogo-na-russkiy-yazyk> (accessed September 17, 2023). (Russian translation)
8. *Mukhin V.I.* Research into management systems. Moscow: Ekzamen, 2003. 384 p. (In Russian)
9. *Borisov A.V., Volkov B.A.* Management of construction design. Saint-Petersburg: Stroyizdat, 1986. 256 p. (In Russian)
10. *Gusakova E.A., Pavlov A.S.* Fundamentals of organization and management in construction, 2nd ed., Moscow: Yurait, 2023. 648 p. (In Russian)
11. *Kalashnikov A.A., Vatin N.I.* Organization, management and planning in construction. Saint-Petersburg, 2011. 189 p. (In Russian)
12. *Shlapakova N.A., Belyanskaya N.M., Glazkova S.Y.* Fundamentals of organization and management in construction. Part 1. Organization of productions. Penza, 2013. 152 p. (In Russian)
13. 1C: BIM 6D. Available: <https://solutions.1c.ru/catalog/bim6d> (accessed November 25, 2023). (In Russian)
14. XML schemas in construction. Digital developer. Available: <https://digitaldeveloper.ru/blog/tpost/54e1frt6t1-xml-shemi-v-stroitelstve> (accessed October 7, 2023). (In Russian)

Сведения об авторах

Саенко Ирина Александровна, докт. экон. наук, профессор, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, isaenko@sfu-kras.ru

Шпенькова Татьяна Александровна, магистрант, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, tshpenkova@yandex.ru

Саенко Ярослав Дмитриевич, аспирант, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, saenkoyd@gmail.com

Authors Details

Irina A. Saenko, DSc, Professor, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, isaenko@sfu-kras.ru

Tat'yana A. Shpen'kova, Undergraduate Student, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, tshpenkova@yandex.ru

Yaroslav D. Saenko, Research Assistant, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, saenkoyd@gmail.com

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 163–178.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 163–178.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 692

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-163-178

EDN: KRQYWZ

ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Мохаммад Махди Каширипур, Владимир Александрович Николук
*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. *Актуальность.* В статье рассматривается эффективность и возможность использования современных технологий в строительной индустрии.

Цель исследования: изучение новых тенденций в строительстве, оценка актуальности и эффективности внедрения и использования искусственного интеллекта в строительной индустрии, рассмотрение преимуществ и недостатков исследуемых инноваций в современных реалиях, анализ работоспособности и эффективности применения новых технологий в мировой строительной индустрии.

Материалы и методы: обзор и систематизация научных источников, изучение мнения сторонних экспертов и наблюдателей на ресурсах открытого доступа, порталах частных энтузиастов, вовлечённых в процесс исследования путей внедрения и реализации современных технологий в строительной индустрии.

Результаты и выводы: приведены методы и условия использования современных технологий в мировой практике, освещены недостатки и преимущества технологий, наглядно продемонстрированы результаты их работы. Рассмотрено понятие «искусственный интеллект», раскрыта необходимость его применения в строительной индустрии, проанализированы преимущества и недостатки использования новейших технологий.

Статья предназначена для ознакомления научного сообщества и широкого круга читателей с проведённой исследовательской работой в сфере современных технологий, применяемых в строительной индустрии.

Ключевые слова: искусственный интеллект, строительная индустрия, передовые технологии, строительство, здания и сооружения, архитектура

Для цитирования: Каширипур М.М., Николук В.А. Возможности искусственного интеллекта в строительной индустрии // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 163–178. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-163-178. EDN: KRQYWZ

ORIGINAL ARTICLE

ARTIFICIAL INTELLIGENCE
IN CONSTRUCTION INDUSTRY

Mohammad M. Kashiripoor, Vladimir A. Nikolyuk

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Purpose: The aim of this work is to study new trends in construction, their advantages and disadvantages, application of innovations, analysis of operability and efficiency of new technologies in the global construction industry.

Methodology/approach: The literature review and systematization, study the expert opinion on open access resources, portals of private enthusiasts involved in seeking for ways to introduce and implement modern technologies in the construction industry.

Research findings: The paper presents methods and conditions of using modern technologies in the world practice, disadvantages and advantages of technologies, the concept of artificial intelligence and its application in the construction industry.

Value: The study of currently used modern technologies in the construction industry and their implementation in world practice.

Keywords: artificial intelligence, construction industry, advanced technologies, construction, architecture

For citation: Kashiripoor M.M., Nikolyuk V.A. Artificial intelligence in construction industry. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 163–178. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-163-178. EDN: KRQYWZ

Введение

В строительной индустрии всего мира происходит активное внедрение новых технологий. При возведении зданий и сооружений различной сложности применяются технологии искусственного интеллекта, способствующие улучшению качества труда, понижению экономических затрат, повышению безопасности производства работ. Учитывая востребованность и эффективность внедрения искусственного интеллекта в строительную индустрию, мировое научное сообщество стало анализировать работы, проведённые под руководством инженеров, внедривших искусственный интеллект в рабочий процесс, и выдвигать своё видение возможности применения данной инновации во многих направлениях строительства. Большое количество компаний начали пересматривать свои методы ведения рабочих процессов в попытке внедрить и тем самым изменить в положительную сторону модели ведения бизнеса.

Анализ результатов применения тех или иных инноваций в строительной индустрии находит отражение в публикациях международного уровня, что влечет начало новой стадии развития технологического прогресса в строительстве. Повышение обществом планки развития технологических возможностей достигло своего пика, публицисты и учёные стали активно делиться мнениями и теориями по поводу внедрения прогрессивной технологии, способствующей упростить и выгодно заменить убыточные направления инноваций прошлых лет [1, 2, 3]. Это привело к появлению новых терминов и определений, систем и технологий, а также процессов, способствующих достижению желаемого результата [2, 4, 5].

Анализ научных источников позволил выявить проблемы, решение которых возможно на основе применения одной из технологий, повлекших введение нового термина: «искусственный интеллект». В 2020 г. мир охватила пандемия коронавирусной инфекции, ежедневно уносившая жизни сотен людей из-за непосредственного контакта друг с другом. В первую очередь данная проблема дала понять, что при внедрении искусственного интеллекта можно избежать пандемических катастроф благодаря отказу без необходимости в контактировании людей между собой. Во вторую очередь, благодаря введению данной инновации, можно повысить экономические показатели в такой последовательности: отказ от применения ежедневной многотысячной живой силы, что способствует меньшему контактированию [6, 7], следовательно, уменьшается риск развития болезней и появления пандемий, из чего вытекает уменьшение финансовых затрат на оплату труда, который заменяется менее затратными действиями – обучением и контролем искусственного интеллекта, для которых достаточно пары человек, в отличие от задействования в этом же направлении сотен людей.

Целью настоящего исследования является изучение новых тенденций в строительной индустрии, актуальности и эффективности внедрения искусственного интеллекта в рассматриваемую сферу. Осуществляется попытка систематизировать данные нововведения, получить результаты, которыми можно будет руководствоваться при составлении вывода о проделанной работе и рекомендаций последующего применения изученных технологий в реальной жизни.

Задачи, решение которых приведёт к заявленной цели:

- рассмотрение искусственного интеллекта как инструмента в строительной индустрии;
- изучение и понятие новых тенденций строительной индустрии;
- определение потенциально необходимых и полезных инноваций в строительной сфере;
- оценка экономического результата внедрения новых технологий;
- рассмотрение общественной безопасности при использовании нововведений.

Методами исследования стали обзор научной литературы и интернет-источников, анализ изученного материала и практических примеров, связанных с поставленной задачей, составление вывода и личного мнения о проделанной работе.

Новейшие технологии в строительной индустрии

Инновации в строительной индустрии появляются ежедневно. Частично это взаимозаменяемый, частично доработанный и внедрённый впервые продукт. Выделив наиболее значимые особенности строительной индустрии, такие как экономичность, трудозатратность, энергоэффективность, значимость для общества, следует обратить внимание на технологии, отвечающие этим аспектам. Также нельзя исключать технологии, соответствующие одному или нескольким из приведенных параметров, поскольку на практике возможен симбиоз на основе двух и более продуктов, которые будут способствовать со-

зданию нового. На данный момент большую востребованность в строительной индустрии имеют:

Blockchain (цепочка блоков) – это технология, связанная с шифрованием и хранением данных, расположенных на компьютерах, связанных между собой одной сетью. Данная технология позволяет в любое время суток, из любой точки земли обратиться к необходимой информации, связанной с объектом, зашифрованной и хранящейся на отдельном сервере.

Нанотехнологии – область науки, связанная с производством и разработкой материалов, имеющих изменённую атомную структуру. Основной принцип заключается в манипуляции расстояниями между необходимыми атомами и молекулами, за счёт чего материалы приобретают новые свойства. В строительной индустрии наноматериалы делятся на категории следующим образом: материалы, имеющие малое числа структурных элементов; малоразмерные элементы; массивные строительные изделия; композиты.

BIM (Building Information Modeling) – технология, позволяющая создавать модели зданий, а также предотвращать появление расхождений и ошибок ещё на этапе проектирования сооружения. Данная технология близко связана с технологией *Blockchain*, поскольку модели и проекты, разрабатываемые с её помощью, можно объединить за счёт совместной работы нескольких отделов проектирования путём публикации и сохранения полученных материалов на совместном сервере.

Metaverse (Метавселенная) – виртуальное пространство, позволяющее людям взаимодействовать между собой как в нём, так и во внешней реальности, с добавлением визуальных изменений окружающей среды. Данная технология дает возможность производить работы на выбранном объекте с визуальным изменением окружающей среды. Например, появляется возможность обнаружить нехватку несущей способности здания в ситуации, связанной с метеорологическим влиянием на сооружение. Это позволит вовремя внести изменения в используемые конструкции и избежать выявленной проблемы в процессе эксплуатации здания [2].

