

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный
архитектурно-строительный университет

ВЕСТНИК

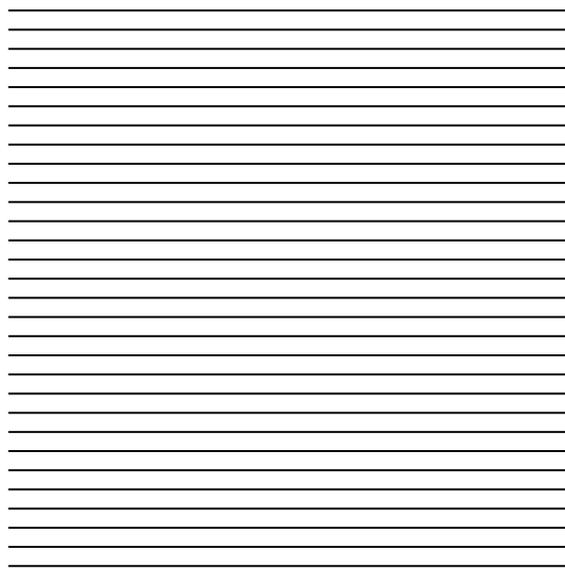
ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Том 25

№ 5 _____ 2023

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с апреля 1999 г.



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ляхович Л.С., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, профессор кафедры строительной механики ТГАСУ, г. Томск; гл. редактор; 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
Галютин З.Р., докт. техн. наук, доцент, зав. кафедрой железобетонных конструкций ТГАСУ, г. Томск; zgaryautdinov@tsuab.ru
Гныря А.И., докт. техн. наук, профессор, советник РААСН, профессор кафедры технологии строительного производства ТГАСУ, г. Томск; tsp_tgasu@mail.ru
Детярев 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, профессор 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
Кудряков 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
Лотов В.А., докт. техн. наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ, г. Томск; valotov@ipu.ru
Люсия 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. Омь, Кыргызская Республика; oshsu@mail.ru
Поляков Е.Н., докт. искусствования, 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; eleni@vtomske.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; bagdabt@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. Иркутск; chupimvr@ex.istu.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.tsuab.ru>

Научное издание

ВЕСТНИК ТГАСУ № 5 – 2023

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. Дизайнер Е.И. Кардаш.

Технический редактор Н.В. Удлер.

Подписано в печать 23.10.2023. Формат 70×108/16. Гарнитура Таймс.

Дата выхода: 27.10.2023.

Уч.-изд. л. 16,43. Усл. печ. л. 19,51. Тираж 200 экз. Зак. № 66.

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



© Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2023

The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

VESTNIK
TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO
ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA

JOURNAL
OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Volume 25

№ 5 2023
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Published since April 1999



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; be-ker.ai@dfu.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; zglyautdinov@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
Shubnikov M.V., DArts, Professor, Head of Urban Planning Dept., Moscow Architectural Institute (State Academy), RAACS Vice President, Moscow, Russia; shubnikov@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; luca.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 ARHITEKTURNO-STROITELNOGO UNIVERSITETA
JOURNAL OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE № 5 – 2023
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: 23.10.2023. Paper size: 70×108/16. Typeface: Times New Roman Issue date: 27.10.2023.
Published sheets: 16,43. Conventional printed sheets: 19,51. Print run: 200 copies Price: free.
Order N 66.

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, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Стояк Ю.А. Внедрение новой архитектуры в исторический контекст на примере города Томска (ТГАСУ, г. Томск).....	9
Мицаева Х.В., Поляков Е.Н. Современные тенденции в проектировании детских игровых площадок (ТГАСУ, г. Томск)	23
Хакимова Т.С. Исторические поселения в территориальном развитии Казанской и Камской агломераций (КГАСУ, г. Казань)	38
Океанов Г.В. Архитектурное формирование уникальных объектов в условиях противоречивых задач и субъективных факторов (на примере спортивных арен футбольных стадионов) (АО «ЦНИИПромзданий», г. Москва)	53
Жукова Е.С., Молчанов В.М. Основные аспекты проектирования современных речных вокзалов (на примере речного вокзального комплекса в городе Ростове-на-Дону) (ААИ ЮФУ, г. Ростов-на-Дону)	68
Пылов П.А., Дягилева А.В., Николаева Е.А., Майтак Р.В., Шалыгина Т.А. Генеративно-состязательная сеть как основа интеллектуальной модели формирования изображений архитектурных объектов заданного стиля по их текстовому описанию (КузГТУ, г. Кемерово, ТГАСУ, г. Томск)	84

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Шеховцов В.В. Спектральная пирометрия при плазменном нагреве, плавлении и охлаждении неметаллических тугоплавких материалов (ТГАСУ, г. Томск).....	95
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Иванова Е.А., Пенявский В.В. Повышение тепловой защиты ограждающей конструкции в области наружного угла (ТГАСУ, г. Томск).....	108
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Адам А.М., Лукашевич О.Д., Мершина Г.И. Оценка эффективности применения наилучших доступных технологий в системе водопользования на примере водохозяйственного участка реки Томи (НИ ТГУ, ТГАСУ, г. Томск, Верхне-Обское БВУ, г. Новосибирск)	120
Суглобов Д.А., Вялкова Е.И., Осипова Е.Ю. Особенности проектирования резервуаров-накопителей сточных вод в арктических условиях (ТИУ, г. Тюмень ТГАСУ, г. Томск).....	132

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Готман Н.З., Чунг Хиену Ле. Исследование влияния глубины котлована на взаимодействие барреты с грунтовым основанием (РУТ (МИИТ), г. Москва).....	144
Колмогоров С.Г., Клемяционок П.Л., Колмогорова С.С. О взаимосвязи показателей консистенции и уплотненности глинистых грунтов (СПбГАУ, ПГУПС, г. Санкт-Петербург)	156
Ющубе С.В., Подшивалов И.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния разноуровневого основания и фундамента многоэтажного здания, расположенного на склоне (ТГАСУ, г. Томск)	164

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д. Качество, эксплуатационные свойства и экологическая безопасность автомобильной дороги в контексте устойчивого экономического развития (ТГАСУ, г. Томск)	179
Пушкарева Г.В., Халтурин Д.Д. Анализ методов повышения безопасности движения на нерегулируемых перекрестках крупных городов (на примере города Томска) (ТГАСУ, г. Томск)	198

C O N T E N T S

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Stoyak Yu.A. Inclusion of new architecture in historical environment of Tomsk (Tomsk).....	9
Mitsaeva Kh.V., Polyakov E.N. Modern design trends in children's playgrounds (Tomsk).....	23
Khakimova T.S. Historical settlements on territories of Kazan and Kama agglomerations (Kazan)	38
Okeanov G.V. Unique architecture in conditions of conflicting objectives and subjective factors (stadium case studies) (Moscow)	53
Zhukova E.S., Molchanov V.M. Main design aspects of modern river boat stations (the Rostov-on-Don case studies) (Rostov-on-Don).....	68
Pylov P.A., Dyagileva A.V., Nikolaeva E.A., Maitak R.V., Shalygina T.A. Generative adversarial network as a basis for intelligent model of imaging architectural objects based on textual description (Kemerovo, Tomsk)	84

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Shekhovtsov V.V. Spectral pyrometry of non-metallic materials at plasma heating, melting and cooling (Tomsk).....	95
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING (HVAC), LIGHTING SYSTEMS AND GAS NETWORKS

Ivanova E.A., Penyavskii V.V. Thermal protection improvement of building envelope near external corner (Tomsk)	108
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Adam A.M., Lukashevich O.D., Mershina G.I. Efficiency of the best available techniques in water utilization on water management site of the river Tom (Tomsk, Novosibirsk).....	120
Suglobov D.A., Vyalkova E.I., Osipova E.Yu. Design of effluent storage tanks in Arctic conditions (Tyumen, Tomsk).....	132

BASES, FOUNDATIONS AND SUBSTRUCTURES

Gotman N.Z., Trung Hieu Le. Influence of excavation depth on the interaction between barrette and subgrade soil (Moscow)	144
Kolmogorov S.G., Klemysionok P.L., Kolmogorova S.S. Relationship between consistency and compaction of clay soils (Saint-Petersburg).....	156
Yushchube S.V., Podshivalov I.I. Stress-strain state model of split-level foundation of multi-storey building on a slope (Tomsk).....	164

ENGINEERING AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRDROMES, AND TUNNELS

Lukashevich V.N., Lukashevich O.D. Quality, operating properties and environmental safety of automobile road in sustainable economic development (Tomsk)	179
Pushkareva G.V., Khalturin D.D. Analysis of traffic calming techniques at unsignalized intersections in large cities (Tomsk)	198

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 9–22.

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; 25 (5): 9–22.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 72.013

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-9-22

EDN: TICMBP

ВНЕДРЕНИЕ НОВОЙ АРХИТЕКТУРЫ В ИСТОРИЧЕСКИЙ КОНТЕКСТ НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ТОМСКА

Юлия Александровна Стояк

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

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме современности – меняющемуся архитектурно-художественному облику исторических городов России. В исследовании освещены вопросы, связанные с внедрением новых объектов в историческую среду.

В работе применены *методы* критического анализа научной литературы, сравнительного архитектуроведческого анализа и системно-структурного анализа информации.

Научная новизна заключается в применении анализа распространенных методов нового строительства в исторической среде к архитектурному облику г. Томска. Методологической и теоретической основой исследования являются теоретические труды архитекторов, посвященные архитектурному образу города, исследования, касающиеся оценки психоэмоционального воздействия архитектуры на человека, а также материалы натурального исследования, проведенного в рамках работы над проектом.

В результате исследования выявлены ключевые аспекты нового проектирования, касающиеся тактики взаимодействия современных сооружений и объектов историко-архитектурной среды, проведен анализ современной застройки г. Томска в историческом центре.

Практическая значимость исследования заключается в возможности использования полученных результатов при подготовке студентов-архитекторов и в практической деятельности архитекторов.

Ключевые слова: современное строительство, историко-архитектурная среда, архитектурно-художественный облик, г. Томск, архитектура и психология

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Ассоциации искусствоведов России.

Для цитирования: Стояк Ю.А. Внедрение новой архитектуры в исторический контекст на примере города Томска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 9–22. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-9-22. EDN: TICMBP

ORIGINAL ARTICLE

INCLUSION OF NEW ARCHITECTURE IN HISTORICAL ENVIRONMENT OF TOMSK

Yulia A. Stoyak

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Purpose: The aim of this work is to highlight issues relating to the introduction of new objects into the historical environment of Tomsk.

Methodology/approach: Critical analysis of the scientific literature, comparative and analysis of architecture, system and structural analysis of information. A study of theoretical works of architects devoted to the urban architecture; assessment of architectural impact on a person; field research.

Research findings: Key aspects are identified for the interaction between modern structures and objects of historical and architectural environment. The analysis is presented for the Tomsk development at the historical center.

Practical implications: The possibility of using the obtained results in training of architecture students and in practical activity of architects. The application of new construction methods in the historical environment to Tomsk architecture.

Keywords: modern construction, historical and architectural environment, architecture, Tomsk

Funding: This work was financially supported by the Association of Art Experts of Russia.

For citation: Stoyak Yu.A. Inclusion of new architecture in historical environment of Tomsk. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 9–22. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-9-22. EDN: TICMBP

Введение

Градостроительный каркас и уникальный архитектурный образ большинства российских городов во многом является заслугой и наследием прошлого. Централизованное управление строительной деятельностью в России в период классицизма позволило создать гармоничные градостроительные каркасы и ансамбли большинства российских городов, при этом новая по стилистике архитектура последующих этапов органично включалась в уже сложившуюся среду, не нарушая ее логики. Тенденции строительной практики последних лет приводят к тому, что эти некогда целостные градостроительные образования повсеместно разрушаются. Несмотря на отдельные положительные примеры, новое время в целом оказалось не способно к рациональному тактическому взаимодействию с историческим наследием, чему есть целый ряд причин. Логика и практика градостроительства прошлых эпох и современности неизбежно вступают в конфликт, острее всего эти «противостояния» проявляют себя

в центрах городов, где еще сохранились исторические здания. И если в советский период истории новые включения еще подчинялись единому замыслу внутри собственной системы, хоть и подчас полностью игнорировали контекст, то сегодня механизмы регулирования архитектурной деятельности предполагают большую свободу в трактовке художественных образов. Это в значительной степени повышает важность этики взаимоотношений «старого» и «нового», основанной на профессиональном взгляде на объект обсуждения и исключаящей фактор предвзятости.

Изучению проблем исторических городов, градостроительного планирования и проектирования в исторической среде посвящено множество исследований отечественных и зарубежных авторов. Главные принципы отношения к исторической застройке в условиях постоянно меняющегося города нашли отражение и в ряде международных документов (Вашингтонская хартия, 1987 г.; Квебекская декларация по сохранению духа места, 2008 г.; Принципы Валетты по сохранению и управлению историческими городами и урбанизированными территориями, 2011 г. и т. д.). Ряд исследований посвящены изучению принципов формирования новой архитектуры в сложившейся среде и анализу современного опыта.

В научных кругах неоднократно поднимались и продолжают рассматриваться вопросы облика города, его смысловых пластов, восприятия человеком архитектурной среды. Старейшая область исследований в психологии, наряду с психофизикой, – экспериментальная эстетика, исследующая эстетический опыт восприятия, зародилась еще в XIX в. Методологические труды по архитектурному проектированию в основной массе основаны как раз на опыте эстетического восприятия. Архитектор должен в совершенстве владеть искусством понимания формы и ее влияния на человека, поскольку восприятие архитектуры всегда связано с переживанием тех или иных эмоций [1–4].

Работы в области теории архитектуры концентрируют внимание на разнообразных аспектах градостроительной деятельности, выявляя особенности функционирования и формирования городской среды. Многие подобные исследования в той или иной степени имеют целью определение методологии для работы с исторической средой, в том числе при новом строительстве [5–9]. Однако, ввиду исключительной сложности и многоаспектности данного вопроса, единой системы подхода к проектированию в исторической среде на данный момент не существует. По большей части итоговый результат нового проектирования зависит от предпочтений архитектора и застройщика.

Приемы включения новой архитектуры

Вопросы взаимодействия новой и старой архитектуры становятся особенно значимыми (и до сих пор не теряют актуальности) со второй половины XX в. и начинают активно обсуждаться в последней трети XX в. Наибольшее распространение получили следующие типы внедрения новых объектов в сложившуюся среду: стилизация, контрастный подход и контекстный подход. Каждый из этих методов подвергался критике, и каждый нашел применение в разных условиях исторической среды в России и за рубежом.

Суть принципа стилизации заключается в том, что новое сооружение «перенимает» базовые характеристики среды проектирования, такие как масштаб застройки, цветовые и стилистические характеристики архитектурных решений, отдельные приемы исторической архитектуры, объемно-пространственная структура объекта или комплекса в целом. В отдельных случаях данный тип внедрения новой застройки сводится к простому копированию. Однако в случаях, когда особенности архитектуры прошлого подвергаются творческой переработке, возможно появление более ценных с архитектурной точки зрения объектов.

Контрастный подход – довольно жесткий метод проектирования, и, хотя профессионализм и чуткость архитектора имеют значение при любых подходах, в данном случае этот аспект имеет еще большее значение, т. к. предполагается, что новый объект будет значительно выделяться в архитектурной среде. Он может стать основой формирования новой объемно-пространственной системы в зависимости от степени доминирования над окружающей застройкой.

Контекстный подход – наиболее гибкая форма проектирования в исторической среде, поскольку она предполагает создание архитектурных объектов в современной стилистике соответственно духу времени. При этом более глубокий и творческий анализ среды проектирования позволяет встроить новый объект в ткань города безболезненно, без потерь ее ценностных характеристик.

В настоящем исследовании проанализирован ряд новых зданий в исторической части главной улицы Томска – проспекта Ленина (от ул. Дальне-Ключевской до Лагерного сада), поскольку именно эта улица наиболее посещается как жителями, так и гостями города.

Подходы к новому проектированию в Томске нельзя отнести к одному из описанных выше способов. Скорее они представляют собой сочетание этих методов. Как правило, именно многоэтажные жилые дома наиболее деструктивно воздействуют на историческую среду. В данном отношении не столь важно, расположены они по красным линиям исторической застройки или в глубине кварталов, восприятие ансамбля улицы в обоих случаях оказывается нарушенным. На практике в Томске реализуется два подхода: полное игнорирование контекста и частичное применение некоторых элементов исторической архитектуры (арки, башенки и т. д.), которые, с одной стороны, призваны «примирить» старую и новую архитектуру, с другой – могут не соответствовать характеру архитектуры конкретного места проектирования и подбираться «механически» по принципу принадлежности стилистике прошлых эпох.

На рис. 1 приведены примеры реального масштаба исторической среды пр. Ленина на периферийных областях, представленного в основной массе двухэтажными деревянными или каменными зданиями. На рис. 2, 3 показано, как сильно масштаб новых жилых зданий контрастирует с исторической средой. В то же время попытки привнести в новую архитектуру приемы из предыдущих эпох нисколько не снижают дисгармоничного влияния таких зданий, поскольку сами эти элементы теряются на фоне массивных фасадов. В таких условиях невозможно говорить об ансамблевости градостроительных элементов города, что в целом приводит к разрушению общей гармонии архитектурно-художественного облика Томска.

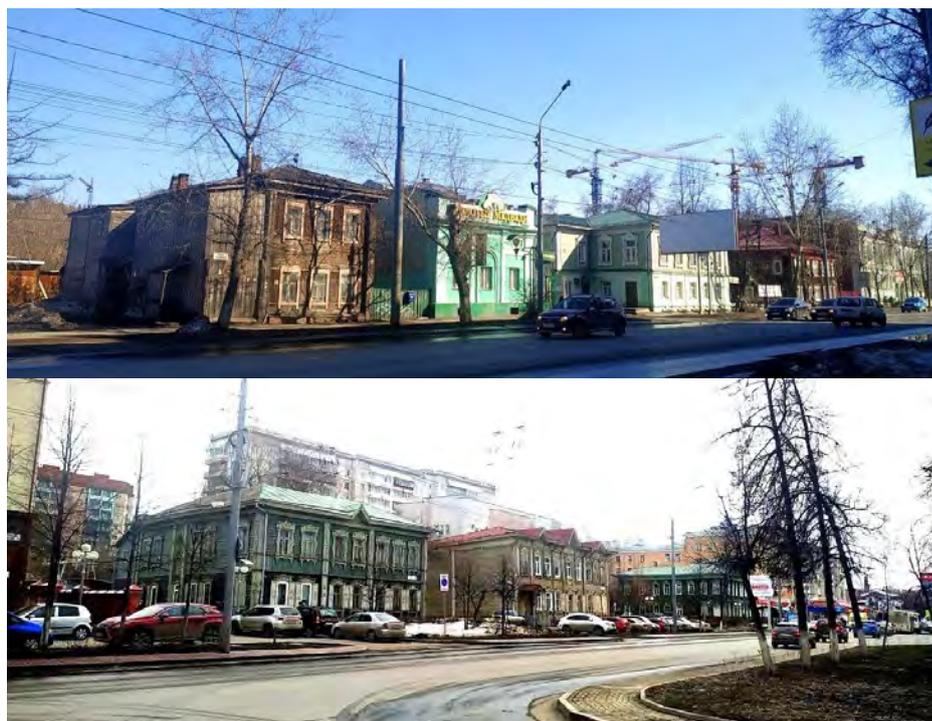


Рис 1. Масштаб исторической среды южных и северных участков пр. Ленина. Фото Ю.А. Стояк, 2021 г.

Fig. 1. Historical environment of southern and northern parts of Lenin Ave. Photographs by Yu.A. Stoyak, 2021

В эпоху, соответствующую сохранившейся архитектурно-исторической среде, именно доминанты позволяли выделять наиболее значимые зоны города (центры и подцентры, формирующиеся вокруг общественных зданий). Смещение смыслов, наблюдаемое в настоящее время, приводит к тому, что город уже невозможно «читать» без запинки и формировать четкое представление о его структуре.

Параметры дисгармонии нового здания относительно среды проектирования включают не только объемно-пространственную композицию, но и цветовое решение, масштаб деталей, характер примененных материалов и т. д. Приведенные примеры показывают, что стилизованные архитектурные элементы новых зданий «вырваны» из контекста участков проектирования и не отвечают общей стилистике исторического ансамбля пр. Ленина. Вместе с тем использование контрастного красного кирпича только усиливает фокус внимания на разнице между исторической застройкой и современной. Изучение архитектурных решений представленных жилых домов, скорее, показывает, что главной целью при формировании их облика выступала собственная композиция вне контекста, а «уступки» исторической среде, выразившиеся в применении псевдоисторических приемов, по существу случайны, не обоснованы предпроектным анализом и не опираются на конкретные данные исследования каждого участка проектирования и его характеристик.



Рис. 2. Жилые здания на пр. Ленина, выходящие фасадами на центральную улицу и расположенные в глубине квартала. Фото Ю.А. Стояк, 2021 г.

Fig. 2. Residential buildings on Lenin Avenue and at the back of the block. Photographs by Yu.A. Stoyak, 2021



Рис. 3. Новые жилые здания на пр. Ленина в глубине кварталов. Фото Ю.А. Стояк, 2021 г.
Fig. 3. New residential buildings on Lenin Avenue at the back of blocks. Photographs by Yu.A. Stoyak, 2021

В центральной части города, где процент современной застройки несколько снижается за счет сохранения исторических общественных зданий, формируется иная картина. Масштаб исторической среды на данных территориях повышается, а масштаб современной застройки снижается, т. к. она представлена не только жилыми, но и общественными зданиями. К тому же на данных территориях действуют строгие градостроительные регламенты. На рис. 4, 5 показан пример, когда современное здание тактично по масштабу вписывается в контекст, и это приводит к качественно иным результатам и, как следствие, к формированию нейтральной либо положительной оценки жителями эмоционального воздействия архитектуры этих улиц.

Не делая выводов относительно архитектуры этих новых зданий, можно сказать, что нейтральное цветовое решение и приближение к масштабу среды значительно улучшают восприятие улицы в сравнении с предыдущими примерами.

В г. Томске можно наблюдать несколько примеров, когда новое здание претендует на «диалог» с историческим наследием и в то же время доминирует над ним, нарушая сложившуюся объемно-пространственную композицию улицы и саму идею ее облика. Яркий пример – здание торгового центра Big City, в архитектуре которого, с одной стороны, используется стилизация, с другой – контраст (по цветовому и объемно-пространственному решению). Со стороны пл. Ленина влияние безусловного центра притяжения со времени своего строительства – Пассажа Второва (1903–1905 гг. постройки) нивелируется зданием Big City. С южной стороны, если рассматривать ансамбль ул. Ленина от подъема к Главпочтамту, купол Big City со шпилем «спорит» с аналогичным куполом магазина Голованова, 1899 г. («Нижний гастроном») и закрывает панораму на пл. Ленина и Богоявленский собор (рис. 6).

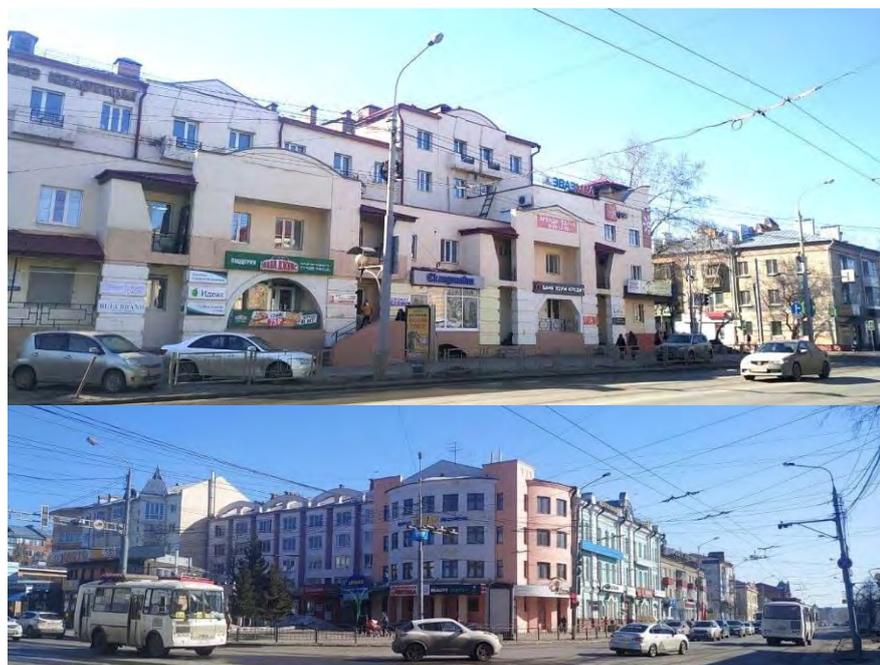


Рис. 4. Современные жилые здания, в целом соответствующие масштабу окружающей застройки, с нейтральным решением и частичным заимствованием элементов исторической архитектуры. Фото Ю.А. Стояк, 2021 г.

Fig. 4. Modern residential buildings generally corresponding to the urban development, with a neutral solution and partial borrowing of elements of historical architecture. Photographs by Yu.A. Stoyak, 2021



Рис. 5. Застройка советского периода на пр. Ленина, превышающая масштаб среды, но в целом с нейтральным отношением к контексту. Фото Ю.А. Стояк, 2021 г.

Fig. 5. Soviet-era development on Lenin Avenue, exceeding the environment scale, but generally neutral. Photographs by Yu.A. Stoyak, 2021

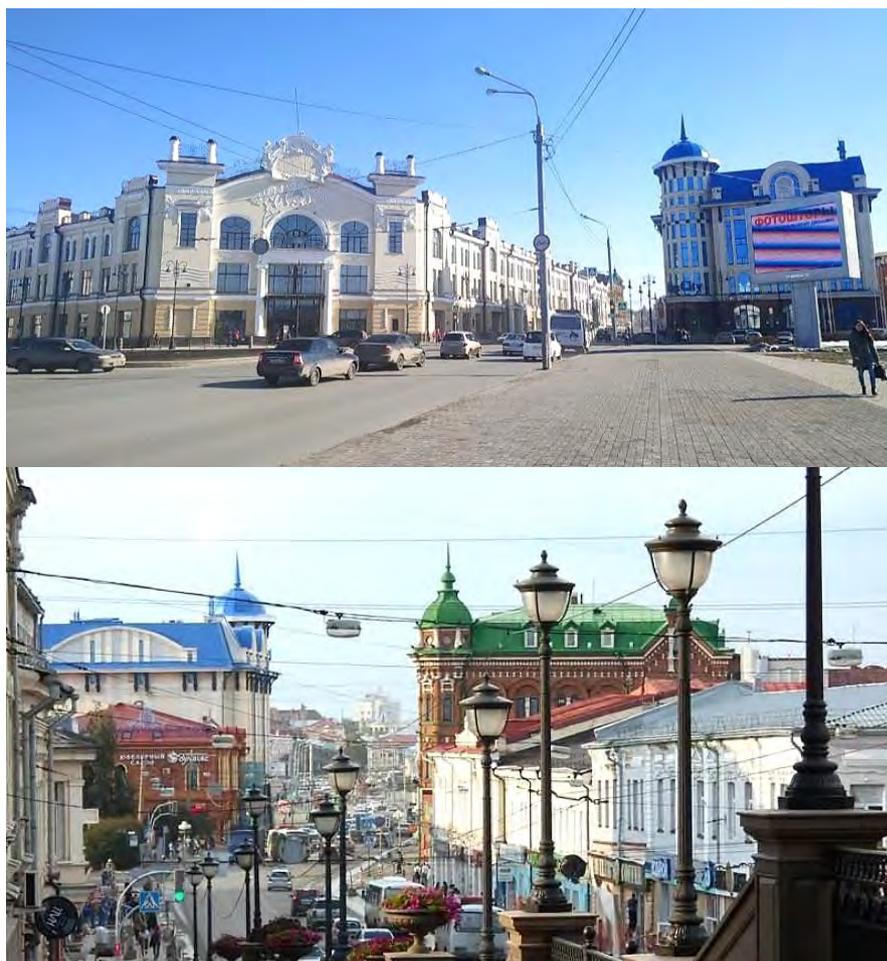


Рис. 6. Здание торгового центра Big City в г. Томске [10]
Fig. 6. Building of the Big City shopping centre in Tomsk [10]

Подобное влияние оказывает здание Гуманитарного лицея, реконструированное в 2015 г. и расположенное с нюансным отклонением от центральной оси здания Томского государственного университета, что нарушает одну из основных идей классицистического наследия. Архитектурный акцент, созданный за счет увеличения этажности и подчеркнутой осевой симметрии, смещает градус внимания с ансамбля университета и рожи (рис. 7). При этом здание лицея копирует осевую симметрию и элементы классицизма (треугольный фронтон, рустовка, замковые камни, арочные окна), как бы цитируя здание университета, что в общем оказывает, напротив, деструктивное влияние на исторический градостроительный каркас. Если обратить внимание на дореволюционные здания, расположенные на нечетной стороне пр. Ленина, окажется, что каждое из них формировало нейтральный фронт застройки, уступая главную роль университету, тогда как сегодня новые здания становятся архитектурными акцентами за счет контрастной композиции.



Рис. 7. Анализ планировочного и архитектурных решений новой застройки по пр. Ленина относительно исторического корпуса ТГУ. Фото Ю.А. Стояк, 2021 г.:

a – здание Томского государственного университета; *b* – здание Гуманитарного лицея; *в* – расположение зданий университета и лицея, планировочное решение [11]; *г* – Институт экономики и менеджмента ТГУ; *д* – торгово-офисное здание

Fig. 7. Analysis of planning and architectural solutions of the new development on Lenin Ave. against the historical building of Tomsk State University. Photographs by Yu.A. Stoyak, 2021:

a – TSU building; *b* – Humanitarian Lyceum; *c* – university and lyceum buildings, planning solution [11]; *d* – Institute of Economics and Management; *e* – commercial and office building

Собственно полноценная стилизация с копированием исторической среды на пр. Ленина не применяется (рис. 8).



Рис. 8. Примеры стилизации в современных общественных зданиях в центральной части пр. Ленина. Фото Ю.А. Стояк, 2021 г.

Fig. 8. Stylized design of modern public buildings in the central part of Lenin Ave. Photographs by Yu.A. Stoyak, 2021

Подход к новому проектированию в Томске объединяет метод стилизации (заимствования элементов исторической архитектуры) и метод творческой переработки архитектурных приемов прошлого, накладывающихся на вполне современную объемно-пространственную композицию. При этом отдельные смелые решения, характерные для новой архитектуры, накладываясь на псевдоисторизм, делают облик здания контрастным сложившейся среде. Таким образом, полно-

ценного включения новых зданий в исторический контекст не складывается. Они не поддерживают историческую среду и не являются частью целостной новой системы (т. к. решают задачи отдельно взятого участка проектирования), что приводит к формированию хаотичной застройки города вместо организованной (рис. 9).

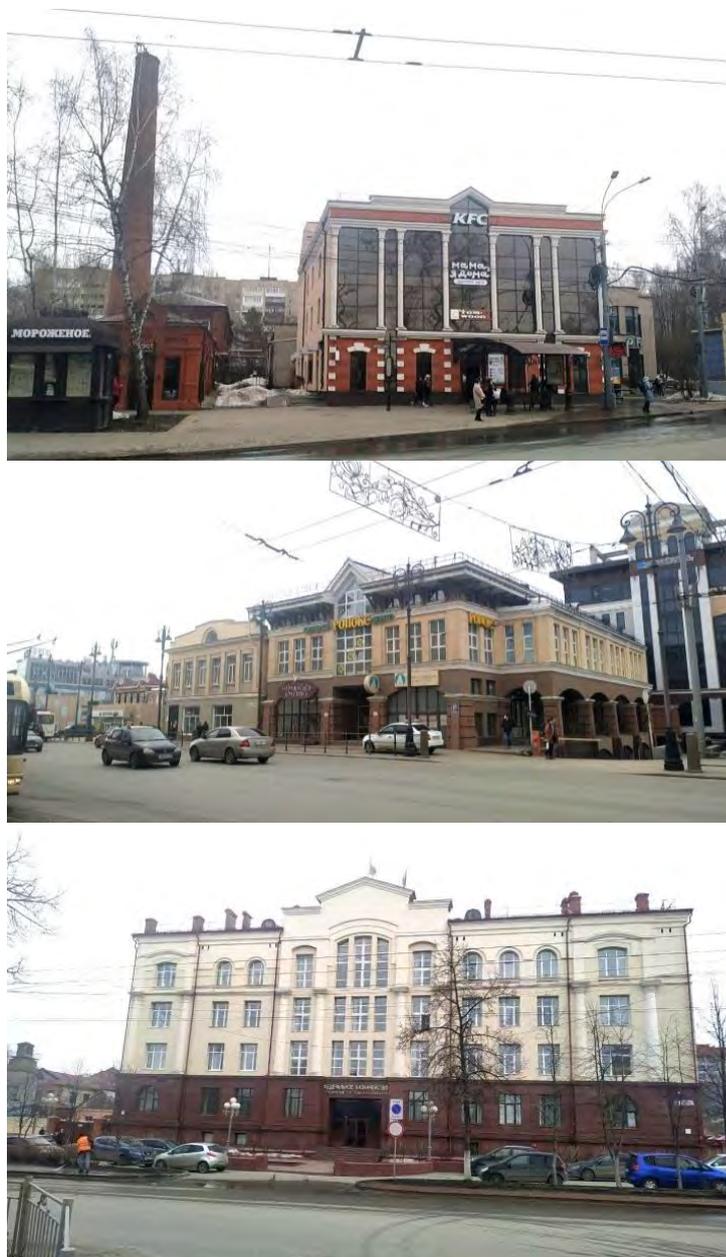


Рис. 9. Примеры стилизации в современных общественных зданиях в южной части пр. Ленина. Фото Ю.А. Стояк, 2021 г.

Fig. 9. Stylized design of modern public buildings in the southern part of Lenin Ave. Photographs by Yu.A. Stoyak, 2021

Таким образом, в исследовании рассмотрены примеры внедрения новой застройки и сложившиеся «традиции» проектирования зданий в исторической среде в г. Томске. Выполнен сравнительный анализ основных приемов нового строительства в Томске относительно приемов, нашедших применение в других городах России, исследовано влияние объектов нового строительства на архитектурно-художественный облик Томска.

Заключение

Проблема внедрения новой застройки с точки зрения влияния на архитектурно-художественный образ города в большей степени относится не столько к масштабу и высотным показателям, сколько к характеру элементов и стилистики зданий, а также их взаимодействию между собой. Даже в районах с малоэтажной застройкой (соответствующей по параметрам высоты, масштаба, членений фасадов) может формироваться деструктивная среда вследствие несогласованности цветового решения и характера отделки фасадов.

В настоящее время, в противовес исторической застройке, архитектор-проектировщик имеет в своем арсенале огромное количество архитектурно-конструктивных приемов, материалов, стилистических наработок, не говоря уже о большом разнообразии и усложнении функциональной типологии современной архитектуры. Выбор того или иного метода или материала в значительной степени субъективен и складывается из большого числа факторов, при этом предпроектный анализ существующей среды часто ведется только на тех территориях, где установлены строгие градостроительные регламенты, и ограничивается изучением только самих регламентов.

Как верно отмечает А.В. Иконников, «для реконструкции исторических комплексов нельзя предложить универсальные рецепты» [12]. Однако, если сравнивать методы внедрения, апробированные в других городах России, можно отметить, что суть контекстного подхода более универсальна. Этот подход является более гибким по отношению к другим методам и лучше выражает именно «современный» характер архитектуры, которая по своей сути является выразителем духа времени, тогда как метод полной стилизации приводит к определенной «фальшивости» вновь создаваемых объектов, а контрастный подход при недостаточно высоком уровне профессионализма приводит к появлению дисгармоничных объектов, разрушающих городскую среду и негативно влияющих на психоэмоциональное состояние жителей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шилин В.В. Архитектура и психология. Нижний Новгород : Изд-во Нижегород. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. 68 с.
2. Яргина З.Н. Эстетика города. Москва : Стройиздат, 1991. 365 с.
3. Степанов А.В., Иванова Г.И., Нечаев Н.Н. Архитектура и психология. 2-е изд. Москва : Юрайт, 2023. 355 с.
4. Забельшанский Г.Б., Минервин Г.Б., Раппапорт А.Г., Сомов Г.Ю. Эмоциональное воздействие архитектурной среды и ее организация // Архитектура и эмоциональный мир человека. Москва : Стройиздат, 1985. 207 с.
5. Баранов Н.Н. Силуэт города. Москва : Стройиздат, 1980. 180 с.
6. Гутнов А.Э., Глазычев В.Л. Мир архитектуры: Лицо города. Москва : Молодая гвардия, 1990. 352 с.

7. Янковская Ю.С. Архитектура городской среды. Образ и морфология. Санкт-Петербург : Лань, 2021. 248 с.
8. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. Москва : Стройиздат, 1984. 256 с.
9. Пруцын О.И. Архитектурно-историческая среда. Москва : Стройиздат, 1990. 480 с.
10. Путешествие в Томск // livejournal : [сайт]. – URL: <https://imperium-ross.livejournal.com/35277.html> (дата обращения: 08.05.2023).
11. Градостроительный атлас г. Томска. URL: <https://map.admtomsk.ru> (дата обращения: 08.05.2023).
12. Иконников А.В. Эстетические проблемы композиции. Москва : Стройиздат, 1972. 216 с.

REFERENCES

1. Shilin V.V. Architecture and psychology. Brief lecture notes. Nizhny Novgorod, 2011. 68 p. (In Russian)
2. Yargina Z.N. The aesthetics of the city. Moscow: Stroyizdat, 1991. 366 p. (In Russian)
3. Stepanov A.V., Ivanova G.I., Nechaev N.N. Architecture and Psychology. 2nd ed., Moscow: Yurait, 2023. 355 p. (In Russian)
4. Zabel'shanskii G.B., Minervin G.B., Rappaport A.G., Somov G.Yu. Emotional impact of the architectural environment and its organization. In: Architecture and the human emotional world. Moscow: Stroyizdat, 1985. 207 p. (In Russian)
5. Baranov N.N. Silhouette of the city. Moscow: Stroyizdat, 1980. 180 p. (In Russian)
6. Gutnov A.E., Glazychev V.L. The world of architecture: The face of the city. Moscow: Molodaya gvardiya, 1990. 352 p. (In Russian)
7. Yankovskaya Yu.S. Architecture of the urban environment. Image and morphology. Saint-Petersburg: Lan', 2021. 248 p. (In Russian)
8. Gutnov A.E. Evolution of urban planning. Moscow: Stroyizdat, 1984. 256 p. (In Russian)
9. Prutyn O.I. Architectural and historical environment. Moscow: Stroyizdat, 1990. 480 p. (In Russian)
10. Journey to Tomsk. Available: <https://imperium-ross.livejournal.com/35277.html> (accessed May 8, 2023). (In Russian)
11. Urban Atlas of Tomsk. Available: <https://map.admtomsk.ru> (accessed May 8, 2023). (In Russian)
12. Ikonnikov A.V. Aesthetic problems of composition. Moscow: Stroyizdat, 1972. 216 p. (In Russian)

Сведения об авторе

Стояк Юлия Александровна, канд. архитектуры, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, yulia.stoyak@yandex.ru

Author Details

Yuliya A. Stoyak, PhD, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, yulia.stoyak@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 03.05.2023
 Одобрена после рецензирования 02.07.2023
 Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 03.05.2023
 Approved after review 02.07.2023
 Accepted for publication 21.09.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 23–37.

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; 25 (5): 23–37.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 721.012

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-23-37

EDN: WICPAN

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕТСКИХ ИГРОВЫХ ПЛОЩАДОК

Хава Виситаевна Мицаева, Евгений Николаевич Поляков

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

Аннотация. *Актуальность.* Интенсивная урбанизация ограничила доступное пространство для детей, сократив сферу познавательной деятельности и контактов с окружающим миром. В свете этих изменений возрастает потребность в создании многофункциональных детских площадок и уличных игровых комплексов, выполняющих важную роль в физическом и психологическом развитии детей и подростков, а также способствующих их социальной адаптации.

В статье исследован современный отечественный и зарубежный опыт проектирования и строительства детских игровых площадок, освещены новейшие тенденции в их функциональной и композиционной организации. Представлены образцы детских площадок, предназначенные для детей разного возраста (от 3 до 14 лет), рассмотрены варианты их благоустройства с помощью современных ландшафтных элементов и пространственных конструкций.

Цель исследования – изучение современных подходов и инноваций в проектировании детских игровых площадок для создания более безопасных, разнообразных и соответствующих современным потребностям игровых пространств.

Методика исследования основывается на анализе существующих направлений в дизайне игровых площадок, включающем в себя изучение литературы и оценку социокультурных и экологических факторов, влияющих на проектирование и создание современных детских игровых площадок.

В результате исследования выявлены ключевые факторы и методы, положенные в основу создания современных и безопасных игровых площадок. Среди них учет современных потребностей и мнения детей, климатических условий, важность включения природных объектов и создания безбарьерной среды для детей с ограниченными возможностями.

Ключевые слова: благоустройство дворовой территории, игровые площадки для детей разного возраста, функциональная организация, архитектурно-композиционные и конструктивные решения игровых элементов, ландшафт, игровое пространство

Для цитирования: Мицаева Х.В., Поляков Е.Н. Современные тенденции в проектировании детских игровых площадок // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 23–37. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-23-37. EDN: WICPAN

ORIGINAL ARTICLE

MODERN DESIGN TRENDS IN CHILDREN'S PLAYGROUNDS**Khava V. Mitsaeva, Evgeny N. Polyakov***Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*

Abstract. Intensive urbanization limits the available space for children, sphere of cognitive activity and contacts with the world. It is therefore necessary to create multifunctional outdoor playgrounds playing an important role in the physical and psychological development of children and adolescents as well as contribute to their social adaptation to the environment.

Purpose: The study of modern approaches to and innovations in the design of children's playgrounds to create safe, diverse and appropriate play spaces.

Methodology: The analysis of playground design trends, which includes the literature review and assessment of socio-cultural and environmental factors affecting the design and creation of modern playgrounds.

Research findings: Key factors and methods are determined to create modern and safe playgrounds taking into account current needs and opinions of children, climatic conditions, and the importance of creating the natural and barrier-free environment for disabled children.

Value: The paper studies the modern domestic and foreign experience in the design and construction of children's playgrounds, highlights the latest trends in their function and composition. The paper presents playgrounds for children (3–14 years), their improvement with respect to modern landscape elements and spatial structures.

Keywords: yard redevelopment, children's playground; functional organization, architecture, composition, landscape, game

For citation: Mitsaeva Kh.V., Polyakov E.N. Modern design trends in children's playgrounds. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 23–37. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-23-37. EDN: WICPAH

Введение

Окружающая среда играет ключевую роль в развитии детей. Детские игровые площадки являются важным средством формирования физического, социального и когнитивного развития подрастающего поколения. Сегодня, в условиях быстро меняющегося мира, дизайн и проектирование детских игровых площадок становятся все более сложными задачами, требующими внимания к множеству факторов, включая функциональность, безопасность, универсальность, эстетику и социальные аспекты.

Исследование современных тенденций в проектировании детских игровых площадок позволяет выявить и оценить инновации, которые формируют детские пространства, и определить, какие факторы сегодня играют решающую роль в создании игровых площадок, способствующих разностороннему развитию детей и их безопасности.

Целью настоящего исследования является анализ современных тенденций в проектировании детских игровых площадок, выявление ключевых аспектов, влияющих на успешное создание таких пространств, и обсуждение способов создания современных игровых площадок, отвечающих современным потребностям детей и их родителей.

Задачи исследования включают анализ существующих игровых площадок, рассмотрение влияния социокультурных и экологических факторов на проектирование, а также выявление инноваций и современных трендов в этой области.

Рассмотрены аспекты функциональности, безопасности, дизайна, а также социальных и экологических факторов, влияющих на проектирование и создание современных детских игровых площадок.

Факторы успешной реализации проектирования игрового пространства

Предметно-пространственная среда, окружающая ребенка, влияет на различные аспекты его развития, включая культурный, физический и моральный. Проектирование детских игровых площадок – это самый сложный процесс, который требует учета многих факторов (функциональность, универсальность, безопасность эксплуатации, эстетический дизайн, социальные аспекты и т. д.).

Основная проблема, которую необходимо решить при проектировании игровых площадок, заключается в том, чтобы создать детям условия для интересных и увлекательных занятий и обеспечить их безопасность [1]. Грамотное функциональное и планировочное размещение игровых пространств на территории является ключевым условием для нормального физического развития детей и сохранения их здоровья. Архитектор может правильно запроектировать площадку, но, если она расположена с нарушением норм, дети и их родители не захотят ее посещать. Игровые площадки лучше всего размещать в жилой группе на расстоянии 10 м от окон ближайших жилых домов и зданий [2, с. 22], а также в местах, привлекательных для игр, где дети могут быть защищенными от дорог и проездов, шума и грязи.

Некоторые современные игровые пространства ограничены в размере или доступности, что делает их малопривлекательными для детей и приводит к отчуждению от окружающей среды. Урбанизация, в свою очередь, сократила доступное детям пространство и ограничила их возможности для познавательной деятельности и общения с окружающим миром. Эти изменения оказали негативное воздействие на социальное развитие детей. Принимая во внимание эти обстоятельства, необходимо учесть при проектировании качественной игровой площадки следующие факторы: мнение детей, климатические условия и местоположение детской площадки, безопасность и здоровье детей, создание малых архитектурных форм и включение природной среды в структуру игрового пространства, благоустройство, создание безбарьерной среды для детей с ограниченными возможностями здоровья.

Учет мнения ребенка. Грамотно спроектированный и разработанный с учетом потребностей детей разных возрастных групп и экологических факторов проект детской игровой площадки непосредственно связан с качественным и привлекательным дизайном. Дизайн игрового пространства должен быть продуман до мелочей, а дизайнеры и архитекторы должны быть квалифицированными специалистами, хорошо разбирающимися в своем деле. Необходимо учитывать, что большинство детей подвержено влиянию взрослых и у них, как правило, нет собственных версий расположения и общей тематики игрового оборудования. Поскольку практически все проектные решения принимаются взрослыми людьми, которые сами уже давно не посещают

игровые площадки, эскизы игровых площадок чаще всего отражают их собственные детские воспоминания и их версии о том, что могло бы привлечь внимание и понравиться современным детям.

Одна из причин этого заключается в том, что от детей трудно получить информацию об их предпочтениях, специфическом видении особенностей игрового пространства. Поэтому мнение детей обычно не учитывалось. Однако за рубежом еще в середине прошлого столетия было апробировано немало способов вовлечения малышей, школьников и подростков в процессы обсуждения этой тематики, проектирования и даже монтажа игровых пространств своими руками. Дети смело могут предлагать свои креативные идеи, исходя из собственного концептуального видения будущей площадки.

По нашему мнению, одним из методов правильного проектирования и привлекательного дизайна игрового пространства может также стать наблюдение за играющими детьми. Это поможет лучше понять характер их занятий и их творческие предпочтения.

Местоположение детской игровой площадки. Опыт показывает, что правильно запроектированные игровые площадки повышают физическую активность детей [3]. Прежде чем приступить к проектированию игровой площадки, место для ее расположения должно быть выбрано с учетом мнения жителей микрорайона и согласовано с местной администрацией и жителями путем организации встреч и проведения опросов.

Безусловно, хорошие игровые площадки вписываются в ландшафт и увеличивают ценность окружающей территории, дополняя обустроенные пространства и совершенствуя менее благоустроенные районы [4]. Поэтому очень важно правильно выбрать место установки. Это не должна быть открытая местность, поскольку в жаркую погоду детям придется играть под прямыми солнечными лучами [5], также желательно наличие затененной зоны и защиты от ветра. Специалистам необходимо осмотреть местность, учесть центральное расположение, плотность транспортных средств, уровень шума и загрязнения воздуха.

Безопасность игровой площадки. Обеспечение безопасности детей – основное требование при проектировании, строительстве и эксплуатации игрового пространства. Оно должно быть неощутимо, но действительно [6, с. 17].

Первый шаг к обеспечению безопасности детей на игровой площадке – устройство естественных и искусственных ограждений. Они предназначены для того, чтобы предотвратить выход детей за пределы площадки и защитить их от проезжающих автомобилей и прочих опасностей. Для этого по периметру игровой площадки можно использовать прозрачный забор или сплошное ограждение.

Вторым важным мероприятием на детской площадке является устройство мягкого и упругого покрытия для смягчения удара при падении. Для достижения этой цели рекомендуется использовать мягкий резиновый или песчаный материал. Это поможет уберечь ребенка от серьезных травм. Для обеспечения безопасности детей необходимо также установить безопасное игровое оборудование и проводить его регулярный осмотр и замену при обнаружении конструктивных и технических дефектов. Оборудование на детской площадке должно быть установлено в строгом соответствии с инструкциями его изготовителя.

Для того чтобы создать идеальную игровую площадку, архитектор также должен обеспечить два варианта ее обзора – снаружи и изнутри (рис. 1, 2).



Рис. 1. Детская игровая площадка (видовые точки)¹
Fig. 1. Children's playground (viewpoints)



Рис. 2. Детская игровая площадка (видовая точка)²
Fig. 2. Children's playground (view point)

Это поможет жителям микрорайона и посетителям двора убедиться, что игровая площадка гармонично вписывается в окружающую среду и не создает конфликтов с расположенной рядом застройкой, ландшафтом и другими элементами благоустройства дворовой территории. Таким же образом происходит визуальная оценка окружающего пространства со стороны площадки. Это

¹ URL: <https://mp.weixin.qq.com/s/oMs1cqpqQH5g-seAC47tdQ>

² URL: <https://mp.weixin.qq.com/s/oMs1cqpqQH5g-seAC47tdQ>

позволит определить, какие из игровых компонентов следует использовать, чтобы максимально удовлетворить потребности детей и сделать игровую площадку максимально эффективной и привлекательной. В любом случае концепция здоровой и безопасной окружающей среды не должна противоречить целям духовного и физического развития ребенка.

Здоровье детей во время игры. Однако, даже если безопасность детей на территории детской площадки обеспечена, специалистам следует обратить особое внимание на состояние окружающей среды в целях поддержания здоровой обстановки.

Загрязнение окружающей среды представляет особую проблему и опасность для здоровья детей (рис. 3). Игровые площадки должны постоянно поддерживаться в удовлетворительном санитарно-гигиеническом состоянии путем их очистки в том числе и от травмоопасных предметов. Этим должен заниматься специальный обслуживающий персонал. Регулярное обслуживание игровой площадки включает проверку состояния ограждения, всех входных групп, оценку технического состояния и безопасности игрового оборудования. Особенно необходимо обеспечивать меры безопасности на тех элементах игрового пространства, которые периодически подвергаются разрушению в ходе актов вандализма. Это касается не только игровых элементов, но и растущих рядом деревьев и кустарников.