3D-печать – технология, позволяющая печатать необходимые элементы и конструкции, которые можно использовать при проведении строительных работ. Кроме того, данная технология используется для создания (печати) стен, перегородок. Реальным примером эффективности применения данной технологии служит напечатанный дом [8].

Модульное строительство – метод, позволяющий производить сборку здания из заготовленных модулей, произведённых вне строительной площадки (на заводе). Данный подход сокращает затрачиваемое время на постройку здания и улучшает качество конструкции.

Переработанные и экологически чистые материалы – в современном мире уделяют большое внимание экологическим проблемам, возникающим из-за использования вредных и сложно перерабатываемых материалов, разрушающих окружающую среду [9]. Применение переработанных (пластик, автомобильные покрышки, макулатура и др.) и экологически чистых материалов (древесина, бамбук, камень, глина и др.) позволяет подойти к процессу строительства более бережно с точки зрения экологии и исключить использование опасных и вредных материалов.

Энергосберегающие методы – к данному пункту можно отнести применение солнечных батарей, тепловых насосов и других систем, позволяющих собирать и в последующем использовать накопленную энергию, снижая энергозатраты и применяя экологически чистые технологии.

Роботизация – технология, позволяющая использовать роботизированную технику для выполнения трудных задач, таких как перемещение большого количества тяжёлых материалов, установка сложных конструкций. Благодаря данной технологии можно добиться уменьшения травматизма рабочих, сокращения времени на выполнение поставленной задачи, повышения качества выполняемой работы.

Датчики – в современном мире датчики используются на стратегически важных предприятиях, в зданиях особого назначения или же в зданиях, способных вмещать большое количество человек, чтобы отслеживать изменения, способные повлиять на эффективность и безопасность человеческой жизни. Кроме того, данная технология применяется для управления системами здания, для мониторинга и аналитики происходящего, в системах канализации, вентиляции и отопления.

В источниках об инновациях в строительной индустрии обнаружилась технология, привлекающая выразительными перспективами на будущее, а именно «Искусственный интеллект» (ИИ), или *Artificial intelligence (AI)*. Проанализировав функционал всех вышеперечисленных инноваций, применяемых ведущими мировыми компаниями, и изучив возможности ИИ, можно заключить, что данная технология позволяет объединить их в одно целое, благодаря чему можно будет добиться значительного прогресса в строительной индустрии и перейти на новый этап развития. В настоящее время мировыми лидерами в разработке искусственного интеллекта являются США, Китай, Великобритания, Индия, Германия – в этих странах созданы наиболее благоприятные условия для развития данного направления.

Искусственный интеллект (Artificial intelligence)

Четвёртая промышленная революция стремительно набирает обороты во всём мире, внедряясь в том числе и в строительную индустрию, в которой можно выделить три основных направления: проектирование, строительство, обслуживание. Каждое из этих направлений имеет свои особенности и задачу для достижения блестящего результата в производстве и выполнении работ, связанных с тем или иным направлением, задействуются высококвалифицированные специалисты, которым свойственно рано или поздно допускать ошибки, вызванные усталостью или перенапряжением мозговой активности (человеческий фактор), приводящим к непоправимым последствиям. Анализируя допущенные фатальные ошибки, мировое научное сообщество активно включает строительную индустрию в сферу инновационных технологий, таких как искусственный интеллект, благодаря чему уменьшается время строительства и проектирования, увеличивается качество постройки сооружений, повышается безопасность работников на объектах строительства и уменьшается возможность допущения ошибочных действий фатального характера.

На данный момент развитием искусственного интеллекта занимаются как учёные, так и простые энтузиасты, углубившиеся в изучение данной технологии и увидевшие в этом блестящую перспективу.

Создание искусственного интеллекта началось ещё в 1960-х гг., но учёными и инвесторами, финансирующими этот проект, было принято решение о приостановке развития данного направления. По их словам, они понимали, что уровень развития общества в технологическом направлении мизерно мал и не может достичь желаемого прорыва в интеллектуальных машинах [10]. Вложенные средства не окупали затраты на развитие, и тем самым складывалось мнение, что искусственный интеллект – временная иллюзия [11]. Применение ИИ в строительной индустрии активно набирает обороты ещё с 1980-х гг. На данный момент можно выделить несколько основных направлений использования искусственного интеллекта в строительной индустрии.

1. Обеспечение безопасности рабочих с отслеживанием как средств персональной защиты, так и возможных опасностей на строительной площадке:

- использование искусственного интеллекта для своевременного обнаружения средств персональной защиты;

- применение искусственного интеллекта для своевременного обнаружения опасностей как на строительной площадке, так и на рабочем месте.

2. Определение допускаемого состояния используемой на строительной площадке техники и конструкций – обнаружение коррозии.

3. Инспекция объектов инфраструктуры.

4. Обнаружение дефектов в бетонных конструкциях.

5. Обслуживание в целях профилактики.

6. Отслеживание результативности труда.

7. Топография и картография.

Таким образом, эти сферы связаны с одним из технологических направлений искусственного интеллекта – видеоаналитическим методом.

Рассмотрим каждый из вышеперечисленных пунктов с сохранением нумерации.

1. Обеспечение безопасности рабочих с отслеживанием средств персональной защиты и возможных опасностей на строительной площадке. Данное направление позволяет отслеживать необходимые средства персональной защиты при выполнении рабочими поставленных задач на рабочем месте. Рассматривая строительную площадку, нужно учитывать, что возможно падение инородного объекта на голову, которое приведёт к травме рабочего. Для предотвращения травм каждый работник объекта повышенной опасности, находясь на рабочем месте, согласно правилам техники безопасности, обязан надевать строительную каску. Однако эти требования не всегда добросовестно выполняются, иногда люди попросту забывают надеть каску или, находясь вне поля зрения руководства, пренебрегают данным требованием [12]. В этой ситуации эффективно справляется со своими задачами видеоаналитический метод под управлением искусственного интеллекта: при выявлении нарушения техники безопасности работником, находящимся на рабочем месте, незамедлительно информируется руководитель объекта, который в последующем принимает решение по исполнению профилактических/штрафных мер по отношению к рабочему. Видеоаналитика эффективна тем, что помимо отслеживания средств персональной защиты во время нахождения на строительной площадке или же при выполнении работ она позволяет безошибочно идентифицировать необходимого работ-

ника для наложения на него штрафных санкций путём автоматического формирования акта о нарушении требований техники безопасности (рис. 1).



Рис. 1. Отслеживание средств персональной защиты искусственным интеллектом [13]

Fig. 1. Artificial intelligence tracking of personal protective equipment

Использование искусственного интеллекта для своевременного обнаружения опасностей на строительной площадке и на рабочем месте позволяет в режиме реального времени предоставить информацию о материалах/предметах, располагающихся непосредственно рядом с рабочим, которые могут составлять угрозу его жизни и здоровью (рис. 2).

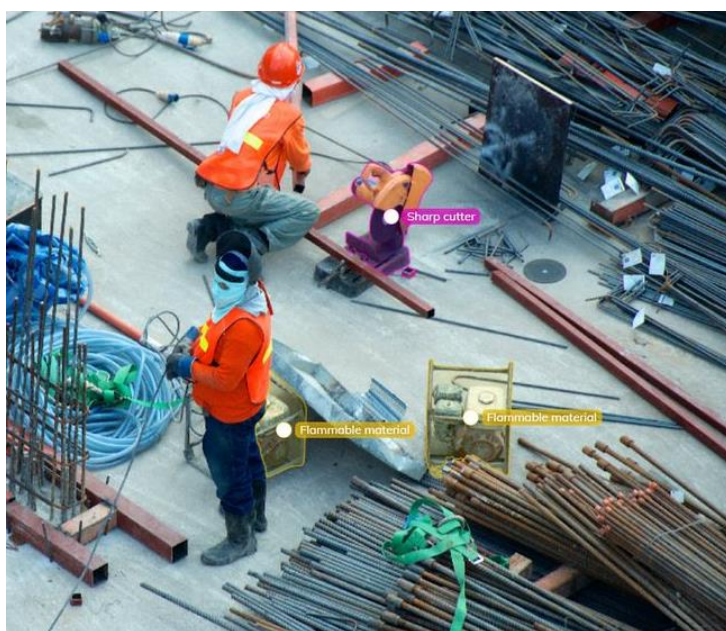


Рис. 2. Обнаружение искусственным интеллектом опасностей и предоставление информации о материалах/предметах [13]

Fig. 2. Artificial intelligence detection of hazards and provision of information about materials/items

При распознавании искусственным интеллектом возможной опасности система незамедлительно, в режиме реального времени, предупреждает об этом менеджера и работника, который находится в непосредственной близости от опасного предмета. Такие системы распознавания и оповещения выгодно применять на участках повышенной опасности, при производстве работ строителями в непосредственной близости от работающей строительной техники [11]. Данный метод успешно применяется на практике и отличается высокой эффективностью. Примером может служить платформа IRIS. Интеграция данной платформы с искусственным интеллектом выполняется для достижения цели: «Ноль несчастных случаев на рабочих местах». Таким образом, искусственный интеллект IRIS воссоздаёт виртуальную карту, на которой производит анализ всей рабочей зоны, используя изображения с камер видеонаблюдения.