Рис. 3. Антисанитарное состояние детских игровых площадок в России. Пример³
Fig. 3. Unsanitary conditions on children's playgrounds in Russia

Малые архитектурные формы. Одним из ключевых факторов создания оптимального игрового пространства для детей является разделение его на «шумные» и «тихие» зоны, которые должны быть изолированы друг от друга в соответствии с тематикой игр и возрастом детей. Однако создание безопасных и комфортных условий – далеко не единственная задача, которую необходимо решить на игровых площадках. Для того, чтобы привлечь детей и сделать игровое пространство интересным и комфортным, в состав площадки необходимо включить различные малые архитектурные формы (МАФ).

МАФ – это небольшие объекты, которые не только украшают ландшафт и добавляют ему оригинальности, но и обладают практической ценностью. На игровых площадках обычно размещаются скамейки, фонари для ночного освещения, фонтаны, теневые беседки-навесы, батуты и элементы геопластики (рис. 4). В своей совокупности они предоставляют детям возможность разви-

³ URL: <https://kubi.studio/Blog/026-gryaz-na-detskih-ploshadkah.html>; <https://ecostep-krsk.ru/page5945394.html>; <http://imhonn.ru/gal/4177>

вать свои физические навыки и умения. Например, скамейки позволяют родителям и детям отдохнуть и перекусить во время игр, а фонари обеспечивают безопасность в темное время суток. Фонтаны и батуты – это отличный способ разнообразить игровой процесс и сделать его более интересным и увлекательным. Элементы геопластики могут включать в себя различные конструкции и материалы для изготовления песочниц, горок, лабиринтов и т. п.



Рис. 4. Малые архитектурные формы на территории детской игровой площадки (а)⁴; элементы природной среды и геопластики (б)⁵
 Fig. 4. Small architectural forms (a) and elements of environment and geoplastics (b) on the children's playground

Создание оптимального игрового пространства для детей – задача, которая требует учета множества факторов, включая безопасность, удобство, разнообразие и красоту. МАФ – это один из ключевых элементов, которые помогают сделать игровое пространство более привлекательным и интересным для детей.

Благоустройство детской игровой площадки. Недостаточно хорошо оборудованные игровые площадки бывают довольно травмоопасны, поскольку многие дети ищут нестандартные развлечения и занимаются достаточно

⁴ URL: https://mp.weixin.qq.com/s/E4Zh5wrX_HYfobcll0xCjQ

⁵ URL: <https://www.arban.ru/objects/residential/zhk-skyseven/urban-dvor>; <https://www.flickr.com/photos/karlgercens/10483771136>

активными видами игр. Наличие различного текстурированного оборудования на игровой площадке делает игру более безопасной и увлекательной.

Правильный выбор конструкций и материалов обуславливает не только экономичность и сохранность, но и долговечность и гигиеничность игровых элементов. В практике применимо всё, что отвечает требованиям прочности и безопасности. В проектировании детских площадок широко используется дерево, разнообразные металлы, пластмасса, железобетон, керамика, природный камень, текстиль, резина и синтетические материалы. Из них изготавливают оболочки, пластины, цепи, канаты, сетки, мембраны, арки, рамы, решетки и другие объемные элементы [7].

В поисках психологического и социального комфорта (самоизоляции) дети обычно предпочитают собираться на границе (периметре) игрового пространства. Это следует учитывать при проектировании игровых площадок, в том числе их общую форму, конструктивное решение и фактуру поверхности ограждения, решение входных групп. Для того, чтобы удовлетворить потребности детей и создать привлекательное место для игр, можно включать в структуру ограждений необычные, оригинальные игровые элементы. Ограждающую стену можно использовать также как место для тихого отдыха, укрытие для игры в прятки, скалу-подъемник для любителей альпинизма, пещерный бункер-лабиринт и пр.

Разнообразие природного ландшафта делает игру более интересной, позволяет детям расширить границы своих возможностей, развить их фантазию и физические навыки [8]. Многим детям нравится забираться как можно выше и любоваться окружающими пейзажами. Невысокие холмики можно сделать доступными для детей разного возраста (рис. 5). Однако если игровая площадка чрезмерно открыта со всех сторон, то для игр в прятки можно увеличить общую площадь ее территории [9, с. 45]. При этом следует учитывать, что открытая или перенасыщенная игровыми элементами площадка отнюдь не гарантирует композиционной гармонии. Для того, чтобы создать оптимальное пространство для детских игр, важно учитывать не только физические, но и психологические, социальные потребности детей. Часто можно заметить, что дети предпочитают играть именно там, где можно не только хорошо спрятаться, но и быть легко обнаруженным.

Обращаясь к современному опыту проектирования детских игровых площадок, можно сделать вывод, что в последнее время появляется все больше открытых игровых пространств (рис. 6). Комбинирование различных элементов и учет потребностей детей в социальной и психологической поддержке помогают создать оптимальное пространство для детской игры.

Природная среда. В современном мире дети часто проводят большую часть времени в закрытых помещениях, где нет возможности получить естественное соприкосновение с природой. Это приводит к плохому настроению и снижению креативности у детей. Однако ландшафтные дизайнеры и архитекторы могут создавать специальные игровые зоны, защищенные от вредного воздействия окружающей среды, где дети могут играть и развивать свои творческие способности. Эти места именуются «убежищами для детей». Они оснащаются достаточно простым игровым оборудованием, чтобы дети могли получить максимальную пользу от игрового процесса.



Рис. 5. Ландшафтный дизайн игровой площадки для детей:
а – холмики (геопластика)⁶; б – благоустройство детской игровой площадки⁷
Fig. 5. Landscape design of children's playground:
a – mounds (geoplastics); b – redevelopment



Рис. 6. Организация открытых детских игровых пространств в городской среде⁸
Fig. 6. Organization of children's playgrounds in urban environment

Большинство детей предпочитают игры в группе, поэтому такие места должны иметь возможность для групповых действий, которые помогут детям

⁶ URL: <https://i.pinimg.com/originals/61/d7/e2/61d7e2eeb30e8a282a3749ab0f745809.jpg>

⁷ URL: <https://mp.weixin.qq.com/s/oMs1cqpqQH5g-seAC47tdQ>

⁸ URL: <https://landezine.com/buga-05-playground/>; <https://ru.pinterest.com/pin/463307880414687534/>;
<https://100architects.com/project/pegasus-trail/>

научиться общаться друг с другом и работать в команде. Игра в природной среде (рис. 7, 8) даст им возможность познакомиться с окружающим миром, с различными растениями и животными. Большинство детей испытывают особое удовольствие от наблюдения за природными явлениями (закат солнца, дождь, снег и ветер).



Рис. 7. Природная игровая площадка⁹
Fig. 7. Natural playground



Рис. 8. Детские игровые площадки в природной среде¹⁰
Fig. 8. Children's playgrounds in the natural environment

Исследования показывают, что сенсорная стимуляция и взаимодействие с природой оказывают положительное влияние на физическое и эмоциональное здоровье детей, помогают улучшить их самочувствие и повысить эффек-

⁹ URL: <https://www.hendrickfarm.ca/gallery/playground-gallery/>; <https://earthwrights.co.uk/ew-projects/lanhydrock-house/>

¹⁰ URL: <https://landezine.com/adelaide-zoo-natures-playground-by-wax-design/>

тивность обучения. Таким образом, создание «убежищ для детей» в естественной природной среде может стать отличным способом для ландшафтных дизайнеров помочь детям получить максимальную пользу от игры.

Учет климатических условий и озеленение детских игровых площадок. При проектировании игровых площадок следует учитывать особенности местного климата. Как правило, оптимальные площадки для создания игровых зон находятся на склонах холмов и рядом с водными источниками. В зависимости от климатических условий для детских игровых площадок следует выбирать участки, защищенные от ветра и обеспечивающие тень и зону.

Кроме того, при проектировании игровых площадок необходимо учитывать растительный покров. Растения играют важную роль в создании благоприятной атмосферы на игровой площадке: они могут быть использованы для создания зеленых зон для отдыха и игр, в качестве естественных ограждений, а также могут обеспечить тень и защиту от ветра (рис. 9).



Рис. 9. Озеленение детской игровой площадки¹¹
Fig. 9. Landscape gardening of children's playground

При выборе растений для игровых площадок необходимо учитывать не только их декоративные свойства, но и также возможные риски, которые они могут представлять для детей. Некоторые могут быть ядовитыми или вызывать аллергические реакции, поэтому для игровых площадок необходимо выбирать лишь безопасные растения.

Правильное размещение растений и других объектов естественной среды может существенно повысить качество и комфорт игровой площадки. В построении садово-парковых композиций, в формировании паркового пейзажа не менее важную роль, чем деревья и цветы, играют декоративные кустарники. Они образуют нижний ярус древесных групп и массивов, помогают осуществить композиционный переход от плоскости газона к их вертикальному объему [8, с. 11].

Доступность игровых площадок для детей с физическими отклонениями. В соответствии с нормативными требованиями проектирования и дизайна детской площадки, детское оборудование должно быть предусмотрено как для здоровых детей, так и для детей-инвалидов (рис. 10). В проектировании игровых площадок важно, чтобы дети с разными физиологическими особенностями (нарушение зрения и т. п.) могли играть вместе в общем игровом пространстве. Для этих детей необходимо создавать условия, обеспечивающие безопасность и комфорт во время игры.

¹¹ URL: <https://mykaleidoscope.ru/interer/7879-landshaftnye-dizajny-s-detskimi-ploschadkami-54-foto.html>



Рис. 10. Универсальный дизайн игровых площадок для детей-инвалидов¹²
Fig. 10. Universal design of playgrounds for disabled children

Следует отметить, что многие детские площадки имеют конструктивные особенности, препятствующие посещению их «особенными» детьми, поэтому при проектировании игрового пространства архитектору необходимо учесть множество факторов, таких как доступность, безопасность и функциональность. Кроме того, должны быть учтены потребности детей с различными группами инвалидности – нарушениями опорно-двигательного аппарата, зрения или слуха и др. Для создания доступной и безопасной среды для «особенных» детей (инвалидов) необходимо использовать специальные материалы и оборудование, а также обеспечить достаточное пространство для передвижения инвалидной коляски. Например, на площадке должны быть установлены специальные игровые элементы, позволяющие детям с нарушениями опорно-двигательного аппарата участвовать в играх наравне со здоровыми детьми.

По мнению авторов статьи, для детей с нарушениями зрения или слуха должно быть предусмотрено оборудование, которое поможет им ориентироваться на площадке, различать контрасты между объектами и поверхностями, на которых расположены игровые элементы. Оборудование может быть оснащено звуковыми сигналами, которые воспроизводятся при прикосновении или движении рукой, что позволяет детям с нарушениями зрения ощущать и интерпретировать окружающее пространство.

Для детей с нарушением слуха игровое оборудование может включать в себя тактильные индикаторы и текстурные элементы, чтобы они могли использовать другие чувства для ориентации и взаимодействия со сверстниками. Однако нельзя забывать и о психологических особенностях детей с инвалидностью. Такие «особенные» дети должны чувствовать себя комфортно и уверенно на игровой площадке, поэтому важно создать атмосферу доверия и поддержки.

Для обеспечения безопасности и комфорта на площадке необходимо учитывать расположение оборудования и его соответствие общепринятым

¹² URL: <https://ru.pinterest.com/pin/678706606360225299/>; <https://ru.pinterest.com/pin/4081455899340662/>

нормам и правилам. В целом все игровые элементы следует располагать близко друг к другу, чтобы не создавать визуальной путаницы, при этом расстояния между ними должны быть достаточно большими, чтобы обеспечить безопасность детей. Создание игровых площадок, которые учитывают потребности абсолютно всех детей, по-прежнему остается актуальной задачей для архитекторов и дизайнеров.

Заключение

Исследование показало, что тенденции в проектировании детских игровых площадок отражают смену подходов к созданию среды, которая способствует развитию детей и их активному образу жизни. Исходя из вышесказанного, можно сделать следующие выводы о современных тенденциях в проектировании игрового пространства:

1. Современные игровые площадки стремятся предложить более широкий спектр игровых возможностей, учитывая разные интересы и предпочтения детей, включая элементы для физической активности, когнитивного развития, социального взаимодействия и творчества.

2. В проектировании все больше используются природные и экологически чистые материалы, такие как дерево, натуральные камни, растения и зелень, что создает приятную и естественную атмосферу для детских игр. При этом уделяется внимание:

– экологической устойчивости: площадки разрабатываются и строятся таким образом, чтобы снизить негативное воздействие на окружающую среду. Это может включать использование экологически чистых материалов, учет природных экосистем и применение устойчивых методов строительства и обслуживания детских игровых площадок;

– применению энергосберегающих технологий: снижение энергопотребления на игровых площадках. Например, использование LED-освещения с низким энергопотреблением или солнечных батарей для энергоснабжения;

– учету природных ресурсов: рациональное использование природных ресурсов, таких как вода и энергия, для минимизирования их расхода и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

3. Проектирование включает создание игровых зон для разных возрастных групп, адаптированных к их особенностям.

4. Инклюзивный подход становится все более важным, обеспечивая доступность игровых площадок для детей-инвалидов с ограниченными физическими возможностями или особыми потребностями.

Вышеприведенные принципы проектирования способствуют созданию более привлекательных и многофункциональных детских игровых площадок для развития детей в физическом, когнитивном и социальном плане и делают детские площадки предпочтительными местами для развития и обучения подрастающего поколения.

Дальнейшее исследование данной тематики позволит расширить знания о последних тенденциях и инновациях в области дизайна и проектирования детских игровых площадок. Изучение современных требований и стандартов безопасности, экологичности и устойчивости игровых пространств способ-

ствует развитию креативных идей и созданию уникальных концепций для игровых пространств. Это позволяет лучше понимать потребности и ожидания различных возрастных групп детей и их родителей.

Таким образом, изучение данной тематики не только будет служить улучшению качества создаваемых объектов, но и откроет новые возможности для авторов в профессиональном плане: материалы настоящей работы послужат для написания диссертационного исследования (Х.В. Мицаева) и учебного пособия (Е.Н. Поляков).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Cain R.L.* Playground design and equipmen / Department of Building Science. Auburn University // Whole Building Desing Guide : [сайт]. URL: <https://wbdg.org/resources/playground-design-and-equipment> (дата обращения: 01.02.2023).
2. *Поляков Е.Н.* Благоустройство дворовой территории. Детская игровая площадка. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2011. 88 с. ISBN 978-5-93057-402-9.
3. *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).
4. *Архи-текст*: руководство по созданию детских площадок // Архитекторы.рф : [сайт]. URL: <https://xn--80akijuiemcz7e.xn--p1ai/blog/arhi-tekst-rukovodstvo-po-sozdaniyu-detskih-ploschadok> (дата обращения: 01.02.2023).
5. *Обустройство детской площадки*: виды работы и игрового оборудования (МАФ) // КСО-1 : [сайт компании]. URL: <https://ksosvet.ru/blog/obustrojstvo-detskoj-ploshchadki-vidy-raboty-i-igrovogo-oborudovaniya-maf> (дата обращения: 01.02.2023).
6. *Агде Г., Нагель А., Риктер Ю.* Проектирование детских игровых площадок : пер. с нем. / под ред. В.А. Коссаковского. Москва : Стройиздат, 1988. 80 с.
7. *Архитектурное проектирование*. Часть 1. Детская игровая площадка / сост. Т.Ю. Дубенкова, Т.О. Тырышкина. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. С. 6–12.
8. *Григорьев А.Д.* Проектирование. Детские игровые площадки. Магнитогорск : МаГУ, 2012. 234 с.
9. *Ибрагимов И.А., Козюк Н.Б.* Архитектурное проектирование детской игровой площадки для увлекательных игр. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. 95 с.

REFERENCES

1. *Cain R.L.* Playground design and equipment. Department of Building Science, Auburn University. Available: <https://wbdg.org/resources/playground-design-and-equipment> (accessed February 1, 2023).
2. *Polyakov E.N.* Yard landscape design. Children's playground. Tomsk: TSUAB, 2011. 88 p. ISBN 978-5-93057-402-9. (In Russian)
3. *Meseneva N.V., Milova N.P.* Design trends of children's playgrounds in modern urban environment. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2017; (12): 74–79. (In Russian)
4. *Archi-tekst*: A guide to create playgrounds. Available: <https://xn--80akijuiemcz7e.xn--p1ai/blog/arhi-tekst-rukovodstvo-po-sozdaniyu-detskih-ploschadok> (accessed November 1, 2022).
5. *Playground arrangement: Works and play equipment*. Available: <https://ksosvet.ru/blog/obustrojstvo-detskoj-ploshchadki-vidy-raboty-i-igrovogo-oborudovaniya-maf> (accessed February 1, 2023). (In Russian)
6. *Agde G., Nagel' A., Rikhter Yu.* Designing children's playgrounds. V.A. Kossakovsky, Ed. Moscow: Stroyizdat. 1988. 80 p. (Russian translation)
7. *Dubenkova T.Yu., Tyryshkina T.O.* Architectural design. Part 1. Children's playground: Educational and methodological guide to practical classes and independent work. Krasnoyarsk, 2012. Available: <https://studfile.net/preview/5484180/> (accessed February 3, 2023).

8. *Grigoriev A.D.* Design. Children's playgrounds. Magnitogorsk, 2012. 234 p. (In Russian)
9. *Ibragimov I.A., Kozyuk N.B.* Architectural design of children's playground for exciting games. Yekaterinburg, 2019. 95 p. (In Russian)

Сведения об авторах

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

Поляков Евгений Николаевич, канд. архитектуры, профессор, докт. искусствоведения, доцент, 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

Evgeny 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 05.07.2023
Одобрена после рецензирования 19.09.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 05.07.2023
Approved after review 19.09.2023
Accepted for publication 21.09.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 38–52.

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; 25 (5): 38–52.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 711.4

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-38-52

EDN: WIYTNU

ИСТОРИЧЕСКИЕ ПОСЕЛЕНИЯ В ТЕРРИТОРИАЛЬНОМ РАЗВИТИИ КАЗАНСКОЙ И КАМСКОЙ АГЛОМЕРАЦИЙ

Тансылу Сахабутдиновна Хакимова

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Казань, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* В связи с ростом интереса к внутренним ресурсам развития страны, в том числе территориальным, стоит обратить внимание на исторические поселения – потенциальные туристические, рекреационные, культурные объекты, неотъемлемые компоненты региональных, групповых и районных систем расселения, территории концентрации объектов культурного наследия.

Рассмотрены населенные пункты со статусом исторического поселения в Казанской и Камской агломерациях Республики Татарстан.

Цель исследования – определить особенности положения населенных пунктов со статусом исторического поселения в территориальном развитии рассматриваемых агломераций.

В основу работы легли результаты практических исследований, данные Федеральной службы государственной статистики, картографические данные, документы территориального планирования региона, муниципальных образований в составе агломераций, результаты натурных исследований.

Методологической базой работы стали: анализ, историко-архивные исследования, картографический анализ, натурные исследования.

Выводы. В результате проведенного анализа выявлены особенности функционирования населенных пунктов со статусом исторических поселений в территориальном развитии Казанской и Камской агломераций. Определены проблемы и задачи включения исторических поселений в функциональные каркасы территории, выделены направления мероприятий по включению исторических поселений в территориальное развитие агломераций.

Ключевые слова: историческое поселение, городская агломерация, территориальное развитие, Казанская агломерация, Камская агломерация

Для цитирования: Хакимова Т.С. Исторические поселения в территориальном развитии Казанской и Камской агломераций // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 38–52. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-38-52. EDN: WIYTNU

ORIGINAL ARTICLE

HISTORICAL SETTLEMENTS ON TERRITORIES OF KAZAN AND KAMA AGGLOMERATIONS

Tansylu S. Khakimova

Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia

Abstract. Due to the growing interest in the country's resources, including territories, it is worth paying attention to historical settlements, i.e., potential tourist, recreational, cultural objects, integral components of regional, group and district settlement systems, territories with cultural heritage objects.

The article considers historical settlements in Kazan and Kama agglomerations of the Republic of Tatarstan. The purpose of the study is to determine the historical settlement position on the territory of these agglomerations.

Research is based on practice, data from the state statistics service, cartographic materials, documents on territorial planning of the region, municipalities as part of agglomerations, field studies. Methods of analysis, historical and archival documents, cartographic analysis, field studies are applied.

The functioning of historical settlements on the territory of Kazan and Kama agglomerations is investigated. The article defines problems and tasks of including historical settlements in the functional framework of the territory.

Keywords: historical settlement, urban agglomeration, territorial development, Kazan agglomeration, Kama agglomeration

For citation: Khakimova T.S. Historical settlements on territories of Kazan and Kama agglomerations. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (5): 38–52. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-38-52. EDN: WIYTNU

Введение

Актуальность темы исследования. Развитие городских агломераций – центростремительный процесс, провоцирующий трудовую миграцию в ядро агломерации. В то же время агломерация и ее ядра становятся своеобразным полюсом роста для жителей ближайших регионов. Согласно Стратегии социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 г., на территории региона выделяются три городские агломерации: Казанская, Камская, Альметьевская (в настоящей статье рассмотрены Казанская и Камская). В агломерации потребности городов-ядер в жилье, развитой транспортной инфраструктуре, системе культурно-бытового обслуживания, рекреации выходят за границы центральных городов. Провоцируя трудовую маятниковую миграцию, центры агломераций претендуют на ресурсы прилегающих территорий, стремясь к формированию среды, ориентированной на обслуживание своих потребностей. При долгосрочном планировании развития для населенных пунктов в составе агломерации это может обернуться благом, выгоды касаются и населенных пунктов со статусом исторических поселений (далее – ИП).

В Республике Татарстан 13 исторических поселений, 11 из них имеют статус регионального значения, 2 – исторические поселения федерального

значения¹. Стратегией сохранения культурного наследия Республики Татарстан на 2017–2030 гг. обозначена важность культурного ресурса, подчеркнута роль наследия как фактора устойчивого развития территорий, необходимость выработки приемов и решений по сохранению исторических поселений.

В настоящей статье исследованы особенности территориального развития населенных пунктов со статусом исторического поселения в городских агломерациях Татарстана. Так, в Казанской агломерации расположены три исторических поселения регионального значения: г. Казань, с. Свияжск, г. Лаишево. Казань – ядро агломерации, это город, который сформировался как центр системы расселения еще в золотоордынский период², в то время как Камская – молодая агломерация, появившаяся благодаря новым городам второй половины XX в. (Набережные Челны и Нижнекамск). На территории Камской агломерации расположено четыре населенных пункта со статусом исторического поселения: г. Елабуга – историческое поселение федерального значения и города Менделеевск, Мензелинск, Мамадыш – исторические поселения регионального значения. Одновременно с этим существует наследие советского периода – Набережные Челны и Нижнекамск; г. Заинск, согласно Схеме территориального планирования Республики Татарстан, относится к поселениям, отвечающим критериям исторических поселений.

Обзор литературы по теме. Различные аспекты работы с историческими поселениями, такими как проблемы соотношения охранных документов и документов территориального планирования, использование потенциала населенных пунктов со статусом ИП, капитализация объектов культурного наследия, рассмотрение ИП как узловых элементов системы расселения, а также использование историко-культурного каркаса как основы формирования туристского каркаса, актуальность поисков функционального использования наследия, а также экономики, маркетинга как инструментов развития объектов культурного наследия исследованы в работах Э.А. Шевченко [1], А.П. Кудрявцева [2], Т.В. Абанкиной [3], П.М. Шульгина [4], Ю.А. Веденина, Н.В. Баранова, С.К. Регамэ, Ф. Бандарина [5], Ф. Котлера [6] и др. Авторами подчеркивается необходимость включения историко-культурного наследия в территориальное развитие [4], учета в градостроительной деятельности [1], доказывається возможность капитализации объектов культурного наследия [3, 5]. Практические аспекты работы с наследием нашли отражение в проектах историко-культурных каркасов регионов, например, Республики Татарстан². Поиски комплексного подхода к историческим поселениям формируют новые образовательные программы (проект «Ре-Школа» на базе Высшей школы экономики и архитектурного бюро «Рождественка») [7].

¹ Постановление Кабинета министров Республики Татарстан «Об утверждении Перечня исторических поселений регионального (республиканского) значения Республики Татарстан» от 26.03.2015 № 188 // Официальный интернет-портал правовой информации. 2015. URL: https://pravo.tatarstan.ru/npa_kabmin/post?npa_id=2315&ysclid=lmssmd21fq224447276 (дата обращения: 21.09.2023).

² ГУП «Татинвестгражданпроект». Схема территориального планирования Республики Татарстан (внесение изменений). Том 3. Книга 2. Материалы по обоснованию проекта. Социально-экономическое и территориально-пространственное развитие. Казань, 2021. URL: <https://fgistr.economy.gov.ru/> (дата обращения: 21.09.2022).

Агентством стратегического развития «Центр» [8] в рамках практической деятельности исследуются особенности исторических поселений; для населенных пунктов со статусом исторического поселения разрабатываются мастер-планы. Например, разработан мастер-план г. Дербента, акцентирующий внимание на его историко-культурном наследии [9].

Существует большой опыт управления объектами Всемирного культурного наследия и широкая нормативно-правовая и методическая база по работе с объектами культурного наследия ЮНЕСКО. В России Министерством культуры в 2017 г. утверждена «Концепция по развитию исторических поселений, поддержке и популяризации культурных и туристских возможностей, развитию экономики культурного наследия на период до 2030 г.».

Постановка проблемы. В Республике Татарстан уделяется большое внимание работе с населенными пунктами, обладающими статусом исторического поселения. Разрабатываются проекты устойчивого развития исторических поселений: такая работа проведена для Казани, ведется для ИП федерального значения (г. Елабуга и г. Чистополь). Стратегией социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 г. введена такая категория, как агломерации, которые должны концентрировать на своей территории максимальные экономические возможности развития. Ведутся исследования по сохранению историко-культурного каркаса страны и ее регионов. В аспекте актуальности сохранения объектов культурного наследия и развития территорий агломераций определение особенностей развития населенных пунктов со статусом исторических поселений может стать основой для дальнейшей работы с ними.

Формулировка цели и задач исследования. В настоящей работе рассмотрена роль населенных пунктов со статусом исторических поселений в территориальном развитии исследуемых агломераций, их включенность в установившиеся функциональные подсистемы территорий. Объектом исследования стали Казанская и Камская городские агломерации. Предмет исследования – населенные пункты со статусом исторического поселения Казанской и Камской агломераций.

Цель исследования – определить особенности положения населенных пунктов со статусом исторического поселения в территориальном развитии Казанской и Камской агломераций.

Задачи:

Определить роль исторических поселений в территориальном развитии Казанской и Камской агломераций.

Определить направления мероприятий для включения исторических поселений в территориальное развитие Казанской и Камской агломераций.

Материалы исследования. Теоретической основой исследования стали данные Федеральной службы государственной статистики, картографические материалы, интернет-ресурсы, документы территориального планирования субъектов Российской Федерации, муниципальных образований в составе агломераций, материалы натурных исследований, научные работы авторитетных исследователей.

Методы исследования включают анализ документов территориального планирования, историко-архивные исследования, картографический анализ, натурные исследования и др.

Сложившаяся градостроительная ситуация в городских агломерациях исследована с помощью анализа и обработки картографических данных в *gis*-программах, анализа данных открытых интернет-источников, связанных с оценкой популярности территорий (URL: www.sightsmap.com, www.stravaroutes.com), с использованием карт *yandex*, *google*, данных Министерства экологии Республики Татарстан³, данных Комитета по охране объектов культурного наследия РТ и других источников, приведенных в ранее опубликованных исследованиях автора [10, 11].

В состав Казанской агломерации входит г. Казань (ядро агломерации), а также Верхнеуслонский, Лаишевский, Пестречинский, Высокогорский, Зеленодольский муниципальные районы⁴. На территории агломерации расположены такие крупные узловые элементы историко-культурного каркаса, как объекты Всемирного наследия ЮНЕСКО: историко-архитектурный комплекс Казанского кремля, Успенский собор и монастырь острова-града Свияжска, а также исторические поселения регионального значения г. Лаишево, г. Казань, с. Свияжск.

В состав Камской агломерации входят: Елабужский, Менделеевский, Нижнекамский, Тукаевский муниципальные районы, городской округ «город Набережные Челны», а также выделяются перспективные участники агломерационных процессов – города Мензелинск, Мамадыш, Заинский муниципальный район⁵. Камская агломерация сегодня – это индустриальная агломерация, на территории которой расположено 4 из 13 исторических поселений республики: города Елабуга, Менделеевск, Мензелинск, Мамадыш.

Результаты исследования

Роль исторических поселений в составе Казанской агломерации. Казанская агломерация – крупнейшая городская агломерация Республики Татарстан. Здесь располагаются три населённых пункта со статусом исторических поселений регионального значения (г. Лаишево, г. Казань и с. Свияжск), которые являются узловыми элементами историко-культурного каркаса региона. На территории агломерации расположены объекты Всемирного наследия ЮНЕСКО: Казанский кремль, Успенский собор и монастырь острова-града Свияжск (рис. 1).

Населенные пункты со статусом исторических поселений в составе Казанской агломерации имеют свои особенности.

1. **Город Казань** – узловой компонент туристского каркаса. Казанский Кремль за 2021 г. принял 3000 тыс. чел., в городе также расположено более 50 государственных и частных музеев⁵. Для Казани установлен статус исторического поселения регионального значения (границы которого утверждены⁶),

³ Карта // Государственный комитет Республики Татарстан по биологическим ресурсам. URL: <https://ojm.tatarstan.ru/kadastr-oopt/map> (дата обращения: 17.08.2023).

⁴ Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Республики Татарстан до 2030 года: закон Республики Татарстан от 17.06.2015 № 40-ЗРТ // Минэкономики Татарстана. 2015. URL: <https://docs.cntd.ru/document/428570021?ysclid=lm33psmjn164424566> (дата обращения: 21.09.2023).

⁵ Музеи Казани // Культура.РФ. URL: <https://clck.ru/35ME7B> (дата обращения: 01.08.2023).

⁶ Об утверждении границ территории, предмета охраны и требований к градостроительным регламентам в границах территории исторического поселения регионального значения г. Казань: приказ Министерства культуры Республики Татарстан от 13.03.2017 № 218 од // Офици-

организован государственный историко-архитектурный и художественный музей-заповедник «Казанский Кремль», на территории города создано 4 достопримечательных места. Город Казань – центр региональной системы расселения и городской агломерации. Это дает столице преимущества культурного и делового центра, а также положение крупного транспортно-логистического узла (город обеспечен авиасообщением и имеет международный аэропорт, включен в железнодорожное, речное сообщение, обеспечен автомобильными дорогами федерального и регионального значения).

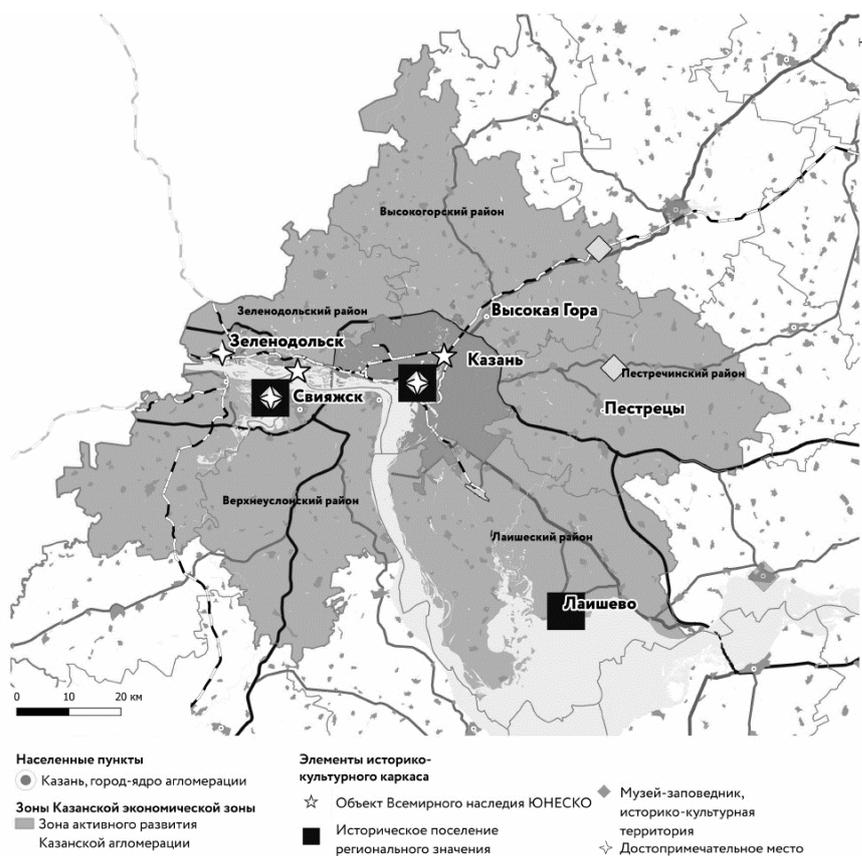


Рис. 1. Исторические поселения Казанской агломерации. Схема выполнена автором на основе данных «Схемы территориального планирования региона»

Fig. 1. Historical settlements in Kazan agglomeration. Developed by the author

2. Село Свияжск – узловый элемент туристского каркаса. В 2021 г. село посетило 899 тыс. чел. благодаря богатству объектов культурного наследия, статусу исторического поселения регионального значения, статусу объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО, государственному историко-архитектурному и художественному музею-заповеднику «Остров-град Свияжск». На территории села

альный интернет-портал правовой информации. 2017. URL: <http://pravo.gov.ru/> (дата обращения: 10.01.2023).

также установлены границы достопримечательного места «Остров-град Свияжск». Организована сопутствующая инфраструктура, обеспечивающая доступ к объектам культурного наследия, проводятся региональные и всероссийские мероприятия и фестивали: реставрационный фестиваль «Орел – птица царская», фестиваль «Народная лодка», гастрономический фестиваль «Свияжская уха» и др. Включенность в транспортный каркас агломерации обеспечена водным сообщением, близостью автомобильной дороги федерального значения М7.

3. **Город Лаишево** является узловым компонентом рекреационного каркаса как место отдыха выходного дня. На территории города реализован проект пляжа «Камское море», который позволил стать объектом рекреации в агломерации. Туристскую привлекательность обеспечивают сохранившиеся декорации поселка Семрук, построенные для сериала «Зулейха открывает глаза» (2020 г.). Инвесторами и руководством республики в 2022 г. были обозначены планы по развитию туризма на территории⁷. Кроме того, Лаишево является центром районной системы расселения. Несмотря на доступ к речному сообщению, связь с ядром агломерации обеспечивается через автомобильную дорогу регионального значения, и город является пунктом дестинации выходного дня на карте горожанина.

Все населенные пункты агломерации, обладающие статусом исторического поселения, являются частью сформировавшейся системы расселения. Это эволюционно сложившиеся населенные пункты, в разные исторические периоды являвшиеся административными, торговыми центрами, оборонительными объектами. Исторические поселения Казанской агломерации включены в программу территориального развития и являются основой становления историко-культурного, туристского и рекреационного каркасов агломерации. В то же время существует угроза повышения антропогенной нагрузки на эти объекты.

Преимущества обладания статусом исторического поселения в агломерационной системе активно используются муниципальными образованиями в Казанской агломерации (таблица) как способ сохранения наследия (о. Свияжск), как основа развития туризма (историческое поселение г. Казани), как обслуживание культурных потребностей жителей агломерации (Казань, Свияжск), потребностей в рекреации (Лаишево), в то же время эти объекты работают и на внешнего пользователя, этому способствует статус регионального центра г. Казани – ядра агломерации.

Роль исторических поселений в составе Камской агломерации. Выявлено, что историко-культурный каркас территории – это и основа современной системы расселения, и ее культурный ресурс, который слабо интегрирован в другие планировочные каркасы: туристско-рекреационный, природный, транспортно-планировочный. Сегодня на территории агломерации расположено четыре исторических поселения (рис. 2).

1. **Город Елабуга** – отдельный узловый элемент историко-культурного каркаса, встроен в туристско-рекреационный каркас региона. По данным Государственного комитета по туризму Республики Татарстан за 2021 г., тури-

⁷ Туристический хаб за 25 миллиардов: кто вложится в курорт «Лаишево» // Бизнес-онлайн. URL: <https://clck.ru/35MiJH> (дата обращения: 23.03.2023).

стический поток г. Елабуги составил 487 тыс. чел. Это один из самых высоких показателей в агломерации и второй в республике (первое место принадлежит Казанскому кремлю с показателем 3 029 тыс. чел.). Туристической активности способствует и фестивальная повестка города: ежегодно проводится порядка шести фестивалей разного уровня. Город включен в промышленный каркас территории (в 6 км к северу от города организована особая экономическая зона «Алабуга»), город включен в транспортную структуру страны и региона (прилегает к федеральной автомобильной дороге М7).

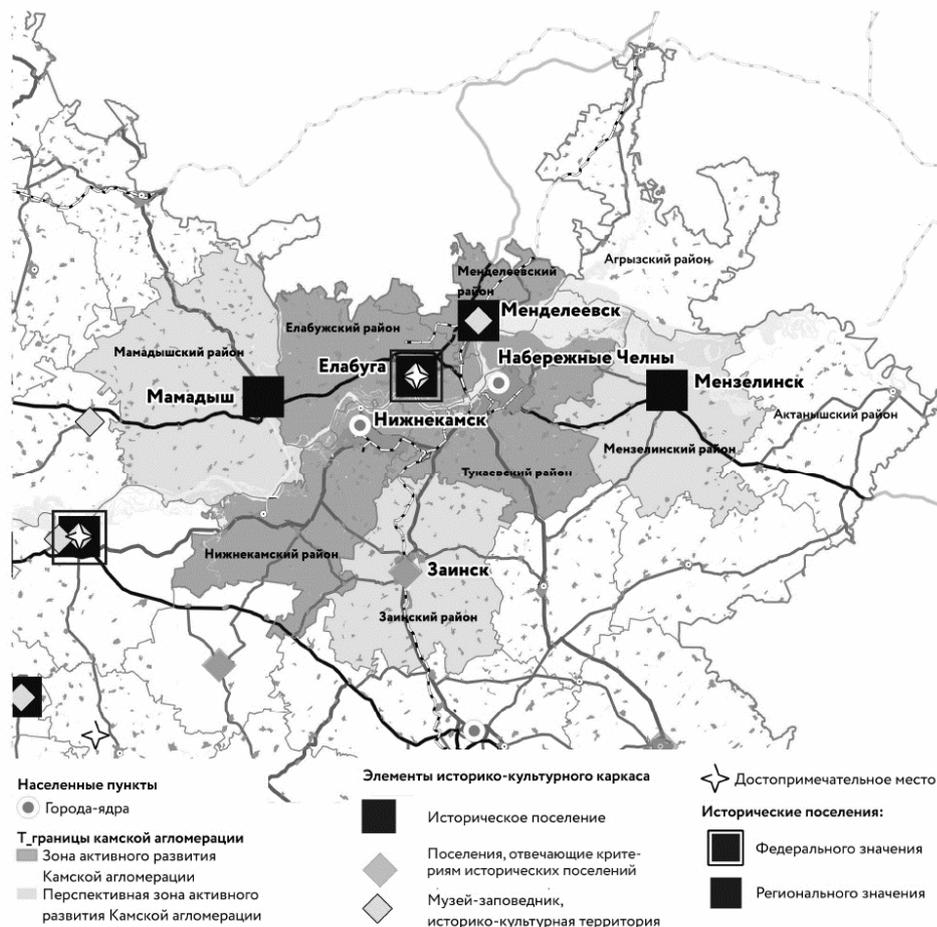


Рис. 2. Исторические поселения Камской агломерации. Схема выполнена автором на основе данных «Схемы территориального планирования региона»

Fig. 2. Historical settlements in Kama agglomeration. Deveioped by the author

2. **Город Менделеевск** – туристический объект, привлекательный для жителей агломерации. В городе сохранилось имение, а также предприятия промышленников Ушковых. С Менделеевском непосредственно связаны имена Д.И. Менделеева, Б.И. Пастернака. На территории района действует старейший санаторий региона «Ижминводы». Достаточно развита транспортная

инфраструктура: через город проходит железная дорога, есть выход на автомобильную дорогу федерального значения М7.

3. **Город Мензелинск.** В городе сохранились объекты культурного наследия, действует Мензелинский драматический театр, помимо краеведческого музея открыт мемориальный музей Мусы Джалиля, музей Рашида Гарая, а также другие культурные учреждения.

4. **Город Мамадыш** – административный центр Мамадышского муниципального района. Статус уездного города получил в 1781 г. Рядом сохранились остатки Кирменского городища – болгарской крепости XII в. Мамадыш расположен на берегу р. Вятки, но муниципальный район примыкает к р. Каме. Мамадыш не включен в промышленный профиль и туристский каркас агломерации, однако в город организовываются отдельные экскурсии.

5. **Города Набережные Челны и Нижнекамск** – города-ядра Камской агломерации, не обладают статусом исторических поселений. Это промышленные города второй половины XX в., возникшие в результате индустриализации строительства в СССР. Застроены по единому генеральному плану (появление панельного строительства, развитие микрорайонной застройки). Вместе они образуют крупный транспортный узел агломерации: пересечение водного, железнодорожного, автомобильного и авиационного сообщения.

6. **Город Заинск**, согласно схеме территориального планирования Республики Татарстан, относится к поселениям, отвечающим критериям исторических поселений. В то же время это промышленный город. Здесь сохранились объекты культурного наследия, город включен в железнодорожное сообщение.

Все рассмотренные выше города являются административными центрами муниципальных районов. Город Набережные Челны образует городской округ «город Набережные Челны». Стоит отметить, что города и муниципальные районы, примыкающие к р. Каме, включены в программу реализации экосоны «Волжско-Камский поток» (за исключением города Заинска и Заинского муниципального района). Набережные Челны, Нижнекамск, Елабуга, Менделеевск, Заинск формируют индустриальный профиль агломерации. Это промышленные города, обеспечивающие экономическое развитие территории. Ещё с 1970-х гг. были заложены условия для развития промышленности, в их числе: железнодорожное сообщение с соседними регионами, автомобильная дорога федерального значения М7, международный аэропорт.

Таким образом, на территории современной агломерации расположено четыре населенных пункта со статусом исторического поселения. Кроме того, можно выделить ещё три города, историко-культурный потенциал которых может оказать положительное влияние на территориальное развитие агломерации. Это Набережные Челны, Нижнекамск и Заинск.

В то же время в ходе исследования был выявлен ряд проблем, существующих в Камской агломерации сегодня, которые также могут повлиять на дальнейшее развитие населенных пунктов со статусом ИП:

– не определены и не реализованы мероприятия по комплексному развитию туристических территорий: развитие туристской инфраструктуры, объединение туристических объектов разных муниципальных районов в единые туристические маршруты, разработка туристического бренда;

– слабо развиты горизонтальные транспортные связи между районными центрами. Агломерацию пересекает р. Кама, берега которой соединяет только один мост. Слабо изучено историко-культурное наследие в отдельных муниципальных районах (Зайнском, Тукаевском, Нижнекамском и Менделеевском)⁸;

– для городов Нижнекамск и Набережные Челны – индустриального и градостроительного наследия агломерации – все ещё не определена роль в историко-культурном каркасе территории.

Анализ особенностей развития населенных пунктов со статусом исторических поселений в Казанской и Камской агломерациях приведен в виде таблицы.

Сравнительный анализ особенностей развития населенных пунктов со статусом исторических поселений в Казанской и Камской агломерациях

Comparison of historical settlements in Kazan and Kama agglomerations

Планировочные каркасы	Казанская агломерация	Камская агломерация
Роль в системе расселения*		
Основа системы расселения	Населенные пункты со статусом исторического поселения (устойчивые элементы системы расселения, сохранившиеся с момента своего появления и являющиеся сегодня функционирующими элементами в территориальном развитии)	
ИП	Центры систем расселения (г. Казань – центр региональной системы расселения, историческое поселение г. Лаишево – центр районной системы расселения)	Центры районных систем расселения (все ИП – административные центры муниципальных районов)
Роль в историко-культурном каркасе**		
Основа ИКК	ИП – узловые элементы историко-культурного каркаса территории городской агломерации	
	Проект границ исторического поселения утвержден только для Казани	Не утверждены границы исторических поселений Новые города Нижнекамск и Набережные Челны не интегрированы в историко-культурный каркас территории (не выявлена историческая ценность советского градостроительства)***

⁸ ГУП «Татинвестгражданпроект». Схема территориального планирования Республики Татарстан (внесение изменений). Том 3. Книга 2. Материалы по обоснованию проекта. Социально-экономическое и территориально-пространственное развитие К: 2021 URL: <https://fgistp.economy.gov.ru/> (дата обращения: 21.09.2022).

Окончание таблицы
End of table

Планировочные каркасы	Казанская агломерация	Камская агломерация
Культурный ресурс	На территории исторических поселений расположены объекты культуры муниципального района (г. Лаишево), регионального значения (г. Казань), музеи (с. Свяжск)	На территории исторических поселений расположены объекты культуры муниципального района, театры, музеи и другие учреждения
Роль в туристском каркасе		
ИП	Основа развития туристского каркаса региона и агломерации: 2 из 3 ИП – узловые элементы туристского каркаса (г. Казань, о. Свяжск, данные по посещениям отражены в тексте статьи)	Частично интегрированы в туристский каркас агломерации: 1 из 4 ИП – узловой элемент туристского каркаса региона и агломерации (г. Елабуга, данные по посещениям отражены в тексте статьи)
Роль в природно-рекреационном каркасе		
ИП	Частично включены в природно-рекреационный каркас агломерации 1 из 3 ИП – узловой элемент природно-рекреационного каркаса (г. Лаишево – место отдыха выходного дня)	1 из 4 ИП включено в природно-рекреационный каркас агломерации (г. Елабуга). Здесь расположен национальный парк «Нижняя Кама», есть детские лагеря и дома отдыха Новые города Нижнекамск и Набережные Челны, которые не являются ИП, но являются наследием советского градостроительства, также включены в природно-рекреационный каркас территории. На прибрежных территориях р. Камы сосредоточены детские лагеря, дома отдыха и другие учреждения санаторно-курортной направленности

- * Населенные пункты со статусом исторического поселения образуют муниципальные районы.
 ** Населенный пункт обладает статусом ИП, в документах территориального планирования выделяется в качестве узлового элемента, утверждены границы ИП, культурный ресурс территории (наличие объектов культуры муниципального, регионального уровня).
 *** Слабее интегрированы исторические поселения в планировочные каркасы Камской агломерации, здесь выделяются только г. Елабуга и Менделеевск, а г. Мензелинск, Мамадыш не обеспечены соответствующими мероприятиями (включенностью в туристско-рекреационную систему, развитой туристской инфраструктурой).

Направления мероприятий для включения исторических поселений в территориальное развитие Казанской и Камской агломераций. Населенные пункты со статусом ИП Казанской агломерации довольно активно включены в территориальное развитие агломерации и являются заметными точками роста туристского и природно-рекреационного каркаса территории. В качестве рекомендуемых мероприятий для Казанской агломерации можно выделить необходимость создания функциональных противовесов населенным пунктам, испытывающим высокую антропогенную нагрузку: развитие прилегающих территорий о. Свяжск, а также пляжей вдоль р. Камы как альтернативы летнему отдыху в г. Лаишево.

В Камской агломерации необходимо включение отдельных населенных пунктов со статусом исторического поселения в территориальное развитие агломерации и последующая реализация мероприятий соответствующих направлений:

1) развитие прибрежных территорий, в том числе в рамках программы экозоны «Волжско-Камский поток», которая также включает муниципальные районы с населенными пунктами со статусом ИП: Мензелинский, Мамадышский, Менделеевский, Елабужский;

2) развитие туристского каркаса агломерации (определение проектного туристского каркаса, ориентированного на обслуживание жителей агломерации, создание туристской инфраструктуры, включение ИП как центров туризма);

3) сохранение и развитие историко-культурного каркаса территории: отражение наследия городов Набережные Челны и Нижнекамска в историко-культурном каркасе, включение в историко-культурный каркас населенного пункта с признаками исторического поселения г. Заинска в перечень исторических поселений региона.

Интеграция населенных пунктов со статусом исторических поселений в территориальное развитие городской агломерации требует комплексного проектного подхода, соотнесения с существующими планировочными каркасами территории, оценки роли населенных пунктов в каждой из функциональных подсистем.

Заключение

Устойчивость агломераций как сложных открытых самоорганизующихся систем реализуется путем усложнения структуры: появление иерархии в подсистемах и их взаимная интеграция, где изменение одной функциональной подсистемы ведет к изменению всей структуры. Использование исторического наследия населенных пунктов для включения в историко-культурный, туристский, рекреационный и другие каркасы агломерации решает вопросы появления функций населенных пунктов в системе расселения, в то же время обеспечивает удовлетворение потребностей как агломерации, так и региона.

Взаимная интеграция историко-культурного каркаса с другими планировочными каркасами территории (туристского, природно-рекреационного, транспортного и др.) требует проведения различных мероприятий в зависимости от статуса объекта. Мероприятия по реставрации, реконструкции, сохранению, консервации проводятся для объектов историко-культурного каркаса.

Выделение территорий для строительства, устройства мест отдыха, средств коллективного размещения населения, объектов питания – для объектов туризма. Организация пребывания населения на особо охраняемых природных территориях – для памятников природы, страдающих от антропогенной нагрузки, и объединение таких объектов в один планировочный объект для проектирования.

Таким образом, в исследовании были решены поставленные задачи:

1. Определена роль исторических поселений в территориальном развитии Казанской и Камской агломераций, где населенные пункты выступают узловыми элементами историко-культурного, туристского, рекреационного каркасов. Показано, что на сегодняшний день их роль носит случайный характер, не обеспеченный комплексной работой по созданию градостроительных и иных предпосылок для развития планировочных каркасов территорий.

2. Определены направления мероприятий по включению исторических поселений в территориальное развитие Казанской и Камской агломераций.

Для интеграции в систему культурно-бытового, рекреационного и иного видов обслуживания системы расселения и обеспечения мероприятий на территории самого муниципального образования, а также предотвращения градостроительных конфликтов в связи с наличием объектов культурного наследия на территории исторических поселений, использования потенциала историко-культурного наследия в территориальном развитии целесообразно разрабатывать комплексные стратегии развития, в которых вопросы социально-экономического и пространственного развития проработаны совместно и которые предваряли бы разработку обязательных стратегических документов, закрепленных в законодательстве. Важность комплексных стратегий освещалась в ранее опубликованных работах автора [12].