2. Летальные исходы по причине изношенности конструкций/техники – не редкость. Видеоаналитический метод в данном случае позволяет снизить риск гибели рабочих при производстве работ с использованием изношенных конструкций/техники. Принцип работы схож с вышеприведенным. На данный момент развитием технологии по отслеживанию коррозии искусственным интеллектом занимается компания Infosys [14]. Принцип данной технологии заключается в разработке и обучении искусственного интеллекта поиску и в последующем предоставлении информации о классе обнаруженной коррозии (рис. 3). Применение данного метода позволит дать более точную оценку, чем человек на основе визуального осмотра. В настоящее время удалось добиться точного результата обнаружения и классификации коррозии в 70 % случаев, учитывая тот факт, что искусственный интеллект был обучен на основе небольшой базы данных. Таким образом, можно сделать вывод, что при более глубоком обучении искусственного интеллекта на основе расширенной базы данных процентные показатели определения и классификации коррозии будут расти [14].

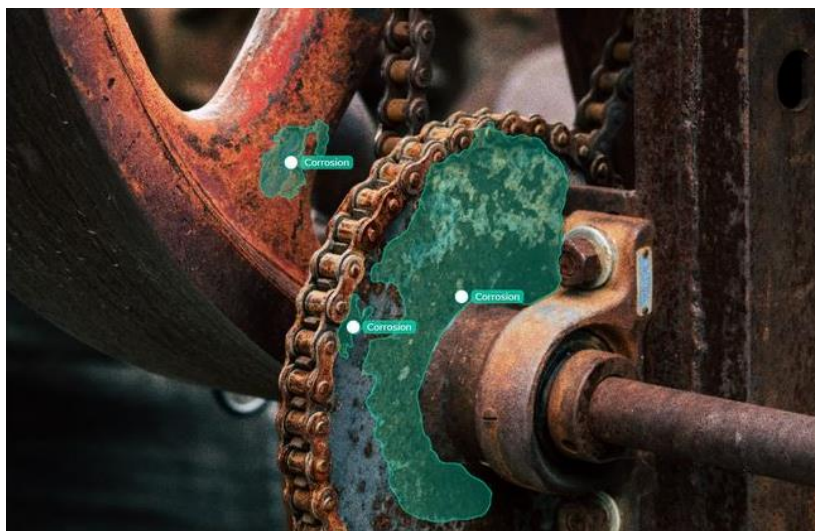


Рис. 3. Обнаружение искусственным интеллектом коррозии и её классификация [13]
Fig. 3. Detection and classification of corrosion by artificial intelligence

3. При проведении инспекции объектов инфраструктуры, как и в случае с определением коррозии, важную роль играет человеческая оценка. Поскольку она может быть субъективной и не всегда схожей с мнением других экспертов, наиболее точную оценку может предоставить искусственный интеллект глубокого обучения. При внедрении обученного искусственного интеллекта появляется возможность получения наиболее точной информации по соблюдению графика информационной модели здания (BIM). Система искусственного интеллекта позволяет моментально отслеживать появление трещин в бетоне, его отслоение, повреждение конструкций и передавать информацию инспекторам и руководителям проекта (рис. 4). Для изучения внешней части высотного здания при помощи дронов производится съёмка всего здания. Затем данные съёмки покадрово разбиваются с извлечением оптического распознавания символов, после чего эти изображения совмещаются, чтобы дать точную оценку характера и классификации повреждений, трещин и т. д. Как только обучение искусственного интеллекта произведено, для него появляется возможность самостоятельного выполнения работы. Данная работа может быть выполнена благодаря платформе V7 [15].



Рис. 4. Обнаружение искусственным интеллектом дефектов в конструкциях [15]

Fig. 4. Flow detection by artificial intelligence

4. Обнаружение дефектов в бетонных конструкциях, как и при обнаружении и присвоении класса коррозии, имеет схожие нюансы при выполнении данной работы человеком. Использование искусственного интеллекта для распознавания трещин в бетонных конструкциях и их классификации дает возможность применить полученный опыт из базы изображений, на основе которых обучался искусственный интеллект, для последующего анализа вероятности увеличения трещин, поломок конструкций и т. д. (рис. 5). Отличным примером может послужить исследование, проведенное в 2020 г. и продемонстрированное на Меж-

дународной конференции по оценке вычислительной производительности (ОВП) – *International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE)* – в Индии. Исследователи намерены были узнать, насколько будут положительными результаты в оценке бетонных конструкций при использовании беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с доработанным и обученным на определённом количестве изображений встроенным искусственным интеллектом. Для этого они использовали около 1050 изображений, которые были протестированы на 450 других изображениях. В результате проведённого теста показатель точности обнаружения трещин составил 98,4 % с учётом того, что трещины были обнаружены в местах, в которых даже человеческому глазу было бы сложно их распознать и определить [16].



Рис. 5. Обнаружение искусственным интеллектом дефектов и трещин в бетонных конструкциях [12]

Fig. 5. Flow and crack detection in concrete structures by artificial intelligence

5. Обслуживание оборудования и техники в целях профилактики играет одну из важнейших ролей на строительной площадке. Жизни людей могут находиться под угрозой при невыявленных неисправностях эксплуатируемого оборудования. Своевременный анализ технического состояния механизмов и оборудования с использованием искусственного интеллекта, обученного на прогноз и аналитику долговечности обслуживания техники, позволит непрерывно контролировать их состояние, заранее предпринять, при необходимости, меры по её замене. Это положительно скажется на эффективности рабочего процесса, способствуя его ускорению и сокращению времени простоя (рис. 6).

6. Оценка результативности труда рабочих – достаточно сложный процесс. Часто руководители склонны выполнять данную работу только при возникновении проблем. Внедрение сети глубокого обучения на распознавание ра-

ботника, типа выполняемой им работы и времени, затраченного на определенное действие, легко позволит проанализировать, какой из рабочих добросовестно выполнял свою работу, а какой пренебрегал поставленной ему задачей (рис. 7).



Рис. 6. Проведение искусственным интеллектом профилактических мероприятий по оценке состояния техники и оборудования [12]

Fig. 6. Machinery and equipment assessment by artificial intelligence



Рис. 7. Отслеживание искусственным интеллектом результативности выполняемого труда рабочим [11]

Fig. 7. Artificial intelligence in tracking the effectiveness provided by a worker

7. Топография и картография, наряду с вышеперечисленными пунктами, играют важную роль в начале проектирования и строительства. Используя нейронную сеть с аппаратной экосистемой (беспилотным летательным аппаратом), можно произвести съёмку местности перед началом проектирования. Полученные изображения преобразуются по заданным параметрам с нанесением здания, похожего по запланированному для постройки типа, после чего результат подвергается анализу с точки зрения рациональности постройки необходимого объекта на данном участке земли.

Использование искусственного интеллекта в строительной индустрии имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущества:

- понижение экономических затрат на выполнение работ;
- повышение безопасности на рабочем месте;
- уменьшение задействованного рабочего персонала на выполнение работ и замена искусственным интеллектом;
- понижение риска возникновения и развития болезней за счёт уменьшения количества задействованных работников и отсутствия их прямого контакта друг с другом;
- возможность дистанционного отслеживания и мониторинга изменений в конструкциях в любое время суток;
- повышение эффективности выполняемой работы;
- сокращение сроков выполнения отдельных видов работ;
- снижение отрицательного влияния на экологию;
- перспектива использования в будущем на новом уровне развития.

Недостатки:

- невозможность применения на всех этапах строительства на данный момент времени;
- малая развитость на мировой арене;
- нехватка специалистов по настройке и контролю;
- сокращение рабочих мест;
- необходимость проверки данных для исключения ошибок.

Выводы

Таким образом, изучив и систематизировав актуальную информацию по использованию и внедрению в строительную индустрию современных технологий, а также такую технологию, как искусственный интеллект, можно сделать следующие выводы:

- прогресс в развитии инноваций для улучшения качества и эффективности труда ежедневно подвергается критическому осмыслению и доработкам, что положительно сказывается на перспективах модернизации современных технологий;
- мировое научное сообщество активно продвигается и углубляется в изучение технологий, способных изменить человечество своими возможностями;
- разработка инноваций, способных повлиять на уменьшение заболеваемости и развитие пандемического положения, занимает лидирующее место на мировой арене;

– технологии, применяемые на данный момент, модернизируются с созданием симбиоза, упрощающего процесс их внедрения и повышающего эффективность использования;

– искусственный интеллект – технология, имеющая перспективное будущее, обладает преимуществами и недостатками, которые можно привести к единому положительному результату путем трудоёмкой и упорной работы по глубокому обучению и грамотному внедрению в жизнедеятельность человека;

– эффективность исполнительности технологии искусственного интеллекта в применяемых направлениях работ успешно проявляет себя, демонстрируя высокие показатели выполнения поставленных задач;

– следует помнить об опасности использования и внедрения человеком искусственного интеллекта во всех сферах жизнедеятельности. Необходимо контролировать количество и вид информации, передаваемой данной технологии, чтобы не допустить истребления человечества за счёт саморазвития искусственного интеллекта.

Заключение

Настоящее исследование способствует систематизации необходимой для проведения последующих исследовательских и научных работ информации, применение которой приведёт к освоению и созданию новых технологий. Перспектива создания инноваций, способных улучшить качество жизни человека и экологическое положение, имеет положительный отклик со стороны человечества.

Использование и внедрение современных технологий способом роботизации и управления искусственным интеллектом в строительной индустрии доказывает свою эффективность на рынке труда, стимулирует внесение изменений в процесс исполнения рабочих обязанностей человеком, делая это направление привлекательным для развития государства, учёных и энтузиастов всего мира. Необходимость контроля создаваемых и обучаемых человеком технологий занимает одну из лидирующих позиций обеспечения безопасности в обществе. Следует повышать финансирование и создавать комфортные условия для учёных и подрастающего поколения, чтобы добиться значительного прогресса в развитии технологий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Pan Y., Zhang L. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends // *Automation in Construction*. 2021. V. 122. Art. 103517. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103517
2. Abioye S.O., Oyedele L.O., Akanbi L., Ajayi A., Delgado J.M.D., Bilal M., Olugbenga O.A., Ahmed A. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges // *Journal of Building Engineering*. 2021. V. 44. Art.103299. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.103299
3. Sacks R., Girolami M., Brilakis I. Building information modelling, artificial intelligence and construction tech // *Developments in the Built Environment*. 2020. V. 4. Art.100011. DOI: 10.1016/j.dibe.2020.100011
4. Каширищев М.М., Боре́йко В.М. Автоматический мониторинг для сложных сооружений и инфраструктуры города // *Дорожное строительство и его инженерное обеспечение : материалы III Международной научно-технической конференции / сост. С.Н. Соболевская, Е.М. Жуковский*. Минск : БНТУ, 2022. С. 90–94. URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/125165>

5. *Каширинур М.М.* Применение метавселенной в городах, её понятие, преимущества и недостатки // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13. № 3. С. 168–173. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.03.21
6. *Каширинур М.М., Аль-Сайяб А.А.* Надлежащая методология автоматизированного мониторинга в процессе строительства // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития : сб. материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й Международной научно-технической конференции БНТУ «Наука – образованию, производству и экономике» и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, 4–5 мая 2022 г. / редкол.: О.С. Голубова [и др.] ; сост. Н.А. Пашкевич. Минск : БНТУ, 2022. С. 84–88. URL : <https://rep.bntu.by/handle/data/114411>
7. *Каширинур М.М., Альмалеги А.М.* Разработка подходящей методологии управления строительными проектами // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития : сб. материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й Международной научно-технической конференции БНТУ «Наука – образованию, производству и экономике» и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, 4–5 мая 2022 г. / редкол.: О.С. Голубова [и др.] ; сост. Н.А. Пашкевич. Минск : БНТУ, 2022. С. 78–83. URL : <https://rep.bntu.by/handle/data/114410>
8. *Каширинур М.М., Гарагозов С.Б.* Новые тенденции и инновации в строительстве: строительство с помощью 3D-принтера // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития : сб. материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й Международной научно-технической конференции БНТУ «Наука – образованию, производству и экономике» и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, 4–5 мая 2022 г. / редкол.: О.С. Голубова [и др.] ; сост. Н.А. Пашкевич. Минск : БНТУ, 2022. С. 94–99. URL : <https://rep.bntu.by/handle/data/114413>
9. *Каширинур М.М., Кухарева И.В.* Инновации в строительстве: строительство домов из отходов // Инжиниринг и экономика: современное состояние и перспективы развития : сб. материалов студенческой научно-технической конференции в рамках 20-й Международной научно-технической конференции БНТУ «Наука – образованию, производству и экономике» и 78-й студенческой научно-технической конференции БНТУ, 4–5 мая 2022 г. / редкол.: О.С. Голубова [и др.] ; сост. Н.А. Пашкевич. Минск : БНТУ, 2022. С. 100–103. URL : <https://rep.bntu.by/handle/data/114414>
10. *Как развивалась технология искусственного интеллекта* // Газета.Ru. URL: https://www.gazeta.ru/tech/2021/01/06/13427876/II_for_ages.shtml?ysclid=lm2ip0c0651293125&updated (дата обращения: 26.10.2023)
11. *Искусственный интеллект в строительстве: 7 готовых к работе ИИ-приложений в строительстве* // ELport.ru : деловой портал. URL: https://elport.ru/articles/iskusstvennyiy_intellekt_v_stroitelstve_7_gotovyih_k_rabote_ii-prilojeniy_v_stroitelstve (дата обращения: 24.10.2023).
12. *Громовская Е.А.* Повышение безопасности персонала на производстве за счет внедрения искусственного интеллекта // Вестник магистратуры. 2022. № 12-5 (135). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-bezopasnosti-personala-na-proizvodstve-za-schet-vnedreniya-iskusstvennogo-intellekta/viewer> (дата обращения: 26.10.2023).
13. *Using computer vision to detect and classify corrosion* // Infosys Knowledge Institute. URL: <https://www.infosys.com/about/knowledge-institute/insights/documents/classify-corrosion.pdf> (дата обращения: 22.10.2023).
14. *Умное строительство: как искусственный интеллект может повысить уровень безопасности на стройке* // NEWS.am TECH – Инновации и наука. URL: <https://tech.news.am/rus/print/1026/> (дата обращения: 29.10.2023).
15. *The AI data engine for computer vision & generative AI* // V7. URL: <https://www.v7labs.com> (дата обращения: 30.10.2023).
16. *Alokita Karmokar, Nikhil Jani, Anushka Kalla, Harsh Harlalka, Poonam Sonar.* Inspection of concrete structures by a computer vision technique and an unmanned aerial vehicle // 2020 International Conference on Computational Performance Evaluation (ComPE) : IEEE Conference Publication. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9200107> DOI: 10.1109/ComPE49325.2020.9200107 (дата обращения: 02.11.2023).

REFERENCES

1. Pan Y., Zhang L. Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. *Automation in Construction*. 2021; 122: 103517. DOI: 10.1016/j.autcon.2020.103517
2. Abioye S., Oyedele L.O., Akanbi L., Ajayi A., Delgado J.M.D., Bilal M., Olugbenga O.A., Ahmed A. Artificial intelligence in the construction industry: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering*. 2021; 44: 103299. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.103299
3. Sacks R., Girolami M., Briakakis I. Building information modelling, artificial intelligence and construction tech. *Developments in the Built Environment*. 2020; 4: 100011. DOI: 10.1016/j.dibe.2020.100011. DOI:10.1016/j.dibe.2020.100011
4. Kashiripur M.M., Boreyko V.M. Automatic monitoring for complex structures and urban infrastructure. In: *Proc. 3rd Int. Conf. 'Road Construction and Engineering'*. Minsk, 2022. Pp. 90–94. Available: <https://rep.bntu.by/handle/data/125165> (In Russian)
5. Kashiripoor M.M. Application of metauniverse in cities, concept, advantages and disadvantages. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2023; 13 (3): 168–173. DOI:10.17673/Vestnik.2023.03.21 (In Russian)
6. Kashiripoor M.M., Al-Sayyab A. A. Proper methodology of automated monitoring in construction. In: *Proc. 20th Int. Conf. 'Science for Education, Production and Economy'*. Minsk, 2022. Pp. 84–88. Available: <https://rep.bntu.by/handle/data/114411> (In Russian)
7. Kashiripoor M.M., Almalegi A.M. Methodology development for construction project management. In: *Proc. 20th Int. Conf. 'Science for Education, Production and Economy'*. Minsk, 2022. Pp. 78–83. Available: <https://rep.bntu.by/handle/data/114410> (In Russian)
8. Kashiripur M.M., Garagozov S.B. New trends and innovations in construction: 3D printing in construction. In: *Proc. 20th Int. Conf. 'Science for Education, Production and Economy'*. Minsk, 2022. Pp. 94–99. Available: <https://rep.bntu.by/handle/data/114413> (In Russian)
9. Kashiripur M.M., Kukhareva I.V. Innovations in construction: Waste-based housing. In: *Proc. 20th Int. Conf. 'Science for Education, Production and Economy'*. Minsk, 2022. Pp. 100–103. Available: <https://rep.bntu.by/handle/data/114414> (In Russian)
10. How artificial intelligence technology developed. Available: www.gazeta.ru/tech/2021/01/06/13427876/II_for_ages.shtml?ysclid=lm2ip0c0651293125&updated (accessed October 26, 2023). (In Russian)
11. Artificial intelligence in construction: 7 ready-to-work AI applications in construction. Available: https://elport.ru/articles/iskusstvennyiy_intellekt_v_stroitelstve_7_gotovyyih_k_rabote_ii-prilojeniy_v_stroitelstve (accessed October 24, 2023). (In Russian)
12. Gromovskaya E.A. Safety improvement of personnel in production using artificial intelligence. *Vestnik magistratury*. 2022; 12-5 (135). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-bezopasnosti-personala-na-proizvodstve-za-schet-vnedreniya-iskusstvennogo-intellekta/viewer> (accessed October 26, 2023). (In Russian)
13. Using computer vision to detect and classify corrosion. Available: www.infosys.com/about/knowledge-institute/insights/documents/classify-corrosion.pdf (accessed October 22, 2023).
14. Smart construction. Available: <https://tech.news.am/rus/print/1026/> (accessed October 29, 2023). (In Russian)
15. The AI Data Engine for Computer Vision & Generative AI. Available: www.v7labs.com (accessed October 30, 2023).
16. Alokita Karmokar, Nikhil Jani, Anushka Kalla, Harsh Harlalka, Poonam Sonar. Inspection of concrete structures by a computer vision technique and an unmanned aerial vehicle. In: *Proc. Int. Conf. on Computational Performance Evaluation*. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9200107> (accessed November 2, 2023). DOI: 10.1109/ComPE49325.2020.9200107

Сведения об авторе

Каширипур Мохаммад Махди, канд. архитектуры, доцент, Белорусский национальный технический университет, 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 150, mkashiripoor@gmail.com

Николюк Владимир Александрович, магистрант, Белорусский национальный технический университет, 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 150, vladimir.nik2001@yandex.by

Author Details

Mohammad M. Kashiripoor, PhD, A/Professor, Belarusian National Technical University, 150, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus, mkashiripoor@gmail.com

Vladimir A. Nikolyuk, Undergraduate Student, Belarusian National Technical University, 150, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus, vladimir.nik2001@yandex.by

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.12.2023
Одобрена после рецензирования 19.12.2023
Принята к публикации 16.01.2024

Submitted for publication 01.12.2023
Approved after review 19.12.2023
Accepted for publication 16.01.2024

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

BASES, FOUNDATIONS AND SUBSTRUCTURES

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 1. С. 179–193.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (1): 179–193.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.15

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-179-193

EDN: WAIQVQ

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ФУНДАМЕНТА ВЫСОТНОГО ЗДАНИЯ «ЛАХТА ЦЕНТРА»

Сергей Владимирович Никифоров

АО «Синергия», г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Фундамент – наиболее значимый элемент высотного здания. Конструкции фундаментов тесно связаны с общим конструктивным решением каркаса здания и во многом определяются грунтовыми условиями в основании здания.