Значимость результатов исследования определяется выявлением роли населённых пунктов со статусом исторического поселения в территориальном развитии Казанской и Камской агломераций. Выводы и результаты исследования могут стать основой для определения перспективного развития указанных населенных пунктов и дальнейшего развития самой агломерации. Включение населенных пунктов со статусом исторических поселений в планировочные каркасы агломерации путем реализации мероприятий по развитию транспортной, туристской, рекреационной инфраструктуры, комплексного планирования и поисков альтернативного развития обеспечит развитие самого населенного пункта, адаптацию населенного пункта под нужды агломерации, взаимовыгодное развитие отдельных поселений и агломерации в целом.

Дальнейшие направления исследований должны предполагать:

– исследование историко-культурного потенциала Казанской и Камской агломераций;

– определение методов включения населенных пунктов со статусом исторического поселения в территориальное развитие Казанской и Камской агломераций;

– рассмотрение проектных моделей интеграции историко-культурного каркаса в территориальное развитие Казанской и Камской агломераций.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шевченко Э.А. Градостроительные проблемы сохранения историко-культурного ресурса России // *Academia. Архитектура и строительство*. 2012. № 1. С. 99–104. EDN: OITAMS
2. Абанкина Т.В. Креативная экономика: переход к капитализации культурного наследия // *Вопросы экономики*. 2017. № 4. С. 100–116. DOI 10.32609/0042-8736-2017-4-100-116. EDN: YIXNDN
3. Шульгин П.М. Историко-культурное наследие как особый ресурс региона и фактор его социально-экономического развития // *Мир России. Социология. Этнология*. 2004. Т. 13. № 2. С. 115–133. EDN: SLZFEZ
4. Кудрявцев А.П. Стратегия сохранения и развития исторического наследия РФ. Перечень проблем и направление решения // *Academia. Архитектура и строительство*. 2016. № 1. С. 5–16. EDN: VNRRWJ
5. *Bandarin F., van Oers R. The historic urban landscape: managing heritage in an urban century*. Wiley. 1st edition. 2014. 272 p.
6. Котлер Ф., Асплунд К., Рейн И., Хайдер Д. Маркетинг мест. Привлечение предприятий, жителей и туристов в города, коммуны, регионы и страны Европы. Санкт-Петербург : Стокгольмская школа экономики, 2005. 382 с.
7. *Сохранение исторических поселений* на примере Гороховца и проект «Ре-Школа» // Школа наследия. 2020. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=OJ-B3Sqh1TA> (дата обращения: 20.11.2022).
8. *Исторические поселения и малые города* : исследование. Москва : ООО «Агентство стратегического развития “Центр”», 2019. 316 с. URL: <https://s3.centeragency.org/centeragency/docs/Malye-goroda-i-istoricheskie-poseleniya-2018-Issledovanie.pdf> (дата обращения: 10.01.2023).
9. *Мастер-план городского округа «город Дербент»* // Проектно-консалтинговая компания «Новая земля». URL: <https://www.nzemlya.com/derbent2019> (дата обращения: 31.01.2023).
10. Хакимова Т.С., Закирова Ю.А. Концепция долгосрочного территориального развития Казанской агломерации // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2020. № 4 (54). С. 172–182. EDN: GDSSWE
11. *Dembich A.A., Zakirova Y.A., Orlova N., Khakimova T.S. Methodological principles of planning reorganization of the city of Naberezhnye Chelny during the development of the Master Plan-2022* / Ed. E. Vdovin // *E3S Web of Conferences* : 2nd International scientific conference on socio-technical construction and civil engineering (STCCE – 2021), Kazan, Russia, April 21–28. 2021. V. 274. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127401018> (дата обращения: 10.01.2023).
12. Хакимова Т.С. Соотношение стратегии пространственного и социально-экономического развития муниципального образования // *Архитектон: известия вузов*. 2018. № 2 (62). С. 24. EDN: XSCZXF

REFERENCES

1. *Shevchenko E.A. Town-planning problems of preserving historical and cultural resources in Russia. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2012; (1): 99–104. EDN: OITAMS (In Russian)
2. *Abankina T.V. Creative economy: Transition to capitalization of cultural heritage Voprosy ekonomiki*. 2017; (4): 100–116. DOI: 10.32609/0042-8736-2017-4-100-116. EDN: YIXNDN (In Russian)
3. *Shulgin P.M. Historical and cultural heritage as a special resource of the region and factor of socio-economic development. Mir Rossii. Sotsiologiya. Etnologiya*. 2004; 13 (2): 115–133. EDN: SLZFEZ (In Russian)
4. *Kudryavtsev A.P. Preservation and development of historical heritage in the Russian Federation. List of problems and direction of solution. Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2016; (1): 5–16. EDN: VNRRWJ (In Russian)
5. *Bandarin F., van Oers R. The historic urban landscape: Managing heritage in an urban century*. 1st ed., Wiley. 2014. 272 p.

6. Kotler P, Asplund C, Rein I, Haider D. Marketing places Europe: How to attract investments, industries, residents and visitors to cities, communities, regions, and nations in Europe. Saint-Petersburg, 2005. 382 p. (Russian translation)
7. Preservation of historical settlements on the example of Gorokhovetz and the Re-School project. Available: www.youtube.com/watch?v=OJ-B3Sqh1TA (accessed November 20, 2022).
8. Historical settlements and small towns, Moscow, 2019, 316 p. Available: <https://s3.centeragency.org/centeragency/docs/Malye-goroda-i-istoricheskie-poseleniya-2018.-Issledovanie.pdf> (accessed January 10, 2023).
9. Master plan of the city of Derbent. Available: <https://clck.ru/ZQP2x> (accessed January 31, 2023). (In Russian)
10. Khakimova T.S., Zakirova Yu.A. The concept of long-term territorial development of the Kazan agglomeration. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2020; 4 (54): 172–182. EDN: GDSSWE (In Russian)
11. Dembich A.A., Zakirova Y.A., Orlova N., Khakimova T.S. Methodological principles of planning reorganization of the city of Naberezhnye Chelny during the development of the Master Plan-2022. *E3S Web of Conferences*. 2021; 274.
12. Khakimova T.S. Correlation of spatial and socio-economic development strategies of municipal education. *Architecton: Izvestiya vuzov*. 2018; 2 (62): 24. EDN: XSCZXF (In Russian)

Сведения об авторе

Хакимова Тансылу Сахабутдиновна, аспирант, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1, joknecht@mail.ru

Author Details

Tansylu S. Khakimova, Research Assistant, Kazan State University of Architecture and Engineering, 1, Zelenaya Str., 420043, Kazan, Tatarstan, Russia, joknecht@mail.ru

Статья поступила в редакцию 23.03.2023
Одобрена после рецензирования 25.06.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 23.03.2023
Approved after review 25.06.2023
Accepted for publication 21.09.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 53–67.

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; 25 (5): 53–67.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 725.826:796

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-53-67

EDN: STHOLS

**АРХИТЕКТУРНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ
УНИКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ
В УСЛОВИЯХ ПРОТИВОРЕЧИВЫХ ЗАДАЧ
И СУБЪЕКТИВНЫХ ФАКТОРОВ
(НА ПРИМЕРЕ СПОРТИВНЫХ АРЕН
ФУТБОЛЬНЫХ СТАДИОНОВ)**

Геннадий Вадимович Океанов

*АО «Центральный научно-исследовательский
и проектно-экспериментальный институт
промышленных зданий и сооружений», г. Москва, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Уникальные здания отражают общественный запрос на инновационную организацию городского пространства, новые перспективы деятельности человека, растущую потребность безопасных и благоприятных условий среды. Архитектурное проектирование уникальных зданий на ранних стадиях осложнено неясностью функциональных и планировочных задач, отсутствием нормативных требований, необходимостью внесения существенных изменений в процессе работы.

Опыт проектирования спортивных арен футбольных стадионов чемпионата мира по футболу 2018 г. в России раскрывает особенности выбора и разработки продуктивной творческой идеи.

В результате комплексного анализа архитектурного наследия и научной литературы установлены тенденции развития данной типологии. Обобщены требования международных спортивных организаций к объемно-планировочному решению спортивных арен, положенные в основу российских норм стандартизации в области строительства. Даны рекомендации по сохранению архитектурной концепции автора проекта в процессе оптимизации.

Ключевые слова: уникальная архитектура, задание на проектирование, футбольные стадионы, спортивные арены, тенденции развития в архитектуре

Для цитирования: Океанов Г.В. Архитектурное формирование уникальных объектов в условиях противоречивых задач и субъективных факторов (на примере спортивных арен футбольных стадионов) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 53–67. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-53-67. EDN: STHOLS

ORIGINAL ARTICLE

UNIQUE ARCHITECTURE IN CONDITIONS OF CONFLICTING OBJECTIVES AND SUBJECTIVE FACTORS (STADIUM CASE STUDIES)**Gennadii V. Okeanov***Central Research and Experimental Design Institute of Industrial Buildings, Moscow, Russia*

Abstract. Unique buildings reflect a social demand for innovative urban space organization, new perspectives of human activities, and growing need for a safe and favorable environment. Architectural design of unique buildings, especially at early stages, is complicated by uncertainty of functional tasks, absence of regulatory requirements, and necessity for significant modifications during the process. The design experience of stadiums for 2018 FIFA World Cup in Russia shows the development of a productive creative idea. The development of this typology is identified by a comprehensive analysis of the architectural heritage and scientific literature. Requirements of international sports organizations for spatial and planning solutions of sports arenas are summarized herein, which form the basis of the Russian construction standardization. Recommendations are provided for the architectural concept preservation.

Keywords: unique architecture, design, stadiums, sports arenas, architectural trends

For citation: Okeanov G.V. Unique architecture in conditions of conflicting objectives and subjective factors (stadium case studies). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (5): 53–67. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-53-67. EDN: STHOLS

Введение

Архитектурное проектирование уникальных зданий и сооружений сталкивается со значительными трудностями, вызванными неясностью задания, его изменением в процессе проектирования, отсутствием единой государственной системы нормативных документов в данной сфере строительства и достоверных технических данных о новых конструктивных системах и строительных материалах, субъективными позициями, компетенцией и изменением состава участников [1]. Заслуживает обобщения и внедрения в современную практику опыт преодоления трудностей и продуктивной работы, полученный в ходе проектирования футбольных стадионов чемпионата мира по футболу в России 2018 г.

Формирование уникальных объектов

Двенадцать спортивных арен, соответствующих высшей и первой категориям по классификации Российского футбольного союза, принято считать наследием чемпионата мира. Одновременно с аренами чемпионата проектировался и строился ряд клубных арен соответствующего класса. Предполагаемая функция драйверов роста городов, центров инфраструктурного развития, демонстраторов передовых технологий проектирования и строительства была полностью реализована в процессе подготовки и проведения чемпионата.

При подготовке заявки о проведении чемпионата мира принимался во внимание опыт реконструкции БСА «Лужники» в 1997 г, проектирования ста-

диона «Локомотив» в Москве в 2002 г. и олимпийского стадиона в Сочи, завершено в 2013 г. В то же время у ряда привлеченных к проектированию организаций отсутствовала соответствующая квалификация. Требовалась актуализация нормативная база. Новейшие технологии проектирования и строительства, в частности, большепролетных светопрозрачных покрытий, доказавшие эффективность в зарубежной практике, не были адаптированы к применению в российских климатических условиях.

Для преодоления данных сложностей потребовалась систематизация отечественного и зарубежного опыта. Недостаток информации о рациональных приемах проектирования восполнялся изучением архитектурного наследия, научной и нормативной литературы, в том числе зарубежной, по архитектуре футбольных стадионов, спортивных правил. Выборка объектов архитектурного наследия осуществлялась на основе рейтинга стадионов ФИФА. Комплексный анализ разноформатных данных был направлен на выявление закономерностей пространственной организации и формообразования арен.

В результате анализа реализованных и перспективных проектов выявлены следующие тенденции развития архитектуры спортивных арен футбольных стадионов [2]:

- утилитарная форма;
- унификация и пространственная координация архитектурной структуры;
- архитектурная эволюция и обратимые изменения;
- визуальная взаимосвязь и функциональное взаимодействие внутреннего и внешнего пространств;
- композиционная целостность и стилистическое единство с урбанизированным и природным окружением.

Утилитарная форма может быть признана результатом рационального планировочного решения и художественного осмысления статической работы применяемых конструктивных систем, как правило, отличающихся инновационностью и эффективностью. Центрическая композиция арены вокруг игрового поля определяет простую геометрическую форму плана: прямоугольную, характерную для футбольных стадионов; овальную или круглую как дань традиции универсальных спортивных арен. Альтернатива – максимальная адаптация к очертаниям ограниченного участка застройки. Замкнутая структура объясняется необходимостью разместить максимальное количество зрительских мест на трибунах, в том числе в угловых секторах [3].

Размещение зрителей непосредственно у кромки определяло лучшие условия видимости событий на игровом поле. Беговые дорожки вокруг поля позволяли использовать стадион как универсальный, но уменьшали комфорт для футбольных болельщиков, составляющих большинство посетителей стадиона. В процессе архитектурной эволюции футбольная специализация арены получает приоритет.

Размещение однотипных блоков зрительских мест на трибунах, разделенных на секторы и ярусы для организации доступа и безопасности вокруг игрового поля, предназначено обеспечить достаточную вместимость арены. Начиная с 20 000 зрителей, обособленные трибуны объединяются угловыми секторами, навесы над ними смыкаются в кольцо, но сохраняется сквозной

проем над игровым полем [4]. Арена приобретает выраженную регулярную концентрическую планировочную структуру. Крыша и фасады арены формируются по секционному-модульному принципу, где каждый элемент унифицирован и соответствует заданным пространственным параметрам, что хорошо видно на примере арены «Ювентус» в Турине (Италия) (рис. 1) [5].

Замыкание периметра арены приводит к изоляции внутреннего пространства. Способствуя созданию специфической психоэмоциональной атмосферы «кипящего котла», изоляция искажает образ общедоступного, привлекательного для публики, раскрытого пространства, интегрированного в городское и природное окружение. Раскрытое пространство арены ярко продемонстрировано в г. Браге (Португалия), где две изолированные трибуны встроены в скальный каньон (рис. 2), или на олимпийском стадионе Афин (Греция) (рис. 3) благодаря пластической форме и светопрозрачной кровле обособленных навесов.



Рис. 1. «Ювентус», Турин¹
Fig. 1. Juventus, Turin



Рис. 2. Арена в Браге²
Fig. 2. The Municipal Stadium of Braga



Рис. 3. Олимпийский стадион, Афины³
Fig. 3. Olympic Stadium of Athens

Рациональные решения, такие как простая геометрическая форма, ярусные трибуны, плоская крыша, проем, близкий по форме к очертаниям игрового поля, можно проследить в процессе развития архитектуры спортивных арен. Стадион «Маракана» в Рио-де-Жанейро (Бразилия) (рис. 4) в ходе реконструкции 2012 г. сохранил первоначальную пространственную форму и композицию фасадов, обретенные в 1950 г., но претерпел конструктивные изменения. В частности, консольная крыша была заменена высокотехнологичной висячей конструкцией типа «велосипедное колесо», с лучшими параметрами солнцезащиты и водоудаления, с сохранением исторических фасадов [6].

Ретроспективный обзор позволяет сделать заключение о стремлении к уменьшению строительного объема спортивных арен в функциональной зависимости от их вместимости за счет малоуклонной крыши. Сферическое купольное покрытие, впервые представленное в проекте арены г. Оиты (Япония) (рис. 5), находит мало последователей, несмотря на ясность и целостность формы [7]. В то же время плоская крыша в сочетании с вертикальным фасадом, например, арена «Ванда Метрополитано» в Мадриде (Испания) (рис. 6), наиболее распространены [8].

¹ URL: <https://www.maungbandung.co.id/bola-dunia/pr-2491550865/Mengenal-Stadion-Raksasa-di-Italia-untuk-Partai-Final-UEFA-Nations-League>

² URL: http://stadiumdb.com/stadiums/por/estadio_municipal_de_braga

³ URL: <https://bangkokbook.ru/galereya/foto-stadion-v-grecii-97-foto.html>



Рис. 4. «Маракана», Рио-де-Жанейро⁴
Fig. 4. Maracanã Stadium, Rio de Janeiro



Рис. 5. Арена в Оите⁵
Fig. 5. Oita Bank Dome



Рис. 6. «Ванда Метрополитано», Мадрид⁶
Fig. 6. Metropolitano Stadium, Madrid

Спортивно-зрелищная функция, выраженная гигантским пространством чаши спортивной арены, как композиционный фактор, доминирует в процессе архитектурного формирования, оставляя регламентированному составу технических и служебных помещений, размещаемых в подтрибунном пространстве или на внешнем периметре трибун между внутренним и внешним рядами опор крыши, подчиненную роль. Объемно-планировочное решение определяется соотношением игрового поля, чаши и крыши арены.

Типичным недостатком спортивных арен признаются значительная протяженность и монотонность фасадов [4]. Действенным экспрессивным приемом композиции служит внедрение вертикальных акцентов. Оригинальность объемно-планировочного решения стадиона «Уэмбли» в Лондоне (рис. 7) обусловлена гигантской ажурной аркой вантового подвеса крыши при регулярной планировочной структуре и метрически однородной композиции фасадов. Л-образные пилоны вантовых подвесов крыши определяют уникальный облик арены в Турине, решенной на основе прямоугольного, со скругленными углами, плана, невзирая на статичные монотонные фасады.

Унификация и пространственная координация обоснованы регулярным функционально-планировочным решением спортивных арен, особенностями высокотехнологичных конструкций высокой заводской готовности, как, например, пространственные структуры, использованные при возведении арены в Донецке (рис. 8), или висячее покрытие, реализованное в спортобъекте г. Франкфурт-на-Майне (рис. 9) [9].

Архитектоника высокотехнологичных конструкций и совершенная унификация симметричной радиальной структуры наглядно проявили себя в Олимпийском стадионе Лондона, 2011 г. (рис. 10). Изначально проектировавшаяся многофункциональной и мобильной арена обрела футбольную специализацию в ходе реконструкции в 2016 г., продемонстрировав неоднозначность универсального подхода к проектированию уникальных зданий и сооружений.

Архитектурная эволюция и обратимые изменения структуры спортивных арен обусловлены приспособлением к актуальным задачам эксплуатации за счет трансформируемой крыши, мобильных структур чаши арены и крыши, последовательной реконструкцией.

⁴ URL: <https://fernandes.arq.br/es/projetos/maracana-copa-do-mundo-fifa-2014/>

⁵ URL: http://fussball/fifa-freundschaft/ma2324883/japan_tunesien/spiel-infos/

⁶ URL: <https://tecnigestion.com/this-university-uses-interior-color-to-improve-accessibility/>



Рис. 7. Арена «Уэмбли», Лондон⁷



Рис. 8. «Донбасс-Арена», Донецк⁸



Рис. 9. Арена, Франкфурт-на-Майне⁹

Fig. 7. Wembley Arena, London Fig. 8. Donbass Arena, Donetsk Fig. 9. Waldstadion, Frankfurt

Несмотря на распространение спортивных арен с механизмами трансформации, обеспечивающими обратимое перекрытие проема над игровым полем, футбольные матчи проходят на открытом воздухе, с открытым проемом. Распространение получили мягкие трансформируемые оболочки, по образцу стадиона во Франкфурте-на-Майне (рис. 9) [10], или жесткие сдвижные секции, как в Атланте (США) (рис. 11) [11], с возвратно-поступательной или центрально-периферийной схемами движения [12].

Функциональные несоответствия спортивной арены, как объекта капитального строительства, актуальным требованиям могут быть компенсированы временно возводимыми, для решения ситуативных задач, компонентами. Сборно-разборные трибуны позволяют изменять вместимость и функциональную организацию арены. Временная крыша устраивается в случае необходимости для защиты зрителей и участников мероприятий на стадионе. Например, такие решения используются при проведении концертов на арене «Арсенал» в Лондоне.

Последовательные реконструкции позволяют оптимизировать архитектуру спортивных арен в соответствии с постоянно изменяющимися требованиями. Строительство и расширение трибун стадиона «Олд Траффорд» в Манчестере (Англия, 1909 г.) сопровождалось возведением и реконструкцией навесов над ними, что обеспечило вместимость 75 000 зрителей в 2006 г., с перспективой увеличения до 88 000 (рис. 12). Форма порталных и консольных индивидуальных навесов над трибунами учитывает конфигурацию тени от крыши на игровом поле [13]. Наряду с эволюционным путем развития архитектуры, в перспективе рассматриваются радикальные варианты сноса существующего стадиона и строительство нового, с использованием передовых технологий, что критически оценивается публикой [14].

По мнению известного архитектора Ж. Херцога, пространство спортивной арены следует рассматривать как неотъемлемую часть городской среды, что обеспечивается визуальной взаимосвязью и функциональным взаимодействием внутреннего и внешнего пространств [15]. Визуальная взаимосвязь осуществляется через сквозные проемы и светопрозрачные ограждающие конструкции кровли и фасадов, улучшая пространственную ориентацию и психологический комфорт людей, способствуя пространственной интеграции. Функциональное взаимодействие происходит через проемы в ограждающих кон-

⁷ URL: <https://dzen.ru/a/Y3C3aASJdgtBzDz>

⁸ URL: https://i.ytimg.com/vi/hva_iYbhdOE/maxresdefault.jpg

⁹ URL: <https://kenyattahollins.blogspot.com/2021/08/eintracht-frankfurt-stadium-commerzbank.html>

струкциях арены, следуя определению футбола как игры на открытом воздухе, предполагающей воздействие на игроков природных факторов, которые, являясь причиной дискомфорта, в то же время воспринимаются неперенным элементом зрелища.



Рис. 10. Олимпийский стадион, Лондон¹⁰
Fig. 10. Olympic Stadium, London

Рис. 11. Арена, г. Атланта¹¹
Fig. 11. Mercedes-Benz Stadium, Atlanta

Рис. 12. «Олд Траффорд», Манчестер¹²
Fig. 12. Old Trafford, Manchester

Способы взаимосвязи демонстрирует проект новой спортивной арены «Сантьяго Бернабеу» в Мадриде (Испания) (рис. 13). Консольные двадцатиметровые свесы крыши и ламеллярный фасад из полупрозрачного стекла смягчают контраст между прохладой помещения фойе и зноем городской улицы днем, обособляют подобие сценического пространства в темное время суток. Панорамная галерея на верхнем ярусе трибун, в подкровельном пространстве, позволяет одновременно наблюдать за футбольным матчем и течением городской жизни.

Ортогональная структура тросовых ферм с кровлей из прозрачной полимерной пленки покрытия арены в Инглвуде, пригороде Лос-Анджелеса (США), (рис. 14) объединяет спортивную арену, концертную площадку и общественную зону, служит основным средством пространственной организации. Половина ячеек над ареной открывается, обеспечивая аэрацию арены. Публика отмечает раскрытое пространство основным достоинством комплекса [16].

Академик РААСН Д.В. Буш отмечает градостроительное окружение и стилистику городской архитектуры как основу облика проектируемого футбольного стадиона [17]. При реконструкции ранее существующие постройки требуют бережного отношения, как объекты культурного и исторического наследия, соответственно концепции устойчивого развития в архитектуре. Реконструкция, как правило, необходима для подготовки спортивных арен к крупным международным соревнованиям и производится в соответствии с постоянно совершенствующимися требованиями организаторов.

Образцом сохранения арены, как памятника «тоталитарной» архитектуры, при масштабной реконструкции 2006 г. являет Олимпийский стадион Берлина (рис. 15). В ходе работ перестроен нижний ярус трибун, уложено покрытие. Сохранены верхний ярус трибун и исторические фасады. Особенностью реконструкции является сохранение акцента Марафонских ворот путем

¹⁰ URL: <https://svspb.net/novosti/samye-dorogie-stadiony-mira/>

¹¹ URL: <https://www.mercedesbenzstadium.com/stadium-tours?webSyncID=ba98a98d-9492-4d51-1d09-be42998035de>

¹² URL: <https://twidoom.com/de/FParepare/>

членения крыши над ними и сокрытие конструкций покрытия декоративной подшивкой из полимерной сетки во избежание диссонанса.



Рис. 13. Проект арены «Сантьяго-Бернабеу», Мадрид¹³
Fig. 13. Santiago Bernabéu Stadium, Madrid, project



Рис. 14. Стадион «СоФи», Инглвуд¹⁴

Fig. 14. SoFi Stadium, Inglewood



Рис. 15. Олимпийский стадион, Берлин¹⁵

Fig. 15. Olympiastadion, Berlin

Утвержденный проект нового футбольного стадиона «Стэмфорд Бридж» в Лондоне – образец успешной интеграции спортивной арены в исторически сформировавшуюся городскую застройку. Он учитывает требования гармонизации архитектурно-композиционного решения арены и окружающих зданий, недопустимости их затенения, точного соблюдения границ участка. Сложная радиальная система плоских рам покрытия, имитирующих традиционные щипцовые кровли, с уклоном скатов до 45°, возвышающихся над горизонтальной мембранной крышей, обеспечивает беспрепятственную инсоляцию территории. Стилистическое единство достигнуто цитированием силуэтов традиционных английских домов в композиции фасадов и применением штучной керамической облицовки пилонов характерного цвета и фактуры.

Композиционная целостность и стилистическое единство воплощают ансамблевый подход к формированию футбольных стадионов, бережное отношение к историческому наследию и ландшафту.

Комплексный анализ футбольных стадионов определил рациональные подходы и выявил наиболее перспективные композиционные приемы архитектурного проектирования современных спортивных арен.