Обычно высотные здания представляют собой сложные инженерные сооружения, к которым предъявляются повышенные требования прочности, устойчивости и долговечности. Поэтому от прочности, деформативности и устойчивости фундамента и его основания зависит безопасность и долговечность всего здания. Эти принципы позволяют создать фундаменты более высокого качества и несущей способности и с более высоким уровнем надежности и долговечности.

В статье описывается конструкция башни высотой 462 м комплекса «Лахта Центр» в Санкт-Петербурге, являющейся самым высоким зданием в Европе. Особое внимание уделено конструкции и особенностям строительства подземной части башни и ее фундамента.

Цель исследования – оптимизация производственных процессов при строительстве фундаментных конструкций сверхвысотных зданий и сооружений.

Научная новизна – определение наиболее значимых факторов, оказывающих влияние на выбор производственных процессов при возведении сверхвысотных зданий и сооружений.

Основные результаты исследования могут быть применены при эксплуатации и проектировании уникальных зданий и сооружений при их размещении в области распространения слабых, структурно неустойчивых грунтов.

Ключевые слова: высотные здания, коробчатый фундамент, свайное основание, слабые грунты, испытания свай, геотехнический мониторинг, мониторинг напряженно-деформированного состояния

Для цитирования: Никифоров С.В. Особенности конструкции фундамента высотного здания «Лакhta Центра» // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 1. С. 179–193. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-179-193. EDN: WAIQVQ

ORIGINAL ARTICLE

**HIGH-RISE BUILDING FOUNDATION DESIGN
OF THE LAKHTA CENTER****Sergey V. Nikiforov***AO “Synergy”, Saint-Petersburg, Russia*

Abstract. The foundation is the most significant element of buildings. The foundation structure closely relates to the general construction of the building frame and is largely determined by soil conditions. High-rise buildings are complex engineering structures with increased requirements for strength, stability and durability. Therefore, their safety and durability depend on strength, deformity and stability of foundation. These principles allow creating foundations of the higher quality, bearing capacity, reliability, and durability.

Purpose: Optimization of production processes in the construction of foundation structures of super tall buildings and structures.

Research findings: The structural design of the Lakhta Center 462 m high in Saint-Petersburg, which is the tallest building in Europe. A particular attention is paid to the design and construction of the foundation. Key results can prove operation and design of high-rise buildings designed for weak and unstable soils.

Value: Determination of the most significant factors influencing the choice of production processes during the construction of super-tall buildings.

Keywords: high-rise building, box foundation, pile foundation, weak soil, pile testing, geotechnical monitoring, stress-strain state

For citation: Nikiforov S.V. High-rise building foundation design of the Lakhta Center. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (1): 179–193. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-1-179-193. EDN: WAIQVQ

Описание объекта

Основная доминанта многофункционального комплекса «Лакhta Центр» состоит из 87 надземных и трех подземных уровней (рис. 1).

Высотное здание в плане имеет закрученную конусообразную форму. Надземная часть в уровне первого этажа вписана в пятиугольник с длиной стороны 35,2 м. До шестнадцатого этажа размеры каждого последующего этажа увеличиваются. Максимальная длина стороны пятиугольника в уровне шестнадцатого этажа составляет 36,6 м. Выше каждый последующий этаж уменьшается в размерах.

Конструктивная схема высотного здания каркасно-ствольная. Его жесткость и устойчивость обеспечиваются совместной работой центрального ядра и десяти сталежелезобетонных колонн по периметру, соединенных между собой аутригерами, расположенными в уровнях этажей 17–18, 33–34, 49–50, 65–66 и 81. Центральное железобетонное ядро служит основным элементом,

обеспечивающим восприятие горизонтальных нагрузок. Для уменьшения пролетов в здании было введено еще пять сталежелезобетонных колонн до уровня 47-го этажа.

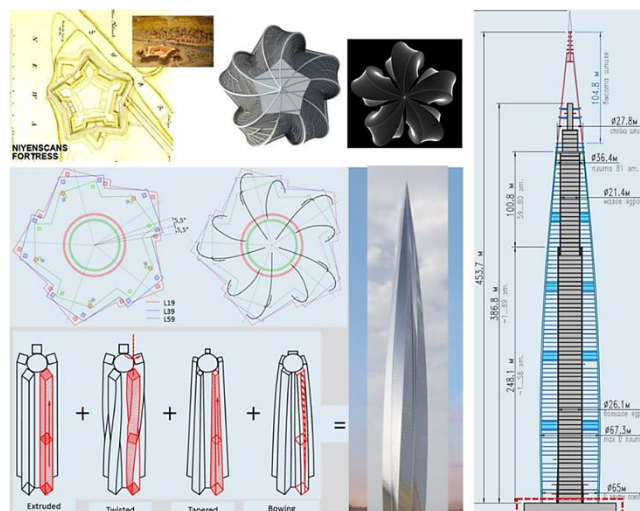


Рис. 1. Схема геометрии башни
Fig. 1. Geometry of high-rise building

Подземные этажи в плане имеют форму равностороннего пятиугольника с длиной стороны 57,5 м (рис. 2). Они образуют коробчатый фундамент, состоящий из нижней плиты толщиной 3,6 м, расположенной на глубине 17,65 м от дневной поверхности, верхней плиты толщиной 2,0 м, центрального ядра жесткости диаметром 28,5 м и десяти вертикальных диафрагм жесткости.

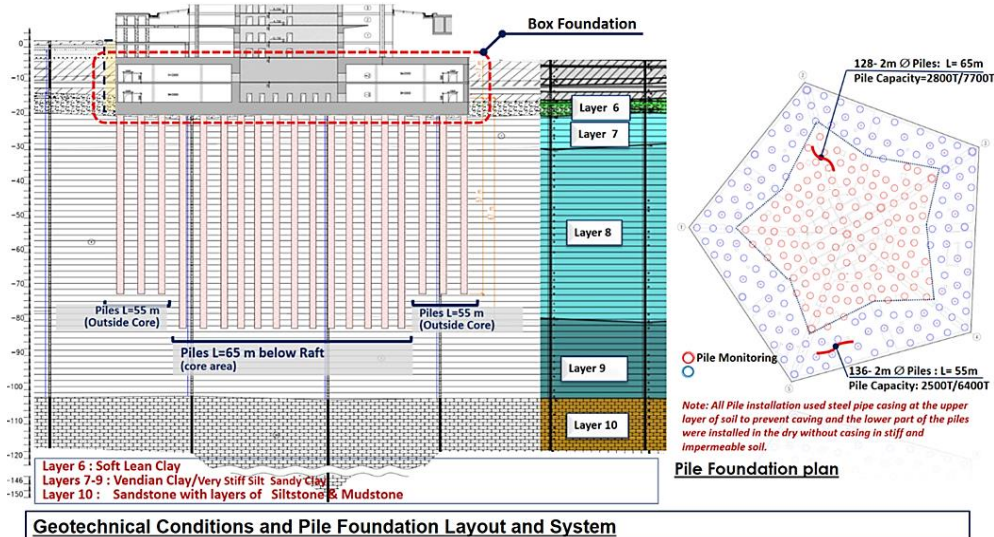


Рис. 2. Конструкция фундамента башни
Fig. 2. Pile foundation design

Коробчатый фундамент опирается через бетонную подготовку на свайное основание из 264 свай диаметром 2,0 м, длиной 55 и 65 м и выполняет функцию равномерного распределения нагрузки с ядра башни на свайное основание. Устройство свай рабочей длиной до 65 м (глубина 84 м с поверхности) выполнено в пределах высотной части здания, в том числе под ядром, а длиной 55 м (74 м с поверхности) – в пределах стилобата. Такое решение обусловлено стремлением снизить относительную неравномерность осадок конструкций коробчатого фундамента и, соответственно, уменьшить напряжения в распределительных радиальных железобетонных конструкциях стен-траверс.

Особенности технологии возведения высотного объекта в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. Границы исторического центра Санкт-Петербурга совпадают с областью распространения наиболее слабых, структурно неустойчивых грунтов, включая район Лахты [1].

В пределах территории города кристаллические породы залегают на весьма значительной глубине 180–220 м, что и сегодня делает их недостижимыми для современных технологий свайного фундаментостроения. В пределах Санкт-Петербургского региона залегают песчаники нижнекотлинского горизонта (V2kt1), перекрытые переслаивающимися песчаниками и плотными аргиллитоподобными глинами, на которых залегает мощная толща глин верхнекотлинского горизонта (V2kt2) (рис. 3).