Перед архитекторами футбольных стадионов чемпионата мира 2018 г. была поставлена незаурядная задача одновременного проектирования ряда уникальных объектов в условиях изменчивых и противоречивых задач и субъективных факторов [18]. Проектирование спортивных арен футбольных стадионов осуществлялось силами ведущих архитекторов России с привлечением зарубежных специалистов, обладающих общепризнанной репутацией и международным опытом. В числе отечественных подрядчиков следует выделить Архитектурное бюро СПИЧ, Проектный институт уникальных сооружений «Арена», Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (ЦНИИПромзданий). В разработке архитектурных концепций принимали участие зарубежные компании

¹³ URL: http://stadiumdb.com/news/2019/05/madrid_real_selects_contractor_works_to_begin

¹⁴ URL: http://stadiumdb.com/stadiums/usa/sofi_stadium

¹⁵ URL: <https://www.faz.net/aktuell/sport/frauenfussball-wm/wm-kommentar-der-groesste-tag-des-frauenfussballs-1653672/fast-74-000-zuschauer-berlin-1661151.html>

GMP Architekten von Gerkan, Marg und Partner, Manica Architecture, POPULOUS и др. Результатом сотрудничества стала практика международного сотрудничества, обмена продуктивными творческими идеями, адаптация нормативных требований на основе передового опыта.

Проектирование и строительство объектов проводилось на основании Федерального закона «О подготовке и проведении в Российской Федерации чемпионата мира по футболу FIFA 2018 года, Кубка конфедераций FIFA 2017 года, чемпионата Европы по футболу UEFA 2020 года и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 07.06.2013 № 108-ФЗ. Основные требования к архитектуре стадионов были изложены в «Руководстве ФИФА по требованиям к стадионам чемпионата мира по футболу 2018 г.». Последний документ отражает многолетний передовой опыт проектирования престижных сооружений, реализующих новейшие технологии архитектурного проектирования и строительства, соответствующих самым высоким международным стандартам [19].

Контекстный анализ «Руководства ФИФА», констатирующего накопление и систематизацию знаний о рассматриваемой типологии, позволил выявить совокупность требований по архитектуре футбольных стадионов. Спортивная арена футбольного стадиона определена спортивно-зрелищным сооружением (театром), предназначенным для демонстрации сценического действия (игры) на открытом воздухе. Архитектурные решения арены должны удовлетворять требованиям установленной *пространственной организации, безопасности, дифференцированного комфорта, устойчивого развития*.

Состав изложенных требований к аренам не является полным, детальным и окончательным. Очевидно, он требует творческой интерпретации для поддержания уникального статуса футбола и постоянного соответствия самым высоким международным стандартам. При этом требования фиксируются на время проектирования конкретного стадиона.

Архитектурное формирование спортивных арен требует точного соблюдения заданных пространственных параметров игровой зоны; позволяет изменять конфигурацию чаши арен в пределах, ограниченных условиями беспрепятственной видимости, где основными параметрами являются форма, вместимость и секционнно-ярусная структура трибун; крыша служит средством пространственной организации арены и воплощением авторского замысла проекта.

В составе арены выделяется главная трибуна, содержащая спортивную и почетную (VIP) зоны, и помещения для средств массовой информации. Пространственная ориентация и устройство главной трибуны должны избегать слепящего света во второй половине дня, на основе анализа траектории солнца, с учетом тени от трибун и крыши на игровом поле.

Главная и противоположная трибуны должны размещаться под крышей. В неблагоприятных погодных условиях, а также в условиях холодного, влажного и жаркого климата целесообразно оборудовать крышей все трибуны. Предпочтение отдается конструкциям, препятствующим попаданию прямых солнечных лучей и не создающим теней и бликов на игровом поле. При расчетах следует принимать во внимание стоимость покрытия, достигающую 25 % бюджета,

а также отрицательное влияние затенения на вегетацию натурального газона. В исключительных случаях предусматривается обратимое закрытие проема над полем, при наличии соответствующих средств механизации.

Необходимо принимать во внимание развитие технологий электронных коммуникаций, что проявляется в необходимости перепланировки технических помещений, перекладки коммуникаций, смены оборудования при возрастании требований пользователей.

Спортивная арена должна быть оснащена как минимум двумя проекционными поверхностями, площадью не менее 70 кв. м каждая, не препятствующими обзору игрового поля, размещенными в противоположных угловых секторах, проемах трибун или за воротами.

Условием долговременной регулярной эксплуатации служит долгосрочное планирование развития архитектурной структуры, основанное на рациональной оценке потребностей в первую очередь жителей прилегающих районов. Некоторые недостатки могут быть компенсированы временными решениями.

Безопасность является безусловным приоритетом проектирования спортивных арен, исключаяющим условия, способствующие возникновению пожара, аварий, неадекватного поведения публики, исключаяющим влияние неблагоприятных погодных условий, природных катастроф, ошибки управления. Требования безопасности определяются соблюдением наиболее строгих государственных строительных стандартов.

Минимальным требованием обеспечения безопасности служит компетентное расчетное обоснование, детализированные описания и сертификаты конструкций и строительных материалов. В течение срока службы спортивной арены предусматривается наличие исходной и актуальной проектной документации. Для эксплуатации арены в режиме наследия, в наиболее полной конфигурации архитектурной структуры, необходимо планировать соответствующие мероприятия.

Архитектура спортивной арены должна иметь ясную пространственную ориентацию, как элемент безопасности и комфорта. Соответствующая навигационная схема должна отражать общую форму и компоновку арены; однозначное определение трибун и секторов; контуры, форму и размеры отдельных лож, проекцию крыши.

Архитектурные решения спортивных арен предусматривают комфорт размещения зрителей, обеспеченный посредством беспрепятственного обзора, хорошей видимости и различимости событий на игровом поле, свободного доступа к индивидуальным креслам. Кроме того, арена должна быть оснащена крышей над головой и проекционными поверхностями для трансляции полноцветного видеоизображения. Предполагается также дифференцированный подход к обеспечению комфорта на главной, противоположенной трибуне и трибунах за воротами; наличие лож различных категорий; облегченный доступ с сопровождением для маломобильных групп населения и т. д.

Архитектура спортивной арены футбольного стадиона формируется на основе принципов устойчивого развития, предусматривающих равновесие экономических, социальных и экологических показателей. Отдельными ас-

пектами являются рациональное использование ресурсов, уменьшение негативных факторов взаимного влияния на общество и окружающую среду.

Предполагается, что применение концепции устойчивого развития в архитектуре спортивных арен футбольных стадионов будет способствовать повышению финансовой эффективности за счет снижения эксплуатационных расходов, роста стоимости активов и удовлетворенности публики. Следует добиваться баланса инвестиций и эксплуатационных расходов, благодаря архитектурному формированию арены как многоцелевого объекта с универсальными характеристиками, на стадии проектирования.

Архитектурные решения спортивных арен, в рамках концепции устойчивого развития, должны предусматривать: снижение энергопотребления, предотвращение светового и акустического загрязнения среды, уменьшение количества отходов и выбросов углекислоты, получение электроэнергии из собственных источников, утилизацию сточных вод.

Устойчивое развитие рассматривается как универсальный принцип архитектурного формирования спортивной арены. В данном контексте отмечается рациональное использование ресурсов; содействие социальному и экономическому развитию; минимизация негативных воздействий на окружающую среду.

Руководство ФИФА установило состав и параметры игровой зоны, спортивных, публичных, технических помещений арен, актуальные на момент публикации документа. В то же время заявлена задача совершенствования архитектурной структуры арен в результате развития спортивных правил и общественных ожиданий.

Собственный опыт проектирования, результаты анализа архитектурного наследия, руководящие документы спортивных организаций были положены в основу СП 285.1325800.2016 «Стадионы футбольные. Правила проектирования», учтены в составе СП 363.1325800.2017 «Покрытия светопрозрачные и фонари зданий и сооружений. Правила проектирования».

Заключение

В ходе проектирования спортивных арен чемпионата мира 2018 г. проявили себя социальные, климатические, логистические, технологические и экономические особенности Российской Федерации.

Исходя из идеи, что стадион является общественным зданием, он должен быть построен с учетом интересов самых разных слоев населения и для проведения футбольных матчей, и как центр семейного досуга [20]. Архитектура арены должна быть приспособлена к актуальным социальным потребностям и реальной заполняемости. Наиболее действенными способами ее архитектурной реорганизации являются изменения конфигурации трибун, крыши и блокированных помещений коммерческого назначения с использованием мобильных конструкций, которые были успешно применены на футбольном стадионе «Екатеринбург-Арена». Обобщая вышеизложенное, целесообразно рассматривать в проекте три фазы состояния архитектуры спортивной арены: минимальную, оптимальную и максимальную, в зависимости от планируемой загрузки трибун.

Сравнительный анализ пространственной организации спортивных арен позволяет сделать вывод, что изоляция является следствием усиления футбольной специализации и приводит к превращению стадиона в манеж. В свою очередь, развитие пространственной взаимосвязи расширяет социализацию арены и способствует ее многофункциональному использованию [2].

Интеграция общественного пространства под «общую крышу» арены и обеспечение сквозной коммуникации приведет к увеличению посещаемости коммерческих предприятий, размещенных в помещениях арены. Данный вывод не был учтен при реализации проектов спортивных арен в силу ограничения сроков проектирования и строительства.

Использование новейших технологий и материалов способствует публичному интересу к футбольному стадиону, но требует подтверждения соответствия климатическим условиям региона строительства и экономического обоснования. На примере крыши спортивной арены «Динамо» в Москве видно, что индустриальный фальц алюминиевых панелей кровли не выдерживает концентрированной нагрузки от инвентарной системы снегозадержания, устроенной по орнаментальной схеме в виде ромбов, соответственно общей концепции арены. Первоначальное решение сплошной светопрозрачной кровли не было выполнено в силу высокой цены, обусловленной техническими сложностями организации водоудаления и снегозадержания.

Для ряда высокотехнологичных строительных систем, конструктивные и эстетические особенности которых могут составлять значимую часть оригинальной архитектурной концепции, требуется подтверждение пригодности с учетом климатического разнообразия России. В существующих условиях обеспечить реализацию творческой концепции автора целесообразно на основе лучших технологий и материалов, предоставленных национальными производителями. Например, вариативное проектирование на основе формализованной модели [21] покрытия стадиона «Самара-Арена» позволило получить гармоничный архитектурный объект, ставший региональным символом, при полном импортозамещении материалами, произведенными в Поволжье [22].

Необходимо принимать во внимание, что объемно-планировочные решения спортивных арен на основе ортогональной сети координационных линий обладают лучшей динамикой и способностью к эволюции, по сравнению с радиальными, характеризующимися статичностью и высокой чувствительностью к несимметричным воздействиям. Например, ортогональная структура арены в Калининграде допускает поэтапное возведение и последовательную реконструкцию, покрытие арены в Нижнем Новгороде, устроенное по схеме «велосипедное колесо», возводилось одномоментно и не допускает локального проведения масштабных работ, в том числе ремонтно-восстановительных [23].

В соответствии с российскими и международными требованиями стандартизации в области строительства, следуя рациональным тенденциям, выявленным при анализе архитектурного наследия, современные спортивные арены проектируются как многофункциональные высокотехнологичные платформы, интегрированные в урбанизированную и благоустроенную природную среду, с учетом перспективы эволюции структуры и формы, обусловленной изменяющимися социальными потребностями и ожиданиями.

Выявленные в результате комплексного анализа архитектурного наследия и научной литературы тенденции развития архитектуры были учтены в ходе работы над проектами спортивных сооружений чемпионата мира по футболу 2018 г. В частности, утилитарный подход к архитектуре позволил обеспечить требуемую вместимость при улучшении параметров комфорта и безопасности трибун БСА «Лужники» в пределах исторических фасадов. Унификация консолей покрытия позволила оптимизировать объемно-пространственное решение арены в Саранске. Реконструкция арены в Екатеринбурге как альтернатива новому строительству свидетельствует о приверженности к эволюционному подходу. Пространственная взаимосвязь арены Нижнего Новгорода обеспечена концепцией парящего покрытия, в сочетании с планировочным решением по типу классического периптера, в хороших пропорциях. Раскрытая композиция арены в Сочи выявляет главную композиционную ось Олимпийского парка как основу его планировочной структуры.

Обобщенные в ходе экспериментального проектирования требования к объемно-планировочному решению спортивных арен, положенные в основу разработанных позднее российских норм стандартизации в области строительства, определяют рациональные алгоритмы архитектурного формирования уникальных объектов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Буш Д.В. Уроки проектирования стадионов Чемпионата мира по футболу 2018 года // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 2. С. 5–10.
2. Океанов Г.В. Принципы формирования архитектуры большепролетных светопрозрачных покрытий футбольных стадионов : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры. Москва, 2022. 29 с.
3. Виммер М. Проектирование стадионов. Практическое пособие : пер. с англ. Берлин : Dom Publishers, 2016. 320 с.
4. John G., Sheard R., Vickery B. *Stadia. A design and development guide.* Oxford : Elsevier Ltd., 2007. 320 p.
5. Majowiecki M., Ossola F., Pinardi S. La copertura sospesa del nuovo stadio della Juventus a Torino // Costruzioni metalliche. 2011. № 11. P. 35–50. URL: <http://www.majowiecki.com/studio/wp-content/uploads/2011/10/2011-La-copertura-sospesa-del-nuovo-stadio-della-Juventus-a-Torino.pdf> (дата обращения: 04.07.2023).
6. *Stadium Maracanã (Estádio Jornalista Mário Filho)* // SBP : [сайт]. URL: http://www.sbp.de/en/build/show/1828-Stadium_Maracan%C3%A3_%28Est%C3%A1dio_Jornalista_M%C3%A1rio_Filho%29 (дата обращения: 04.07.2023).
7. Еремеев П.Г. Современные футбольные стадионы мира. Москва : ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 2012. 70 с.
8. *Wanda Metropolitano (Estadio Metropolitano)* // StadiumDB.com : [сайт]. URL: http://stadiumdb.com/stadiums/esp/estadio_metropolitano (дата обращения: 23.03.2019).
9. Еремеев П.Г. Современные конструкции покрытий над трибунами стадионов. Москва : Изд-во АСВ, 2015. 236 с.
10. *Commerzbank Arena in Frankfurt* // Max Bogl : [сайт]. URL: <http://www.max-boegl.de/boeglnet/web/binary.jsp?nodeId=1077&binaryId=42652630&disposition=inline> (дата обращения: 14.03.2023).
11. *Mercedes-Benz Stadium. Atlanta* // НОК : [сайт]. URL: <https://www.hok.com/projects/view/mercedes-benz-stadium/> (дата обращения: 14.03.2023).
12. Сапрыкина Н.А. Динамическая адаптация архитектурных объектов : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора архитектуры. Москва, 1999. 80 с.
13. *Simon Inglis. Football Grounds of Britain.* 3rd edition. CollinsWillow. London, 1996. 480 p.

14. *Manchester United considering Old Trafford demolition as part of revamp* // The Guardian : [сайт]. URL: <https://www.theguardian.com/football/2022/mar/14/manchester-united-considering-old-trafford-demolition-as-part-of-revamp> (дата обращения: 05.07.2023).
15. *Estadio Santiago Bernabéu Madrid* // GMP : [сайт]. URL: <https://www.gmp.de/en/projekte/652/estadio-santiago-bernabeu-madrid> (дата обращения: 27.08.2021).
16. *SoFi Stadium. An Unrivaled Sports & Entertainment Destination & Homage to Southern California* // HKS : [сайт]. URL: <https://www.hksinc.com/what-we-do/case-studies/sofi-stadium/> (дата обращения: 28.08.2021).
17. Буш Д.В. Найти компромисс. Спортивные мегапроекты. ЧМ-2018. Каталог проектов / под ред. Е. Янина. Екатеринбург : Устойчивое развитие, 2015. 96 с.
18. Ведяков И.И. Коллективный процесс. Спортивные мегапроекты. ЧМ-2018. Каталог проектов / под ред. Е. Янина. Екатеринбург : Устойчивое развитие, 2015. 96 с.
19. *Руководство по организации чемпионатов мира FIFA*. Руководство по требованиям к стадионам (Инфраструктура и организация деятельности стадионов). Версия для чемпионата мира 2018 г. URL: <http://ruso.systems/wp-content/uploads/2017/01/105.FIFA01.11.14.pdf> (дата обращения: 14.04.2016).
20. *UEFA guide to quality stadiums*. UEFA, Nyon, Switzerland, 2011. 160 p.
21. Океанов Г.В. Построение формализованной модели большепролетного светопрозрачного покрытия как методический прием архитектурного проектирования футбольного стадиона // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ : тезисы докладов Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов. Т. 2. Москва : МАРХИ, 2019. С. 430–432.
22. *The Guardian раскритиковала все стадионы к ЧМ-2018, кроме самарского* // ИА Регнум : [сайт]. URL: <https://regnum.ru/news/sport/2420045.html> (дата обращения: 04.11.2018).
23. Океанов Г.В. Архитектурное формирование светопрозрачных ограждающих конструкций большепролетных перекрытий футбольных стадионов // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019. № 4 (49). С. 120–138. DOI:10.24411/1998-4839-2019-00010. URL: https://marhi.ru/AMIT/20194kvart19/PDF/09_okeanov.pdf

REFERENCES

1. *Bush D.V.* Design lessons of 2018 FIFA cup stadium. Academia. *Arkhitektura i stroitel'stvo*, 2018; (2): 5–10. (In Russian)
2. *Okeanov G.V.* Architectural principles of large-span translucent coverings of stadiums. PhD Abstract. Moscow, 2022. 29 p. (In Russian)
3. *Vimmer M.* Project guide on stadium design. Berlin, 2016. 320p. (in Russian)
4. *John G., Sheard R., Vickery B.* *Stadia*. A design and development guide. Oxford, Elsevier Ltd., 2007. 320 p.
5. *Majowiecki M., Ossola F., Pinardi S.* La copertura sospesa del nuovo stadio della Juventus a Torino. Available: www.majowiecki.com/studio/wp-content/uploads/2011/10/2011-La-copertura-sospesa-del-nuovo-stadio-della-Juventus-a-Torino.pdf (accessed July 4, 2023).
6. Stadium Maracanã. Available: www.sbp.de/en/build/show/1828-Stadium_Maracan%C3%A3_%28Est%C3%A1dio_Jornalista_M%C3%A1rio_Filho%29 (accessed July 4, 2023).
7. *Eremeev P.G.* Modern stadiums of the world. Moscow, 2012. 70 p. (In Russian)
8. Cívitas Metropolitano. Available: http://stadiumdb.com/stadiums/esp/estadio_metropolitano (accessed June 12, 2023).
9. *Eremeev P.G.* Modern stadium coverings. Moscow: ASV, 2015. 236 p. (In Russian)
10. Commerzbank Arena in Frankfurt. Available: www.max-boegl.de/boeglnet/web/binary.jsp?nodeId=1077&binaryId=42652630&disposition=inline (accessed March 14, 2023).
11. Mercedes-Benz Stadium. Available: www.hok.com/projects/view/mercedes-benz-stadium/ (accessed March 14, 2023).
12. *Saprykina N.A.* Architectural objects dynamic adaptation. DSc Abstract. Moscow, 1999. 80 p. (In Russian)
13. *Simon Inglis.* Football Grounds of Britain, 3rd ed., London: CollinsWillow, 1996. 480 p.

14. Manchester United considering Old Trafford demolition as part of revamp. Available: www.theguardian.com/football/2022/mar/14/manchester-united-considering-old-trafford-demolition-as-part-of-revamp (accessed July 5, 2023).
15. Estadio Santiago Bernabéu Madrid. Available: www.gmp.de/en/projekte/652/estadio-santiago-bernabeu-madrid (accessed August 27, 2021).
16. SoFi stadium. Available: www.hksinc.com/what-we-do/case-studies/sofi-stadium/ (accessed August 27, 2021).
17. *Bush D.V.* To find a compromise. In: Sportivnye megaproekty. Katalog proektov, E. Yanin, Ed., Ekaterinburg, 2015. 96 p. (In Russian)
18. *Vedyakov I.I.* Collective process. Sportivnye megaproekty. Katalog proektov, E. Yanin, Ed. Ekaterinburg, 2015. 96 p. (In Russian)
19. RUS FIFA World Cup Stadium Requirements Handbook RU 20.04.2015. Available: <http://ruso.systems/wp-content/uploads/2017/01/105.FIFA01.11.14.pdf> (accessed April 14, 2016). (In Russian)
20. UEFA guide to quality stadiums. UEFA, Nyon, Switzerland, 2011. 160 p.
21. *Okeanov G.V.* Large-span translucent covering formalized model construction as a methodical technique for the football stadium architectural design. In: *Proc. Int. Sci. Conf. 'Science, Education, and Experimental Design'* Moscow, 2019. Pp. 430–432. (In Russian)
22. The Guardian criticized all FIFA World Cup 2018 stadiums, except Samara. Available: <https://regnum.ru/news/sport/2420045.html> (accessed November 4, 2018). (In Russian)
23. *Okeanov G.V.* The architecture of translucent enclosing structures of large-span roofing stadiums. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2019; 4(49): 120–138. DOI: 10.24411/1998-4839-2019-00010 Available: https://marhi.ru/AMIT/2019/4kvart19/PDF/09_okeanov.pdf (accessed July 5, 2023) (In Russian)

Сведения об авторе

Океанов Геннадий Вадимович, канд. архитектуры, гл. специалист, АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений», 127238, г. Москва, Дмитровское шоссе, 46, корп. 2, g.okeanov@yandex.ru

Author Details

Gennadii V. Okeanov, PhD, Chief Specialist, Central Research and Experimental Design Institute of Industrial Buildings, 46, Dmitrovskoe shosse, Build. 2, Moscow, Russia, g.okeanov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 31.07.2023
Одобрена после рецензирования 19.09.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 31.07.2023
Approved after review 19.09.2023
Accepted for publication 21.09.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 68–83.

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; 25 (5): 68–83.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 725.34

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-68-83

EDN: SKAYHL

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ РЕЧНЫХ ВОКЗАЛОВ (НА ПРИМЕРЕ РЕЧНОГО ВОКЗАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА В ГОРОДЕ РОСТОВЕ-НА-ДОНУ)

Елизавета Сергеевна Жукова, Виктор Михайлович Молчанов

*Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. Сегодня происходит возрождение и популяризация речного вида транспорта и инфраструктуры, в том числе речных вокзалов.

Актуальность проектирования речного вокзального комплекса в г. Ростове-на-Дону обусловлена активным освоением левобережных территорий центральной части города, необходимостью решения транспортных проблем (разгрузка наземных путей сообщения), развитием рекреационного потенциала акватории Дона.

Цель исследования заключается в определении основных принципов разработки модели архитектурно-планировочного решения современного объекта речного транспорта на примере вокзального комплекса в г. Ростове-на-Дону.

Результаты исследования. В ходе исследования был выполнен ряд задач: на основе анализа мирового опыта проектирования и строительства аналогичных объектов сформулированы основные аспекты проектирования современных речных вокзалов относительно их функциональной, планировочной, архитектурной, конструктивной и региональной специфики. Был проведен поиск градостроительного размещения объекта и разработана концептуальная модель для условий застройки рассматриваемого участка в Ростове-на-Дону.

Выводы. На основе исследования разработана собственная концепция по архитектурной организации речного вокзального комплекса в Ростове-на-Дону.

Ключевые слова: речной вокзал, архитектура речных вокзалов, архитектурно-планировочное решение речного вокзала, проектирование речного вокзального комплекса, речной вокзальный комплекс в Ростове-на-Дону

Для цитирования: Жукова Е.С., Молчанов В.М. Основные аспекты проектирования современных речных вокзалов (на примере речного вокзального комплекса в городе Ростове-на-Дону) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 68–83. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-68-83. EDN: SKAYHL

ORIGINAL ARTICLE

MAIN DESIGN ASPECTS OF MODERN RIVER BOAT STATIONS (THE ROSTOV-ON-DON CASE STUDIES)

Elizaveta S. Zhukova, Victor M. Molchanov

*Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University,
Rostov-on-Don, Russia*

Abstract. The design relevance of the river boat station in the city of Rostov-on-Don is determined by the development of the left bank territories in the central part of the city, the need to solve transport problems (unloading of land routes), and recreational potential of the Don water area.

Purpose: Identification of development principles of the architectural and planning model for the modern river transport facility in Rostov-on-Don.

Research findings: Based on the world experience in design and construction of such facilities, the main design aspects are determined for river stations regarding their functional, planning, architectural, structural and regional factors.

Value: The development of conceptual model of the modern river transport facility in Rostov-on-Don.

Keywords: river boat station, architecture, architectural and planning, river station complex, Rostov-on-Don

For citation: Zhukova E.S., Molchanov V.M. Main design aspects of modern river boat stations (the Rostov-on-Don case studies). Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 68–83. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-68-83. EDN: SKAYHL

Введение

Самым древним видом транспорта является речной. Долгое время пассажирские причалы были оборудованы лишь посадочными площадками. Строительство речных вокзалов в нашей стране активно началось в начале XX в. В современном мире происходит возрождение и популяризация речного вида транспорта и соответствующей инфраструктуры, в том числе речных вокзалов.