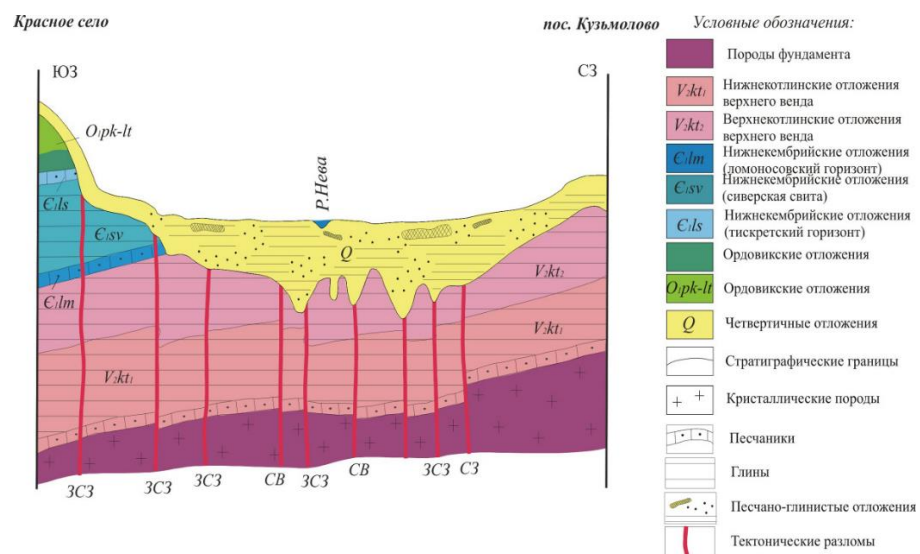


Рис. 3. Схематический геолого-литологический разрез Санкт-Петербурга [1]

Fig. 3. Schematic of geologic-lithologic log of Saint-Petersburg [1]

Эти отложения являются самыми древними осадочными породами, возраст которых составляет 650 млн лет. Наличие многометровой толщи слабых глинистых грунтов на территории Санкт-Петербурга рассматривается как фактор риска для строительной деятельности, отражающий потенциальную опасность развития неблагоприятных событий. Отложения венда, изрытые долина-

ми древних рек, только в XXI в. стали использоваться в качестве основания свайных фундаментов зданий и сооружений. До появления современных свайных технологий этот слой не имел практического значения в строительстве.

При каких же условиях возможно строительство небоскребов в Санкт-Петербурге? В случае, когда нельзя опереться на скальное основание, следует руководствоваться как минимум четырьмя простыми правилами, изложенными ниже [2].

Правило 1. Небоскреб в Петербурге возможен только вне зон палеодолин, т. е. там, где можно опереться на твердые глины венда.

Правило 2. Подземная часть небоскреба должна обеспечивать его надежную заделку в основании.

Правило 3. Подземную часть небоскреба следует устраивать таким образом, чтобы она обеспечивала распределение нагрузок от ядра на большую площадь основания, а также способствовала снижению давления на основание за счет извлечения грунта из объема подземной части.

Правило 4. При проектировании небоскреба следует избегать асимметрии жесткости здания.

Комплекс дочетвертичных вендских глин (vkt2) представлен твердыми и полутвердыми глинами и является наиболее прочным и надежным слоём. Однако кровля этого слоя крайне неравномерно залегает по глубине и, как правило, на значительных глубинах (преимущественно от 20 м и значительно больше). С учетом опыта строительства и по результатам многочисленных исследований установлено, что вендские отложения отличаются твердой консистенцией и слабой водопроницаемостью, обладают высокой несущей способностью и хорошей прочностью.

Модуль деформации в большей степени зависит от напряжённого состояния грунта, чем от плотности и влажности, и при дополнительном нагружении массива грунта вертикальным давлением, равным 1 МПа (что соответствует высоте здания 200 м) и более, модуль деформации твёрдых глинистых грунтов изменяется в 2,5 раза и более.

При устройстве глубоких фундаментов высотных зданий следует принимать во внимание локальный рост трещиноватости толщи коренных глин в процессе производства работ по созданию буронабивных свай. Опыт строительства и начального этапа эксплуатации высотного здания «Лахта Центра» свидетельствует о признаках восходящего перетекания подземных вод вендского водоносного комплекса через трещиноватую глинистую толщу верхнего венда и по боковой поверхности свай [3, 4].

Гидрогеологическое строение участка строительства «Лахта Центра» определяется развитием четвертичного безнапорного водоносного комплекса (рис. 4). Водоносный горизонт приурочен к морским и озерным отложениям, представленным супесчаными грунтами, крупными, мелкими песками, перекрытым, как правило, влажными намывными песками. В связи с неоднородностью этого горизонта существует большой разброс значений коэффициентов фильтрации от десятых долей до десяти м/сут. Грунтовые воды со свободной поверхностью зафиксированы на глубине 1,5 м, на абсолютной отметке 0,1 м. Общая разгрузка водоносного горизонта осуществляется в сторону

Финского залива. Относительным водоупором, подстилающим приповерхностный водоносный горизонт, является пласт ленточных глин и суглинков озерно-ледникового генезиса суммарной мощностью 6,2 м.

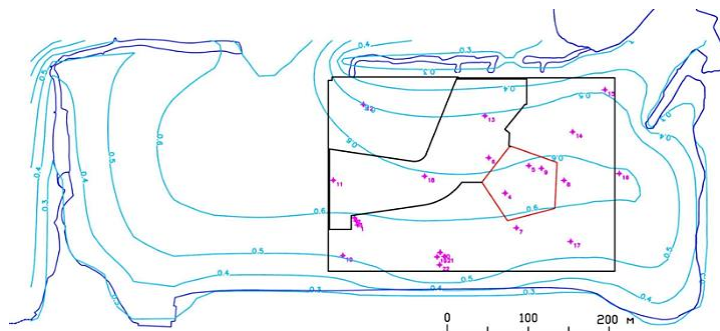


Рис. 4. Карта гидроизогипс приповерхностного водоносного горизонта
Fig. 4. Water table contour of the near-surface

Уровенный режим приповерхностного водоносного комплекса целиком определяется уровнем воды в Финском заливе, амплитуда изменений которого на коротких временных интервалах (в течение 1–3 сут) может составлять 0,3–0,5 м, повышаясь до 1,0–1,5 м в отдельные дни в пределах всего годового цикла (включая зимний период). Участок фактически полностью ограничен по периметру водоемами, гидравлически связанными с Финским заливом, причем уровни воды в этих водоемах практически соответствуют уровням в заливе.

Отложения, залегающие под пластом ленточных глин и суглинков, целесообразно рассматривать в качестве напорного водоносного горизонта. В нижней части разреза выделяется Котлинский водоносный горизонт, вмещающими породами для которого служат песчаники и алевролиты.

Испытания грунтов сваями. Проектирование конструкций фундамента высотного здания в условиях присутствия у поверхности глинистых грунтов невысокой несущей способности является сложной инженерной задачей. Поэтому нагрузка от сооружения передается с помощью свай на твердые вендские глины (ИГЭ 7–9 на рис. 5) с модулем деформации, увеличивающимся с глубиной от 28 до 340 МПа, особенностью которых является наличие реологических свойств, способных увеличить конечную осадку сооружения до 30 %.

Были проведены масштабные исследования грунтов на площадке строительства, которые позволили определить модули деформаций слоев грунта до глубины 120 м. На основании этих данных были определены отметки залегания свай на 82 м ниже поверхности земли, их диаметры, а натурные испытания свай позволили определить их предельную несущую способность.

Статические испытания свай самозаанкеривающейся сваей-штампом (метод погруженного домкрата – ячейка Остерберга) являются наиболее эффективными при испытании буронабивных свай большого диаметра с высокой несущей способностью, т. к. позволяют выполнить более полную оценку работы сваи без применения грузовых платформ и анкерных свай (рис. 6).

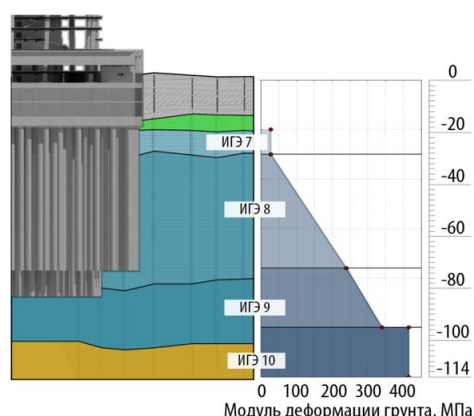


Рис. 5. Грунтовые условия площадки строительства
Fig. 5. Soil conditions on construction site

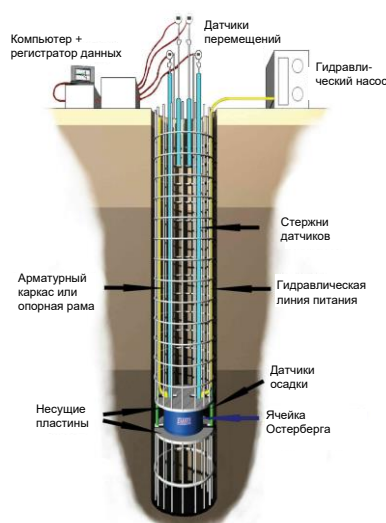


Рис. 6. Схема испытаний свай ячейками
Остерберга
Fig. 6. Testing of piles with Osterberg cells

Основным преимуществом испытания свай двуправленной нагрузкой (метод Остерберга) является возможность достижения высоких испытательных нагрузок (стандартные методы создают испытательные нагрузки до 30 МН). С помощью ячеек с погруженным гидравлическим домкратом можно передавать нагрузки до 300 МН (30 000 тс).

В рамках предпроектных инженерных изысканий для строительства «Лахта Центра» были проведены испытания опытных буронабивных свай (с гидравлическими домкратами и разделением свай на сегменты) следующих параметров:

- диаметром 2000/1900 мм с отметкой подошвы свай на абс. отм. –81,90 м;
- диаметром 2000/1900 мм с отметкой подошвы свай на абс. отм. –71,90 м.

Сваи изготовлены установкой ВГ 40 под защитой обсадной трубы до отметки дислоцированных вендских глин. Испытания проводились в соответствии с Программой испытаний свай под руководством НИИОСП им. Н.М. Герсевича, осуществляющим научно-техническое сопровождение испытаний.

Целями испытаний являлись:

- определение несущей способности одиночной буронабивной сваи;
- определение зависимости нагрузка-осадка для одиночной сваи при приложении к ней статической нагрузки;
- определение предельных величин сопротивления буронабивной сваи по боковой поверхности и по пяте (острию);
- подтверждение расчетной проектной нагрузки на буронабивную сваю при принятой технологии устройства в рассматриваемых грунтовых условиях.

Результаты испытаний свай представлены на рис. 7.

На основании проведенных испытаний свай установлено, что сваи с глубиной погружения до абс. отм. –81,90 м при приложении нагрузки на голову сваи 36,0 МН получают осадку 22,0 мм; при приложении нагрузки на голову 67,0 МН

сваи получают осадку 40,0 мм; сваи с глубиной погружения до абс. отм. –71,90 м при приложении нагрузки на голову сваи 36,0 МН получают осадку 24,0 мм; при приложении нагрузки на голову 61,0 МН сваи получают осадку 40,3 мм.

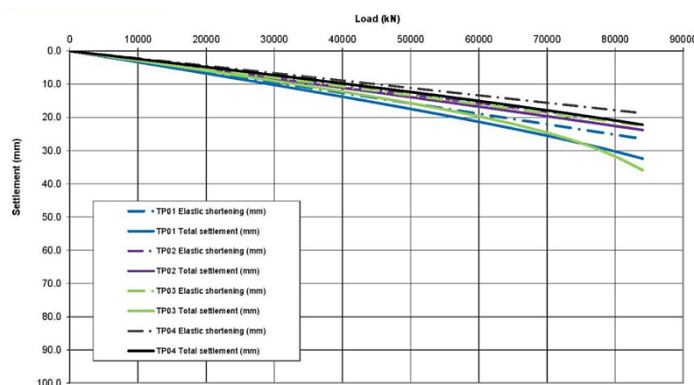


Рис. 7. Прогноз зависимости осадки от нагрузки
Fig. 7. Predicted load/settlement dependence

Свайное основание высотного здания состоит из 264 буронабивных свай диаметром 2000 мм и длиной 55 и 65 м от низа фундамента, расположенных с шагом от 4 до 6 м (рис. 8). Поскольку буронабивные сваи выполнялись с поверхности земли, а не со дна котлована, фактическая глубина бурения под сваи составила 72 и 82 м соответственно. Расчетная несущая способность свай длиной 55 м составила 3100 т согласно нормам и 6100 т – по результатам испытаний. Средняя расчетная нагрузка на сваю – 2545 тс. Сваи выполнялись из бетона класса В40 и армировались стержнями диаметром 32 мм.

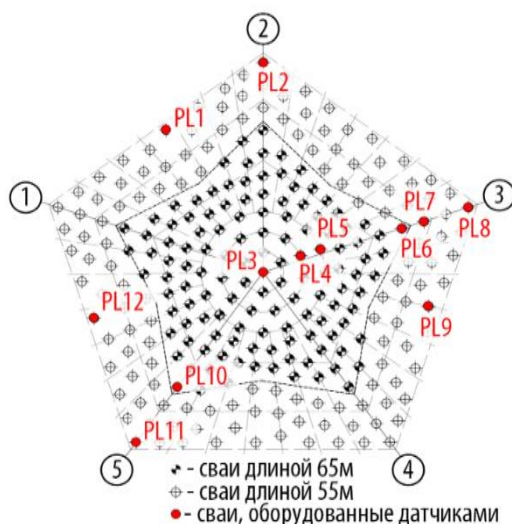


Рис. 8. План свайного основания башни
Fig. 8. Pile foundation plan of the tower

Для того, чтобы свая не повредила гидроизоляцию, был разработан специальный узел, при котором свая заделывалась в железобетонную подготовку, устраиваемую под нижней плитой коробчатого фундамента (рис. 9) и сопрягаемую через шов скольжения. Свободное опирание ростверка на сваи при размещении ствола в слабых грунтах формально противоречило требованиям действовавшей во время строительства здания редакции СНиП «Свайные фундаменты», однако расчёты показали, что прочность грунтов на глубине заложения ростверка достаточна для исключения потери устойчивости свайного основания. Актуальные редакции норм (п. 8.8 СП 24.13330.2021 и п. 13.18 СП 248.1325800.2016) допускают свободное опирание при проектировании свайных фундаментов в глубоких котлованах и обеспечении надежных решений гидроизоляции. По головам свай выполняется бетонная подготовка толщиной не менее 200 мм, по которой устраивается гидроизоляционный слой и его защитная подготовка с последующим устройством фундаментной плиты.

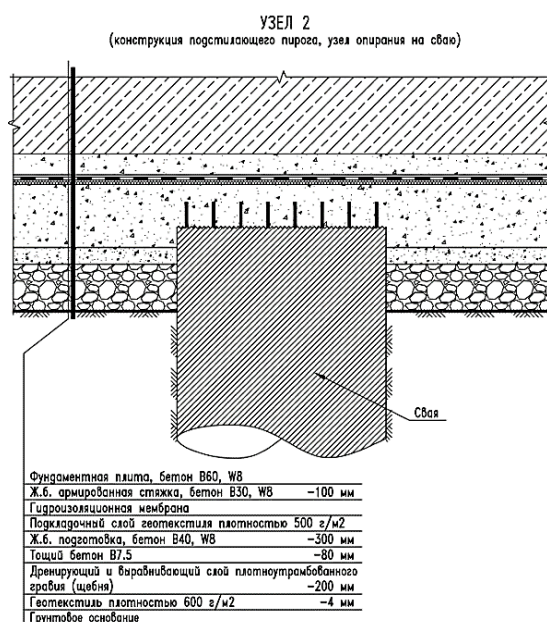


Рис. 9. Заделка свай в железобетонную подготовку под фундаментной плитой
Fig. 9. Pile embedding in reinforced concrete under foundation slab

Для бурения скважин в грунте на глубину 85 м применялся шнек диаметром 1,8 м и специально разработанный расширитель до 2,0 м (рис. 10). В верхней части скважина обсаживалась обсадными трубами наружным диаметром 2,0 м, которые погружались с помощью специального стола. Глубина их принималась, исходя из возможности захода в слой вендских глин на 5 м с целью надежной изоляции скважины от подземных вод.

При выполнении свай для контроля качества устройства скважины использовалась специально разработанная тренога с утяжелителем, которая опускалась в забой скважины.



Рис. 10. Шнек для проходки скважин и монитор с подсветкой для исследования забоя скважины
Fig. 10. Wellbore auger and backlit monitor for bottom-hole investigation

Конструкция коробчатого фундамента. Вес здания от нормативных нагрузок, включая вес коробчатого фундамента, составляет 493 000 т. Значительная (около 70 %) часть этих нагрузок приходится на небольшой участок диаметром 26 м, ограниченный круглым центральным ядром башни. Давление под подошвой фундамента на этом участке составляло 6500 кПа. Поскольку напрямую передать на грунт основания такую колоссальную нагрузку было невозможно, перед авторами проекта стояла задача максимально распределить это давление на периферию [5]. Первым шагом в решении возникшей проблемы было распределение нагрузок с зоны ядра на периферию за счет диафрагм жесткости. Вторым логичным шагом стало появление верхней плиты, объединяющей всю систему в единый коробчатый фундамент, обеспечивший более экономичное решение. Расчеты показали, что такой фундамент обладает высокой жесткостью (разность осадок между зоной ядра и периферией не превышает 25–30 мм) и успешно справляется с задачей снятия и равномерного распределения нагрузки с ядра диаметром 26 м на равносторонний пятиугольник (пентагон) подземной части здания с длиной стороны 57,5 м. После всех проведенных мероприятий среднее давление под подошвой фундамента башни от нормативных нагрузок составило 870 кПа.