На сегодняшний день актуальность строительства современного речного вокзала в Ростове-на-Дону заключается в решении следующих проблем:

1. В связи с активным освоением левобережных территорий центральной части города появляется необходимость соединить разделенную рекой территорию города и рассматривать акваторию как коммуникацию городского значения. Река приобретает большее значение и должна принять вид композиционной оси города. Социально-экономическими предпосылками для развития прибрежных территорий Ростова-на-Дону, с одной стороны, является рост города-миллионника и стагнация его ландшафтно-рекреационного развития – с другой. Городу требуются новые центры притяжения, новые общественные объекты, поэтому реновация промышленных и коммунально-складских территорий позволит разместить новые социально значимые объекты [1]. Речной вокзальный комплекс может способствовать достижению целей в области территориального планирования города и реновации территории [2].

2. Транспортная проблема: существующие транспортные коммуникации требуют преобразования из-за перегруженности автомобильных дорог. Альтернативным способом разгрузки наземных транспортных путей может служить речной транспорт. Частичным решением данного вопроса будет применение водного пассажирского маршрутного транспорта [3]. Использование водных путей поможет создать дополнительную транспортную связь между разными районами города, а также с другими населенными пунктами.

3. Развитие рекреационного потенциала территории: речная акватория имеет спокойный природно-климатический режим, который допускает активное развитие рекреации и культурного отдыха высокого уровня [4]. За счет этого также повысится комфортность жизнедеятельности города и его туристическая привлекательность.

Таким образом, строительство речного вокзала в Ростове-на-Дону позволит создать динамично развивающуюся рекреационную зону с архитектурным символом города, повышающим транспортную эффективность и туристическую привлекательность.

Цель исследования заключается в выявлении основных аспектов проектирования научно обоснованного архитектурно-планировочного решения речного вокзала и воспроизведении их в современном речном вокзальном комплексе в г. Ростове-на-Дону.

Особенности архитектурного проектирования современных вокзалов водного транспорта

Основные аспекты проектирования. На основе многофакторного анализа проектных решений и возведенных зданий речных вокзалов в мировой практике выделены основные аспекты архитектурно-планировочного решения вокзала водного транспорта.

1. Функционально-прагматический (эксплуатационный) аспект. Сегодня перспективным направлением строительства является создание многофункциональных объектов. Возникает необходимость придать зданию новый смысл, сохранив при этом его основную функцию – транспортную [5]. В современном мире терминал является не только станцией транспорта, но и развлекательным пространством, которое включает в себя общественные места, зоны отдыха для социального общения и времяпрепровождения на прибрежной территории [6]. Это обусловлено ключевыми требованиями посетителей и отражено в спектре услуг, таких как путешествия, просвещение, культура, банковские услуги, офисы, общественное питание, покупки, досуг и др. [7]. Таким образом, вокзал водного транспорта представляет собой многофункциональный комплекс – здание, вмещающее несколько программных компонентов.

Транспортная функция заключается в назначении здания как объекта транспортной инфраструктуры. Она включает в себя следующие блоки основных помещений:

- а) административные помещения;
- б) терминал – основной пассажирский блок; разделяется на паромный (городского и пригородного сообщения) и круизный (дальнего следования);

в) багажное отделение – состоит из багажного отделения, пункта приема и зала выдачи багажа, путей и зон транспортировки багажа.

Общественная функция вокзала включает следующие блоки:

а) рекреация – зона отдыха и прогулок, может быть устроена при помощи галерей, лоджий, обзорных площадок, эксплуатируемой кровли, панорамного остекления, прогулочной территории;

б) коммерческие помещения – блок, призванный повышать привлекательность и проходимость здания, включает разное наполнение: рестораны, торговые точки, гостиницу, офисы, музей, кинотеатр, пространство для социального общения.

2. Композиционно-образный (художественно-эстетический) аспект. Восприятие объекта вокзала связано главным образом с расположением объекта в пространстве.

Водный вокзал – это переходное пространство, которое является входом в город [8], выполняет функцию презентации населенного пункта. В связи с этим объект должен быть акцентом и доминантой на набережной для возможности восприятия с дальнего расстояния, которую обуславливают четкость контура и выразительность здания, его объем и масштаб. Другим свойством переходного пространства является сложная взаимосвязь с окружением: водный вокзал располагается на границе таких противоположностей, как город – акватория, техника – природа, статика – динамика. Новые архитектурные формы рождаются из современных взаимоотношений города и воды. Архитектурный замысел терминала часто представляет собой ассоциативную форму, присущую водной стихии, одетой в обличье города, например, устрица (морской терминал в Салерно, Италия) или каскад волн (терминал в порту Гаосюн, Тайвань). Водные вокзалы также проектируются в образе лайнера (паромный терминал Värtaterminalen, Стокгольм, Швеция; речной вокзал в Ростове-на-Дону (1977 г., не функционирует по назначению), Химкинский речной вокзал). Встречаются и более оригинальные ассоциативные формы, например, лента (круизный терминал в порту Лейшойнш, Португалия).

При проектировании речного вокзала особое внимание следует уделить уровням восприятия объекта. Объекту характерен типичный для городской среды уровень близкого восприятия с прилегающей территории и участка объекта, при котором воспринимается фасад со стороны улицы и детали. Кроме того, объекту характерен уровень дальнего восприятия, свойственный объектам прибрежной архитектуры, данное восприятие осуществляется с противоположного берега и обращено на фасад со стороны воды. И специфичный для водного терминала уровень восприятия – динамичное восприятие, которое заключается в динамичном приближении к объекту на судне, при котором воспринимается перспективное изменение объема в плавном движении. Анализ видов восприятия объекта приводит к требованию проработки всех фасадов и деталей с учетом точек восприятия, а также созданию выразительного динамичного объема.

Выбирать участок для сооружения речного вокзала рекомендуется, как правило, со стороны наиболее застроенных районов города, с обеспечением его относительной равноудаленности по отношению к основным функцио-

нальным зонам города и примыкающему к нему району города. Водный вокзал всегда является частью транспортного узла, осуществляющего перевозку пассажиров разными видами транспорта (речные суда, автотранспорт, железнодорожный транспорт).

В генеральном плане должно быть обеспечено единство технологического и архитектурного решения комплекса зданий и сооружений вокзала, а также привокзальной площади и перрона. Технологическая схема терминала включает в себя оборудование для посадки и высадки пассажиров, погрузки и выгрузки багажа, учитывает пассажироместимость и организацию движения. Вместимость здания зависит от месторасположения объекта в речной системе. В зависимости от длины причала и возможности двух- или односторонней загрузки рассчитывается протяженность здания. Площадки для размещения автотранспорта, подъездные пути, пути взаимодействия пассажирских перевозок играют значимую роль в планировочном решении территории и объекта.

Расположение объекта определяется в зависимости от конфигурации участка берега и необходимого числа причалов [9]. Здания располагают перпендикулярно берегу (зарубежные аналоги) либо протяженно вдоль берега (речной вокзал в Самаре, 1971 г.). Оптимальным следует считать участок берега, имеющий выступающий или вогнутый контур береговой линии. В случае, если участок имеет недостаточную протяженность для размещения причалов, может осуществляться засыпка новой территории (морской терминал в Салерно, паромный терминал Värtaterminalen, «Морской фасад» в Санкт-Петербурге).

Строительство речного вокзала имеет специфические особенности условий проектирования и строительства, такие как сезонность навигации (6–8 мес.) и периодическая нестабильность условий пойменных территорий (паводки и пр.) [10]. Проектирование проводится с учетом берегового рельефа, особенностей окружающей застройки [11] и сложных грунтовых условий, от чего зависит устройство цокольных и подвальных этажей, а также технология возведения здания.

В планировочном решении в основном применяется компактная композиционная схема, при которой вестибюль – главное коммуникационное ядро. В зависимости от расположения ядра различаются схемы с его центральным и периметральным размещением. При центральном размещении ядра вестибюль находится в центре и имеет круговое расположение других помещений (круизный терминал в порту Лейшойнш) либо линейно направленное движение потоков из центра наружу (терминал порта Гаосюна). Вестибюль в объектах с периметральным размещением ядра смещается к наружным ограждающим конструкциям (Химкинский и Калининский речные вокзалы, морской терминал в Салерно, паромный терминал Värtaterminalen). Пространство основных помещений должно быть гибким (с минимальным количеством опор и несущих стен), обеспечивать беспрепятственную организацию потоков движения пассажиров и давать возможность вариативного использования помещений в ненавигационный период.

Терминал должен быть технически оборудован для удобства пассажиров. Основные пассажирские помещения: многофункциональный вестибюль, зал ожидания, кассы билетные и багажные (в вестибюле или кассовом зале),

офисы продажи круизов (туристическое агентство), справочное бюро, зона регистрации, зона досмотра, зона контроля, зона посадки и высадки, комнаты для пассажиров с детьми, камеры хранения ручной клади.

Различается вертикальное и горизонтальное зонирование функциональных блоков. Вертикальное зонирование подразумевает распределение функций по этажам, при обособленной транспортной направленности: нижние уровни – зона багажа, над ними – пассажирские помещения, верхние – администрация (паромный терминал Värtaterminalen); при расширенных общественных функциях: нижние этажи – терминал, общественный центр, верхние – офисы (терминал порта Гаосюн). Горизонтальное зонирование, в свою очередь, подразумевает рассредоточение по территории отдельных объектов, представляющих определенную функцию («Морской фасад» в Санкт-Петербурге).

Процесс проектирования включает разделение людских потоков на пассажирские, городские и обслуживающие, для каждого из которых необходимо организовать собственные пути движения. Пассажиропотоки разделяются на потоки дальнего и ближнего следования, отправления и прибытия. По пути движения отправляющихся пассажиропотоков выстраиваются помещения для длительного ожидания и посадки, а для прибывших – высадка и транзитные пути для выхода в город. Городские потоки должны быть направлены в прогулочную и общественную зоны и рассчитаны на длительное пребывание на территории. Обслуживающие потоки не должны пересекаться с другими, они представляют собой кратчайшее расстояние для осуществления деятельности персонала. Для оптимизации путей движения проводят моделирование очереди пассажиров и операций терминала, по пути следования размещают навигационные и информационные стенды для ориентирования и эвакуации в случае возникновения террористической угрозы или при стихийном бедствии [12].

Основные материалы современного строительства: бетон, стекло, металл, пластик. При выборе отделочных материалов следует учитывать местные традиции и производство, особенности отделки зданий окружающей застройки.

Конструктивные решения современных терминалов включают применение новых технологий. Например, в терминале порта Гаюсона здание имеет сложную конструктивную схему, основанную на технологии компьютерного моделирования, с применением металлоконструкций и остекления. Другой пример использования современных технологий – морской терминал в Солерно, построенный по проекту Захи Хадид. Здание представляет собой объект оболочковой структуры, сконструированной на основе программных расчетов. В проектировании вокзалов водного транспорта также могут быть применены экотехнологии, геотермальная система отопления и охлаждения здания, энергоэффективные технологии (паромный терминал Värtaterminalen).

Важным аспектом проектирования является освещение. Оно формирует образ вокзала в ночное время и указывает направление движения для пассажиров. Формируется при помощи световых стаканов («Морской фасад» в Санкт-Петербурге, терминал порта Гаосюн), диодной точечной или ленточной подсветки фасада (морской терминал в Солерно).

Особенность современных транспортных сооружений – использование медиатехнологий в досуговой деятельности пассажиров. Таким образом, со-

временный вокзал при помощи медиаустройств должен предоставлять пассажирам сведения, необходимые для осуществления поездки, информацию об услугах, которые можно получить дополнительно, и давать экскурсионную справку для прибывших пассажиров.

Региональные особенности объекта нередко ярко отражаются во внешнем облике терминала и демонстрируют фортификационную функцию сооружения как защиту от воздействия агрессивной окружающей среды. Агрессивным фактором в южных регионах выступает жаркий климат, в связи с чем необходимо создавать солнцезащиту при помощи навесов, а также разрабатывать систему сквозного проветривания и охлаждения помещений. Например, в морском терминале в Салерно конструктивные элементы здания объединены общей конструкцией защитной оболочки, укрывающей внутренние помещения от солнца и снижающей температуру в помещениях, а плавные изгибы кровли и волнообразный силуэт здания лучше воспринимаются человеком. Также фортификационные функции сооружения отражены в круизном терминале в порту Лейшойнш: массивные наклонные стены слепого фасада защищают здание не только от палящего солнца, но и от морских волн.

В целом разработку архитектурно-планировочной организации терминального комплекса можно назвать сложной инженерной, архитектурной и градостроительной задачей. Результаты исследования оценены с точки зрения применимости изученных принципов проектирования при разработке проекта речного вокзала для Ростова-на-Дону и учтены при разработке собственной концепции.

Предпроектный анализ условий проектирования. В Ростове-на-Дону ранее были построены речной вокзал, спроектированный архитекторами А.В. Иннокковым и Л.Л. Берберовым в 1939 г. (в 1978 г. демонтирован), и речной вокзал, построенный по проекту архитекторов В. Кубасова и Ю. Алексева в 1977 г. Однако в настоящее время объект не функционирует по назначению, поскольку не удовлетворяет современным требованиям.

Проектом предполагается продолжение активного освоения левобережных территорий с развитием существующей набережной на левом берегу Дона и размещением речного терминального комплекса (рис. 1).

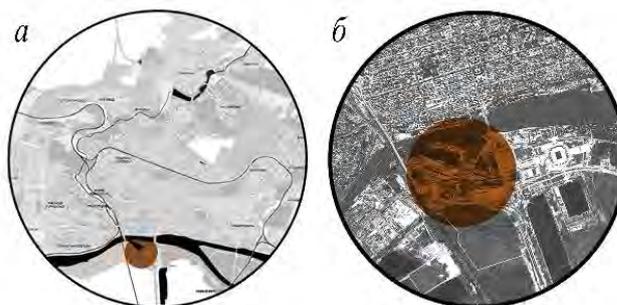


Рис. 1. Ситуационный план. Выполнено авторами на основе Яндекс Карты:
а – размещение на плане города; б – размещение на плане района

Fig. 1. Site layout plan:
a – location on the city plan; b – location on the region plan

Размещение на левом берегу обусловлено складывающейся рекреационной направленностью предприятий этой береговой зоны (гостиницы, рестораны, прогулочные зоны). На сегодняшний день левый берег Дона находится в процессе комплексной реконструкции, архитектурная среда включает новую общегородскую доминанту – футбольный стадион на 45 тыс. зрителей и развивающуюся пешеходно-парковую зону [13].

Объект проектирования предполагает развитие и расширение рекреационных и панорамных функций территории, повышение ее привлекательности для горожан и города для туристов.

Участок проектирования примыкает к акватории причала района Ростовский ковш и размещается между двумя крупными транспортными развязками (мостом на проспекте Сиверса и Ворошиловским мостом), что создает оптимальные условия проектирования объекта речной транспортной инфраструктуры (рис. 2). На участке организованы проезды, по прилегающей улице проходят маршруты общественного транспорта.

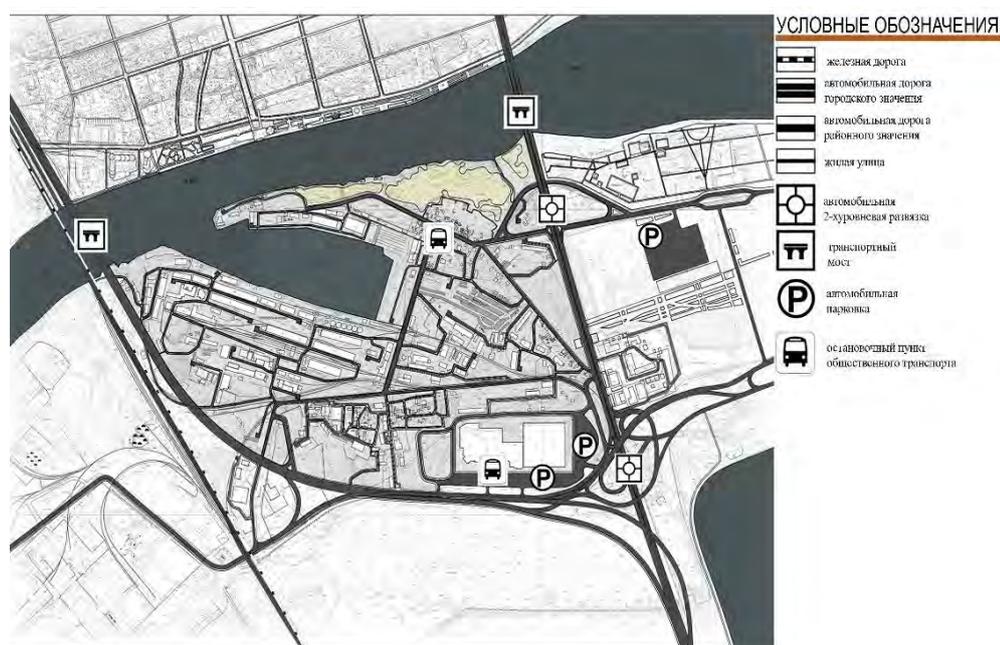


Рис. 2. Транспортная схема прилегающей территории. Выполнено авторами на основе материалов из методфонда кафедры АЖОЗ ААИ ЮФУ

Fig. 2. Traffic flow diagram of the adjacent territory. Developed by the authors using materials from the department methodology fund

В пешеходной доступности от объекта находится стадион «Ростов-Арена» и торгово-развлекательный комплекс «Мегамаг». Визуальные доминанты окружающей застройки – бизнес-центр «Пять морей», существующий речной вокзал (не функционирует по назначению), бизнес-центр «Риверсайд-Дон» (рис. 3).



Рис. 3. Взаимосвязь объекта с окружающей застройкой¹
 Fig. 3. Interconnection of the object with surrounding development

Предпроектный анализ участка проектирования. Объект предлагается разместить на участке площадью 11,4 га.

В данный момент на территории проектирования располагаются производственные, транспортные грузовые и складские предприятия, территория имеет большой процент озеленения. На участке находится здание яхт-клуба и площадка для автокинотеатра (рис. 4). Территория имеет причалы и особенность береговой линии (вогнутый участок Ковша), что создает оптимальные условия и акцентирует положение объекта.

Существующее планирование изолирует участок и ограничивает доступ к воде вдоль береговой линии, поскольку причальный фронт относится к закрытой охраняемой территории предприятия «Красный порт» (рис. 5). Авторы считают, что промышленная зона должна быть перенесена, а территория используется как новый общественный городской центр туризма и рекреации, поскольку она имеет большой рекреационный потенциал и живописные виды (рис. 6).

¹ Коллаж выполнен авторами с использованием следующих источников: речной вокзал (1977) URL: https://experience.tripster.ru/experience/21507/?utm_source=travel-kurort&utm_campaign=affiliates&utm_medium=widget&utm_content=Rostov-on-Don; БД «Риверсайд-Дон» URL: <https://energocet-r.ru/новости/ooo-энергосеть-р-продолжает-выполн/>; ТРК «Мегамаг» URL: https://bagra.ru/?city=rostov_na_donu&razdel=torgovye-komplekсы--specmagaziny&cat=torgovo-razvlekatelnye-centry--molly&organizaciya=megamag-torgovo-razvlekatelnyy-kompleks-5233099; стадион «Ростов-Арена» URL: https://rostov-gorod.ru/press_room/news/8917/28840/?special_version=Y; БЦ «Пять морей» URL: <https://bangkokbook.ru/galereya/pyat-morej-rostov-na-donu-96-foto.html>; речной вокзальный комплекс – изображение авторов.

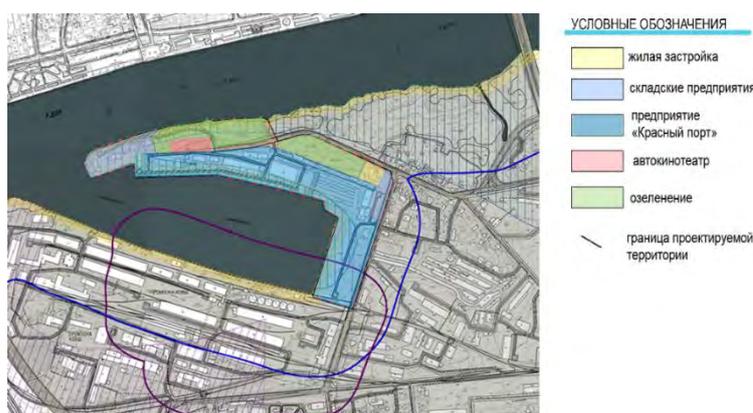


Рис. 4. Функциональная схема существующего использования территории. Разработано авторами на основе материалов из методфонда кафедры АЖОЗ ААИ ЮФУ

Fig. 4. Functional diagram of the existing territory use. Developed by the authors using materials from the department methodology fund



Рис. 5. Территория предприятия «Красный порт». Фото авторов:
а – центральный вход; б – вид с прилегающей дороги

Fig. 5. Industrial site. Photographs by the authors:

а – central entrance; б – view from the adjacent road

Рис. 6. Левобережная роща.
Фото авторов

Fig. 6. Left-bank grove. Photographs by the authors

Рельеф территории достаточно спокойный, имеет незначительные перепады высот. Берег откосный, приподнятый над уровнем воды. Грунты сложные, глинистые, а уровень подземных вод достаточно высокий, что ограничивает возможность устройства подземных этажей.

Обоснование архитектурной концепции объекта проектирования.

В проекте заложена цель изменить смысл транспортного объекта и его восприятие. Для лучшего понимания мнения посетителей были проведены исследования среди пассажиров круизных судов в порту Ираклион (Крит, Греция) путем факторного анализа на основе анкетирования (164 заполненных анкеты), личного опыта общения с пассажирами, а также анализа данных, предоставленных судоходными агентами.

Цель исследований заключалась в изучении мотивации туристов, их удовлетворенности поездкой и вероятности повторного круизного путешествия. В результате исследований было установлено, что основными мотивами являются «исследование» и «бегство», также значимым фактором в формировании общего уровня удовлетворенности являются «продукт и услуги» [14]. Таким образом, помимо того, что порт должен обслуживать судно, он

должен предоставлять пассажирам дополнительные виды деятельности и услуги. Следовательно, появляется необходимость устройства транспортного процесса, как составляющей туристического продукта, посредством разработки развлекательных программ и визуального опыта [15]. Таким образом, концепция подразумевает создание объекта, выполняющего транспортную функцию и предлагающего посетителям простор для исследования объекта как туристического места с рекреационной целью.

Проектом предлагается создание кластера, включающего в себя терминал и общественные объекты, объединенные посредством общего смысла – релакс и расслабление. Эти идеи подчеркиваются в плавных формах внешнего облика объекта, который представлен скатом, выплывшим на берег погреться под южным солнцем. Форма тела ската имеет обтекаемый и плавный контур, что располагает посетителя к плавному размеренному движению и расслабляющей психоэмоциональной обстановке. Скаты встречаются по всему земному шару, и этот факт несет в себе еще одну смысловую нагрузку: скат символизирует возможность быть где угодно, поскольку наша страна имеет выходы речной сети через моря в крупнейшие океаны мира. Гигантский морской житель часто совершает прыжки из воды, паря над водными просторами. Наш объект воплощает идею ската, выпрыгнувшего из водного зеркала Большого Ростовского Ковша и застывшего в полете над участком суши.

Пространство внутри при этом также должно быть динамичным и успокаивающим, оно должно создать особую атмосферу, отличную от повседневной. Транспортная функция объекта, в данном случае, несет в себе определенную долю рекреационной. Территория комплекса должна привлекать туристов для длительного пребывания и вовлекать посетителей торгово-развлекательной зоны в круизные путешествия.

Ассоциативный образ ската также наводит на мысль, что все скаты способны вырабатывать ток. Это дает понять, что здание должно быть энергоэффективным и автономным от внешних источников энергии, поскольку вырабатывает собственные энергетические ресурсы. Поскольку в южных районах страны достаточно большое количество солнечной энергии, энергоресурсы объект может получать при размещении на крыше здания солнечных батарей.

Функциональная модель объекта представляет собой терминал с расширенными общественными функциями: гостиница, торговые точки, рестораны, парковая зона. Гостиница предоставляет возможность комфортного отдыха как пассажирам круизных поездок, прибывшим в город с туристической целью, так и посетителям спортивной арены, прибывшим на матч, а также горожанам. Торговые точки и рестораны делают здание посещаемым и функциональным не только в период навигации, но и в течение всего года. Парковая зона обеспечивает привлекательность объекта как для пассажиров, так и для городских жителей в качестве места отдыха и рекреации. Также проектом предполагается реновация яхт-клуба и строительство ресторана на территории участка во второй очереди строительства.

Структура объекта предполагает 3 отдельных функциональных объема: терминал, торговый центр и гостиница, объединенные навесом, как мантией, в один объём, с отдельно стоящим пригородным вокзалом. Это позволяет со-

здать максимально комфортные условия посещения общественных мест при учете повышенных требований безопасности пассажирского здания (рис. 7).