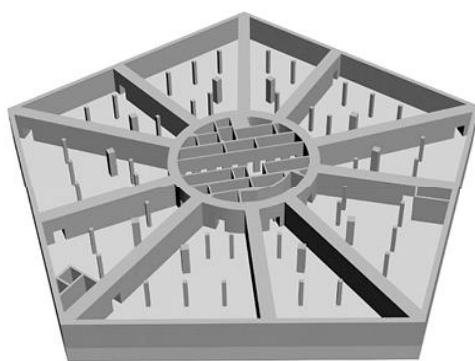


Рис. 11. Коробчатый фундамент башни
Fig. 11. Box foundation of the tower

В итоге в проекте высотного здания «Лахта Центра» был принят коробчатый фундамент (рис. 11). Нижняя плита, расположенная на относительной отметке –17,650, имеет толщину 3600 мм, верхняя плита, расположенная на относительной отметке –4,650, выполнена толщиной 2000 мм. Совместную работу нижней и верхней плит коробчатого фундамента обеспечивают 10 диафрагм жесткости толщиной 2500 мм, расходящихся от ядра здания в радиальном направлении. В коробчатом фундаменте был приме-

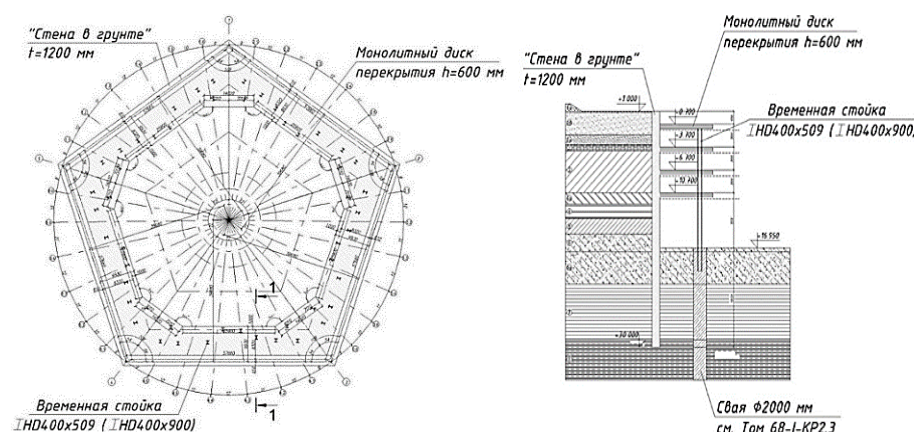


Рис. 13. Конструкция ограждения котлована
Fig. 13. Excavation fence design

После набора прочности железобетонной подготовки производился демонтаж диска перекрытий на отм. $-10,70$ м, устройство гидроизоляции и фундаментной плиты с абсолютной отметкой верха $-12,65$ м. Затем осуществлялся демонтаж временного перекрытия на отм. $-6,70$ м, возведение конструкций подземной части на абсолютной отметке $-10,70$ м, диска перекрытия на отм. $-6,80$ м и далее по аналогичной схеме.

Возведение непосредственно коробчатого фундамента происходило поэтапно, начиная с нижней плиты и заканчивая верхней. При этом наиболее сложным с технологической точки зрения является устройство нижней плиты и радиальных стен [7]. Армирование плиты, состоящее из 15 горизонтальных сеток (см. рис. 12), необходимо было выполнить таким образом, чтобы все стержни в сетках располагались строго друг над другом и при этом сохраняли свое положение в процессе заливки бетона.

Бетонированию нижней плиты предшествовала огромная подготовительная работа, которая заключалась в подборе оптимального состава бетонной смеси, выборе технологических приемов, отвечающих установленным требованиям по качеству конструкции. Такие факторы, как массивность, плотность армирования (более 450 кг/м^3), а также величина воспринимаемых конструкцией нагрузок, предполагают особые требования к параметрам бетонной смеси: низкая расслаиваемость, пониженное тепловыделение, высокая подвижность.

Для осуществления непрерывного бетонирования конструкции такого размера было предусмотрено одновременное использование 18 бетононасосов, расположенных по периметру котлована, бетонную смесь к которым подвозили 40 автобетоносмесителей. При этом расчетная скорость укладки смеси должна была быть не менее $450 \text{ м}^3/\text{ч}$ [8, 9]. Заливка нижней плиты продолжалась в течение 49,2 ч, при этом было уложено $19\,624 \text{ м}^3$ бетонной смеси. Таким образом, был установлен новый мировой рекорд по объему непрерывного бетонирования, который был зафиксирован специальной комиссией, присутствовавшей на протяжении всего процесса заливки.

Вторая очередь конструкций коробчатого фундамента состоит:

- из стен нижнего и верхнего ярусов коробчатого фундамента толщиной от 1 м (периметральные) до 2,5 м (радиальные и ядра жесткости), внутренних стен ядра жесткости толщиной от 300 до 400 мм, колонн сечением 1350×1350 и 700×700 мм;

- средней плиты толщиной 400 мм.

В силу своих габаритов наиболее сложными с точки зрения технологии возведения являются радиальные стены и кольцевая стена ядра. Ввиду большой высоты стен армирование производилось с нескольких ярусов, для чего предварительно были собраны строительные леса (рис. 14).



Рис. 14. Армирование стен коробчатого фундамента
Fig. 14. Reinforcement of box foundation walls

Выводы

Выявлена необходимость учёта специфических характеристик твёрдых глинистых грунтов, таких как параметры переуплотнения, анизотропия деформационных характеристик, изменение модуля деформации по глубине, ползучесть, трещиновато-блочная структура толщи коренных глин.

Проанализирован опыт устройства свайных фундаментов с опорой на твёрдые вендские глины с переменным модулем деформации; приведены рекомендации по проведению испытаний свай при высоких нагрузках и технологии устройства скважин в глинистых грунтах.

Представлено описание конструкции коробчатого фундамента башни, позволяющей эффективно распределить нагрузку от высотного здания от ядра к периферии. Приведено описание технологии устройства подземной части высотного здания, включая возведение ограждающей конструкции котлована типа «стена в грунте» с временными дисками перекрытий, бетонирование нижней плиты коробчатого фундамента, устройства наружных и радиальных стен, перекрытий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга // Развитие городов и геотехническое строительство. 2011. № 1. С. 1–47.
2. Шашкин А.Г. Проектирование зданий и подземных сооружений в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. Москва : Геомаркетинг, 2014. 352 с.
3. Дашко Р.Э., Лохматиков Г.А. Верхнекотлинские глины Санкт-Петербургского региона как основание и среда уникальных сооружений: инженерно-геологический и геотехнический анализ // Записки Горного института. 2022. Т. 254. С. 180–190.
4. Дашко Р.Э., Лохматиков Г.А. Трещиноватость глинистых пород как ключевой фактор при их геотехнической оценке в качестве оснований сооружений // Геотехника. 2021. Т. XIII. № 3. С. 20–31.
5. Abdelrazaq A., Travush V., Shakhvorostov A., Timofeevich A., Desyatkin M., Jung Hyungil. The Structural Engineering Design and Construction of The Tallest Building in Europe Lakhta Center, St. Petersburg, Russia // International Journal of High-Rise Buildings. 2020. V. 9. № 3. P. 283–300.
6. Илюхина Е.А., Лахман С.И., Миллер А.Б., Травуш В.И. Конструктивные решения высотного здания «Лакhta Центр» в Санкт-Петербурге // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, 2019. Т. 15. № 3. С. 14–39.
7. Травуш В.И., Шахворостов А.И. Бетонирование нижней плиты коробчатого фундамента башни комплекса «Лакhta Центр» // Высотные здания. 2015. № 1. С. 92–101.
8. Колчеданцев Л.М., Волков С.В. Организационно-технологические решения по транспортированию бетонной смеси к месту бетонирования конструкций высотных зданий // Жилищное строительство. 2015. № 11. С. 21–26.
9. Колчеданцев Л.М., Волков С.В., Волкова Л.В. Организационно-технологические решения по устройству фундаментов высотных зданий // Жилищное строительство. 2016. № 9. С. 50–54.

REFERENCES

1. Dashko R.E., Aleksandrova O.Yu., Kotyukov P.V., Shidlovskaya A.V. Geotechnical Conditions in Saint-Petersburg. *Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2011 (1): 1–47. (In Russian)
2. Shashkin A.G. Design of buildings and underground structures in challenging engineering geology conditions in Saint-Petersburg. Moscow: Geomarketing, 2014. 352 p. (In Russian)
3. Dashko R.E., Lokhmatikov G.A. Verkhnekotlinsky Clays of Saint-Petersburg region as soil foundation for unique buildings and structures: Engineering geology and geotechnical analysis. *Zapiski Gornogo instituta*. 2022; 254: 180–190. (In Russian)
4. Dashko R.E., Lokhmatikov G.A. Fracture density of clay rocks as a key factor in geotechnical assessment of soil foundations. *Geotekhnika*. 2021; 13 (3): 20–31. (In Russian)
5. Abdelrazaq A., Travush V., Shakhvorostov A., Timofeevich A., Desyatkin M., Jung H. The structural engineering design and construction of the tallest building in Europe Lakhta Center, Saint-Petersburg. *International Journal of High-Rise Buildings*. 2020; 9 (3): 283–300.
6. Ilyukhina E.A., Lakhman S.I., Miller A.B., Travush V.I. Structural engineering solutions for high-rise building of Lakhta Center in Saint-Petersburg. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2019; 15 (3): 14–39.
7. Travush V.I., Shakhvorostov A.I. Concreting of box foundation bottom slab of the Lakhta Center. *Vysotnye zdaniya*. 2015; (1): 92–101. (In Russian)
8. Kolchedantsev L.M., Volkov S.V. Engineering solutions of concrete mixture transportation to construction sites of high-rise buildings. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2015; (11): 21–26. (In Russian)
9. Kolchedantsev L.M., Volkov S.V., Volkova L.V. Engineering solutions of high-rise building foundations. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2016; (9): 50–54. (In Russian)

Сведения об авторе

Никифоров Сергей Владимирович, директор по проектированию, АО «Синергия»,
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая морская, 24, sergeivnikiforov@gmail.com

Authors Details

Sergey V. Nikiforov, Director for Engineering, AO “Synergy”, 24, Bolshaya Morskaya Str.,
190000, Saint-Petersburg, Russia, sergeivnikiforov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 15.01.2024
Одобрена после рецензирования 19.01.2024
Принята к публикации 22.01.2024

Submitted for publication 15.01.2024
Approved after review 19.01.2024
Accepted for publication 22.01.2024