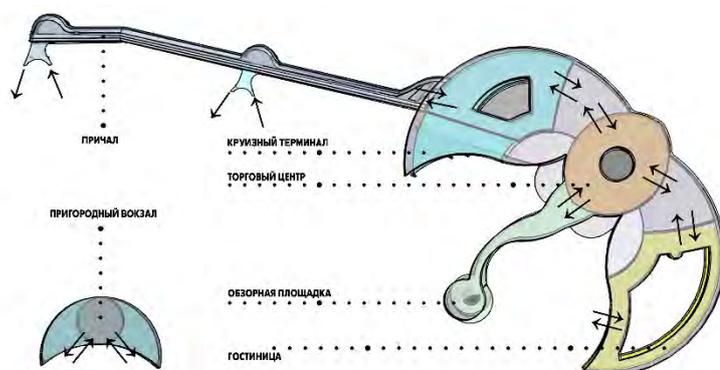


Рис. 7. Функциональная схема комплекса. Выполнено авторами
Fig. 7. Functional scheme of the complex. Developed by the authors

Планировочное решение терминала отражает основные принципы планировки, выведенные при анализе: компактная композиционная схема с главным коммуникационным ядром – вестибюлем. Вестибюль терминала имеет увеличенную площадь и вмещает в себя кассы, зоны ожидания и контроля, остальные помещения имеют периметральное размещение с сохранением входной зоны и панорамных видов. Вестибюль проектируется с минимальным количеством опор для возможности вариативного использования помещения в зимний период – пространство трансформируется в Экспоцентр с ярмарочной зоной, а также зоной «зимнего вокзала» для ледовой переправы речных судов на воздушных подушках. При проектировании применяется принцип разделения потоков движения. Пригородный вокзал проектируется в отдельном стоящем павильоне с размещением касс, зон ожидания в помещении и на открытом воздухе, а также зоной летнего кафе.

Торговый центр представлен комплексом торговых точек, зонами коворкинга, экспо-выставок, а также зоной социального общения. В центральном холле предполагается разместить атриум с зенитным фонарем и посадкой зеленых насаждений. Торговый центр имеет два входа со стороны центрального подъезда и один со стороны воды, также устроен выход на втором этаже на обзорную площадку на воде.

Гостиница комплекса представлена не только номерным фондом, но также и широким спектром зон отдыха как для постояльцев, так и для гостей комплекса: ресторан с панорамным видом, комплекс бассейнов с разноуровневыми террасами, досугово-развлекательные помещения с бильярдной и зоной настольного тенниса, а также дополнительные пространства для удобства постояльцев (спортзал и помещение для коворкинга и деловых встреч). Обширный внутренний двор гостиницы позволяет изолироваться от внешней городской среды и отдохнуть. Номера гостиницы имеют панорамное остекление и выходы на балконы для обеспечения обзора на реку и донские степи.

В интерьерах объектов кластера создаются плавные перетекающие пространства с большим количеством остекления и рекреационных объектов. В проекте используется музеефикация пространств и проработка сценариев интерьера. В основных помещениях объектов комплекса проектируются элементы навигации и средового дизайна, настраивающие посетителей на отдых и развлечения на территории комплекса и акцентирующие внимание на региональных особенностях и историко-культурных аспектах региона.

Большая озелененная территория участка, по проекту, выполняет функции прогулочной зоны комплекса. Акватория перед вокзалом может быть использована для проведения зрелищных мероприятий на воде с участием водной техники.

Таким образом, современный речной вокзал предлагается разместить в составе полифункционального комплекса, который не только отвечает функциональным потребностям горожан и гостей города, но и имеет рекреационную составляющую в широком смысле. Форма объекта обусловлена и его функциональным назначением, и смысловым наполнением (рис. 8).

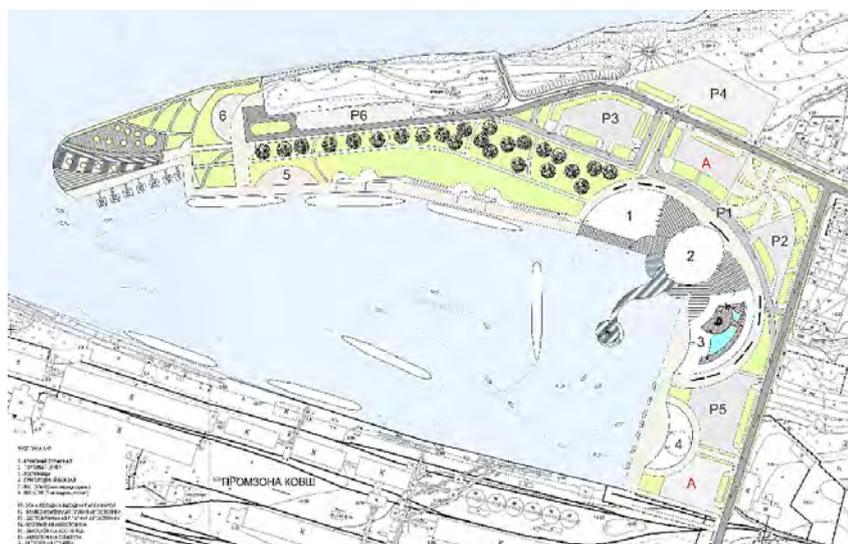


Рис. 8. Генплан. Рисунок выполнен авторами:

1 – круизный терминал; 2 – торговый центр; 3 – гостиница; 4 – пригородный вокзал; 5 – ресторан (2-я очередь строительства); 6 – яхт-клуб (2-я очередь строительства); P1 – зона подъезда-выезда; P2 – кратковременная платная стоянка для посетителей; P3 – долговременная платная стоянка для посетителей и пассажиров; P4 – долговременная бесплатная стоянка; P5 – гостевая стоянка; P6 – стоянка посетителей яхт-клуба и ресторана 2-й очереди строительства; А – остановочный пункт общественного транспорта

Fig. 8. Master plan. Developed by the authors:

1 – cruise terminal; 2 – shopping center; 3 – hotel; 4 – suburban station; 5 – restaurant (2nd stage of construction); 6 – yacht club (2nd stage of construction); P1 – access/exit road; P2 – short-term paid parking for visitors; P3 – long-term paid parking for visitors and passengers; P4 – long-term free parking; P5 – guest parking; P6 – parking for visitors to the yacht club and restaurant of the 2nd stage of construction; A – public transport stopping point

Заключение

Разработанная архитектурная концепция (проект по формированию транспортно-рекреационного кластера) продиктована необходимостью обеспечить возможность развития рекреационной инфраструктуры города, создать прецедент (алгоритм) для устойчивого развития всей левобережной зоны Дона.

Новизна проектного предложения состоит:

– во внедрении развитой рекреационной функции в сооружение транспортной инфраструктуры и изменении отношения к объекту с направленного эпизодического взаимодействия на часто посещаемое место отдыха;

– в создании кластера, состоящего из объектов, экологически чистых и энергонезависимых от внешней энергогенерации за счет превращения внешней оболочки здания в аккумулятор солнечной энергии;

– в формировании ансамбля с неповторимым архитектурным обликом, гармонично вписывающимся в исторический контекст и навеянный водной тематикой (рис. 9).



Рис. 9. Визуализация внешнего облика здания. Изображение выполнено авторами²
Fig. 9. External view of the building. Photograph by the authors

Таким образом, можно заключить, что функционально-планировочное решение речного вокзала проектируется с учетом градостроительных, функционально-технологических, социально-экономических, экологических и экономических факторов, оказывающих влияние на архитектурно-пространственные решения водных вокзалов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *McCarthy John Paul, Romein Arie*. Cruise Passenger Terminals, Spatial Planning and Regeneration: The Cases of Amsterdam and Rotterdam // *European Planning Studies*. 2012. V. 20. № 12. P. 2033–2052.
2. *Немухина И.М.* Архитектурная реновация прибрежных территорий города Ростова-на-Дону // *Образовательная система: вопросы теории и практики*. 2019. С. 402–405.

² В качестве фона использованы: URL: https://s00.yaplakal.com/pics/pics_original/6/3/8/531836.jpg; https://vk.com/wall-193932243_10616

3. Пумбрасова Н.В., Дубова Е.О. Маломерный речной транспорт в городских пассажирских перевозках как перспективное направление решения проблем городского общественного транспорта // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2013. № 35. С. 299–303.
4. Шахова М.Е. Объекты водной рекреации, туризма и спорта в прибрежных зонах городов // Интернет-вестник ВолгГАСУ. 2013. № 1 (25). С. 6. // URL: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=1161> (дата обращения: 07.10.2023).
5. Корепанова Н.С., Ившина Л.И. Популяризация речных вокзалов и насыщение их структуры новыми функциями // Модернизационный вектор развития науки в XXI веке: традиции, новации, преемственность : сб. научных статей конференции, 30 апреля 2016 г. Санкт-Петербург : НОУ ДПО «Санкт-Петербургский институт проектного менеджмента», 2016. С. 9–11.
6. Asma Al Abhamy. Marina terminal // A Dissertation Submitted to the Department of Architectural Engineering at Ajman University of Science and Technology. 2015. URL: https://issuu.com/asmaala36amy/docs/marina_terminal_thesis (дата обращения: 07.10.2023).
7. Kapros Seraphim, Roumboutsos Athena, Morfoulaki Maria, Papanikolaou Anestis. Promotion of passenger intermodality and users' requirements for service performance at terminals and passengers' interchange poles // Association For European Transport and Contributors. 2011. URL: <https://aetransport.org/past-etc-papers/conference-papers-pre-2012/conference-papers-2011?abstractId=3673&state=b> (дата обращения: 05.06.2023).
8. Мельников Е. Владимир Кубасов // Архитектура СССР. 1972. № 2. С. 40–48.
9. Гельфонд А.Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений. Москва : Архитектура-С, 2006. 280 с.
10. Ионов Б.В. Архитектура речных вокзалов и павильонов. Москва : Государственное изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1951. 105 с.
11. Хигер Р.Я. Архитектура речных вокзалов. Москва : Государственное архитектурное изд-во Академии архитектуры СССР, 1940. 55 с.
12. Krile S., Maiorov N., Fetisov V. Forecasting the operational activities of the sea passenger terminal using intelligent technologies // Transport problems. 2018. V. 13. I. 1. P. 27–36.
13. Махаев В.Б., Кудашкина К.О., Копылова Ю.А. Обследование открытых общественных пространств города Ростов-на-Дону // XLVI Огарёвские чтения : материалы научной конференции: В 3 частях. Ч. 1. Саранск : Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2018. С. 178–184.
14. Andriotis Konstantinos, Agiomirgianakis George. Cruise visitors' experience in a Mediterranean port of call // Internation Journal of Tourism Reserch. 2010. V. 12. I. 4. P. 390–404.
15. Jugović ALEN, Mezak Vlado, Nikolić Gordana. Organization of Maritime Passenger Ports // Pomorski zbornik. 2006. № 44. P. 93–104.

REFERENCES

1. McCarthy John Paul, Romein Arie. Cruise passenger terminals, spatial planning and regeneration: The cases of Amsterdam and Rotterdam. *European Planning Studies*. 2012; 20 (12): 2033–2052.
2. Nemukhina I.M. Architectural renovation of coastal territories in Rostov-on-Don. *Obrazovatel'naya sistema: voprosy teorii i praktiki*. 2019. 402–405 p. (In Russian)
3. Pumbasova N.V., Dubova E.O. Small-sized river transport in urban passenger transportation as a promising direction of urban public transport. *Vestnik Volzhskoi gosudarstvennoi akademii vodnogo transporta*. 2013. 35: 299–303. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/malomer-nyy-rechnoy-transport-v-gorodskih-passazhirskih-perevozkah-kak-perspektivnoe-napravlenie-resheniya-problem-gorodskogo-obshchestvennogo-transporta> (accessed October 7, 2023). (In Russian)
4. Shakhova M.E. Objects of water recreation, tourism and sports in coastal zones of cities. *Internet-vestnik VolgGASU*. 2013. 1 (25): 6. Available: <http://vestnik.vgasu.ru/?source=4&articleno=1161> (accessed October 7, 2023). (In Russian)
5. Korepanova N.S., Ivshina L.I. Popularization of river stations and saturation of their structure with new functions. In: *Proc. Sci. Conf. 'Modernization Vector of Science Development in the 21st Century: Traditions, Innovations, Continuity'*, 2016. 9–11 p. (In Russian)

6. *Asma Al Abhamy*. Marina terminal. A dissertation submitted to the Department of Architectural Engineering at Ajman University of Science and Technology. 2015. Available: https://issuu.com/asmaala36amy/docs/marina_terminal_thesis (accessed October 7, 2023).
7. *Kapros Seraphim, Rouboutsos Athena, Morfoulaki Maria, Papanikolaou Anestis*. Promotion of passenger intermodality and users' requirements for service performance at terminals and passengers' interchange poles. Association for European Transport and Contributors. 2011. Available: <https://aetransport.org/past-etc-papers/conference-papers-pre-2012/conference-papers-2011?abstractId=3673&state=b> (accessed May 6, 2023).
8. *Melnikov E.* Vladimir Kubasov. Arkhitektura SSSR. Moscow: Stroyizdat, 1972; (2): 40–48. (In Russian)
9. *Gelfond A.L.* Architectural design of public buildings and structures. Moscow: Architecture-S, 2006. 280 p. (In Russian)
10. *Ionov B.V.* Architecture of river stations and pavilions. Moscow: Stroiizdat, 1951. 105 p. (In Russian)
11. *Higer R.Ya.* Architecture of river stations. Moscow, 1940. 55 p. (In Russian)
12. *Krile S., Maiorov N., Fetisov V.* Forecasting operational activities of sea passenger terminal using intelligent technologies. *Transport Problems*. 2018. 13 (1): 27–36.
13. *Makhaev V.B., Kudashkina K.O., Kopylova Yu.A.* Survey of open public spaces of the city of Rostov-on-Don. In: *Proc. Int. Conf. 'Ogaryov Readings'*. 2018. 178–184 p. (In Russian)
14. *Andriotis Konstantinos, Agiomirgianakis George*. Cruise visitors' experience in a Mediterranean port of call. *International Journal of Tourism Research*. 2010. 12 (4): 390–404.
15. *Jugović ALEN, Mezak Vlado, Nikolić Gordana*. Organization of Mari-time passenger ports. *Pomorski zbornik*. 2006; (44): 93–104.

Сведения об авторах

Жукова Елизавета Сергеевна, магистр, Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39, elizaveta_zhukovaa@mail.ru

Молчанов Виктор Михайлович, канд. архитектуры, профессор, зав. кафедрой, Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39, vimolchanov@yandex.ru

Authors Details

Elizaveta S. Zhukova, Graduate Student, Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University, 9, Budennovskii Ave., 344082, Rostov-on-Don, Russia, elizaveta_zhukovaa@mail.ru

Viktor M. Molchanov, PhD, Professor, Head of the Department, Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University, 9, Budennovskii Ave., 344082, Rostov-on-Don, Russia, vimolchanov@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 21.06.2023
Одобрена после рецензирования 24.07.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 21.06.2023
Approved after review 24.07.2023
Accepted for publication 21.09.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 84–94.

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; 25 (5): 84–94.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 721

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-84-94

EDN: TFEVAN

ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНАЯ СЕТЬ КАК ОСНОВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ЗАДАННОГО СТИЛЯ ПО ИХ ТЕКСТОВОМУ ОПИСАНИЮ

Петр Андреевич Пылов¹, Анна Владимировна Дягилева¹,
Евгения Александровна Николаева¹, Роман Вячеславович Майтак¹,
Татьяна Анатольевна Шалыгина²

¹Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия

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

Аннотация. Актуальность тематики основывается на растущих темпах урбанизации и цифровизации современного общества: чтобы идти в ногу со временем, архитектура градостроительства должна отвечать не только новейшим эстетическим требованиям, но и критерию скорости разработки проектов будущих зданий. Очевидно, что сократить время реализации проектов новых зданий возможно на основе внедрения современных информационных технологий в процесс разработки архитектурного концепта.

Основной целью научной статьи является реализация модели машинного представления генерации изображений заданных пользователем архитектурных объектов выбранного стиля.

Одной из вариаций подобной информационно-интеллектуальной системы является авторская модель машинного обучения, основанная на генеративно-состязательных нейронных сетях, которые открывают возможность генерации изображений здания выбранного архитектурного стиля на основе текстового описания пользователя.

Вывод: рассматриваемая автоматизирующая система позволит существенно сократить временные, человеческие и денежные ресурсы, требуемые для разработки проекта будущего здания.

Ключевые слова: искусственный интеллект, прикладное машинное обучение, градостроительство, архитектура зданий

Для цитирования: Пылов П.А., Дягилева А.В., Николаева Е.А., Майтак Р.В., Шалыгина Т.А. Генеративно-состязательная сеть как основа интеллектуальной модели формирования изображений архитектурных объектов заданного стиля по их текстовому описанию // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 84–94. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-84-94. EDN: TFEVAN

ORIGINAL ARTICLE

GENERATIVE ADVERSARIAL NETWORK AS A BASIS FOR INTELLIGENT MODEL OF IMAGING ARCHITECTURAL OBJECTS BASED ON TEXTUAL DESCRIPTION

Petr A. Pylov¹, Anna V. Dyagileva¹, Evgenija A. Nikolaeva¹,
Roman V. Maitak¹, Tat'jana A. Shalygina²

¹Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia

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

Abstract. Due to the high technology integrated into a person's daily life (smart house), this topic is relevant. One of elements of generative adversarial network is robot vacuum cleaners of various surface. Difficulties caused by this technique largely depend on the environment in which it locates.

Purpose: The development of the convolutional neural network concept allowing real-time distinguishing between the building interior and exterior.

Practical implication: The proposed intelligent system can distinguish between the building interior and exterior, that will considerably improve the firmware performance of modern technology in both the domestic and industrial segments.

Keywords: artificial intelligence, applied machine learning, urban planning, building architecture

For citation: Pylov P.A., Dyagileva A.V., Nikolaeva E.A., Maitak R.V., Shalygina T.A. Generative adversarial network as a basis for intelligent model of imaging architectural objects based on textual description. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 84–94. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-84-94. EDN: TFEVAN

Урбанизация общества закономерно вызывает увеличение темпов строительства новых зданий: жилых комплексов, деловых районов и других элементов инфраструктуры, свойственных городской среде. Городские жители ежедневно сталкиваются с этими элементами инфраструктуры, но лишь немногие задумываются над количеством ресурсов, необходимых для разработки, например, одного жилого комплекса на выделенном участке земли.

Между тем разработка любой атомарной части городской архитектуры сопровождается изучением как физических (тип грунта, близость водоемов и т. д.), так и инфраструктурных особенностей местности, на которой планируется застройка [1]. Даже эти критерии предъявляют высокие требования к ресурсам застройщика.

Кроме того, в крупных городах необходимо учитывать требования единообразия стиля застройки и/или гармоничного сочетания соседствующих комплексов друг с другом [2].

Соблюдение всех требований, предъявляемых к застройке, закономерно повышает период времени, необходимый для разработки проекта здания застройщиком. Сфокусировав внимание на данной функциональной связи, можно сделать логичный вывод: если определение физических и технологических критериев действительно требует высокой ответственности и всецелого участия инженеров, то формирование графического представления архитектурного сти-

ля является той творческой задачей, автоматизировать которую можно современными интеллектуальными алгоритмами [3].

Перед тем как приступить к непосредственной реализации модели машинного обучения, необходимо детерминировать входной и ожидаемый выходной результат функционирования алгоритма прикладного искусственного интеллекта. Ожидаемым выходным результатом является изображение, которое характеризует заданный архитектурный стиль здания.

В свою очередь, базовым входным информационным потоком интеллектуальной системы будет являться информация о том, что желает получить пользователь на изображении. Входную информацию удобнее всего представить для пользователя в виде текстового поля, т. к. естественный язык является универсальным инструментом кодирования требований к системе, единственный потенциальный недостаток которого – большой объем текстовых описаний для детальной обрисовки желаемого результата.

После определения всех необходимых потоков данных для реализации решения перейдем к разработке программного модуля интеллектуальной системы. Следует заметить, что основой решения будут выступать генеративно-сопоставительные нейронные сети, поскольку они позволяют итеративно совершенствовать полученную базовую точность в процессе своего дальнейшего функционирования [4].

Логика работы генеративно-сопоставительных сетей в рамках рассматриваемой задачи может быть представлена в виде схемы (рис. 1).

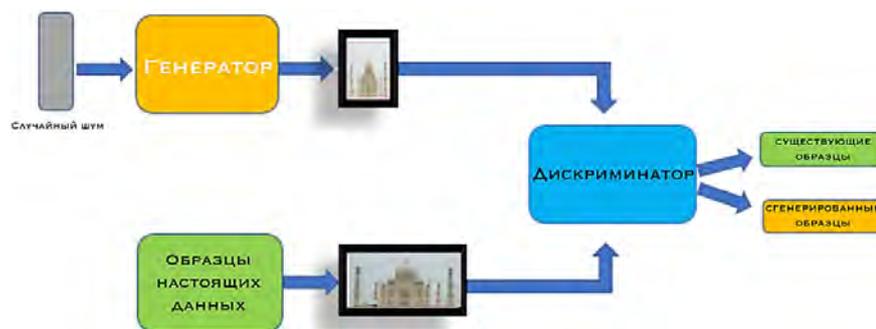


Рис. 1. Логика функционирования генеративно-сопоставительных сетей, на основе которых работает интеллектуальная система генерации изображений зданий архитектурного стиля. Создано с помощью программного продукта Adobe Photoshop 2022

Fig. 1. The logic of generative adversarial network functioning used for imaging the building architecture. The image is created in Adobe Photoshop 2022

Согласно логике функционирования генеративно-сопоставительной сети (рис. 1), интеллектуальная модель получает в качестве обучающей выборки данных известные изображения, которым присвоена метка целевого класса архитектурного стиля (образцы настоящих данных/существующие образцы). В процессе обучения модель машинного обучения агрегирует наиболее частные особенности и закономерности каждого архитектурного стиля [5].

После того, как модель прикладного искусственного интеллекта будет обучена, наступает процесс её прикладного применения. На основе получен-

ного текстового запроса визуализации конкретного архитектурного стиля здания (или сложного смешения архитектурных стилей в одном общем здании) интеллектуальная система старается «понять» смысл того, что передал пользователь, и реконструирует изображение на основе уже известных общих закономерностей и специфических особенностей архитектурных стилей [6].

В подавляющем большинстве случаев изображение будет именно генерироваться, а не восстанавливаться из обучающей выборки, т. к. один и тот же архитектурный стиль может быть изображен интеллектуальной системой в разных ракурсах – при соответствующей формулировке запроса.

Генератор, находящийся в составе интеллектуальной системы, обеспечивает подбор такого изображения, которое будет наиболее полно соответствовать описанию текста, полученного от пользователя. Программная реализация модуля генератора (рис. 1) интеллектуальной модели представлена на рис. 2.

```
# Модель генератора интеллектуальной системы
class Generator(torch.nn.Module):
    def __init__(self, input_dim, label_dim, num_filters, output_dim):
        super(Generator, self).__init__()
        # Скрытые слои нейронной сети
        self.hidden_layer1 = torch.nn.Sequential()
        self.hidden_layer2 = torch.nn.Sequential()
        self.hidden_layer = torch.nn.Sequential()
        for i in range(len(num_filters)):
            if i == 0:
                input_deconv = torch.nn.ConvTranspose2d(input_dim, int(num_filters[i]/2), /
                                                         kernel_size=4, stride=1, padding=0)
                self.hidden_layer1.add_module('input_deconv', input_deconv)
                torch.nn.init.normal_(input_deconv.weight, mean=0.0, std=0.02)
                torch.nn.init.constant_(input_deconv.bias, 0.0)
                self.hidden_layer1.add_module('input_bn', torch.nn.BatchNorm2d(int(num_filters[i]/2)))
                self.hidden_layer1.add_module('input_act', torch.nn.ReLU())
                label_deconv = torch.nn.ConvTranspose2d(label_dim, int(num_filters[i]/2), /
                                                         kernel_size=4, stride=1, padding=0)
                self.hidden_layer2.add_module('label_deconv', label_deconv)
                torch.nn.init.normal_(label_deconv.weight, mean=0.0, std=0.02)
                torch.nn.init.constant_(label_deconv.bias, 0.0)
                self.hidden_layer2.add_module('label_bn', torch.nn.BatchNorm2d(int(num_filters[i]/2)))
                self.hidden_layer2.add_module('label_act', torch.nn.ReLU())
            else:
                deconv = torch.nn.ConvTranspose2d(num_filters[i-1], num_filters[i], /
                                                  kernel_size=4, stride=2, padding=1)
                deconv_name = 'deconv' + str(i + 1)
                self.hidden_layer.add_module(deconv_name, deconv)
                torch.nn.init.normal_(deconv.weight, mean=0.0, std=0.02)
                torch.nn.init.constant_(deconv.bias, 0.0)
                bn_name = 'bn' + str(i + 1)
                self.hidden_layer.add_module(bn_name, torch.nn.BatchNorm2d(num_filters[i]))
                act_name = 'act' + str(i + 1)
                self.hidden_layer.add_module(act_name, torch.nn.ReLU())

        # Выходной слой сети
        self.output_layer = torch.nn.Sequential()
        out = torch.nn.ConvTranspose2d(num_filters[i], output_dim, kernel_size=4, stride=2, padding=1)
        self.output_layer.add_module('out', out)
        torch.nn.init.normal_(out.weight, mean=0.0, std=0.02)
        torch.nn.init.constant_(out.bias, 0.0)
        self.output_layer.add_module('act', torch.nn.Tanh())
    def forward(self, z, c):
        h1 = self.hidden_layer1(z)
        h2 = self.hidden_layer2(c)
        x = torch.cat([h1, h2], 1)
        h = self.hidden_layer(x)
        out = self.output_layer(h)
        return out
```

Рис. 2. Программная реализация модуля генератора. Получено с помощью снимка экрана из среды разработки Jupyter Notebook

Fig. 2. Software implementation of the generator module. Screenshot from the Jupyter Notebook application

Генеративно-сопоставительная сеть выделяется среди всего класса моделей машинного обучения наличием дискриминатора, главной задачей которого является сопоставление полученного от генератора изображения с текстом, переданным пользователем. Авторская реализация дискриминатора представлена на рис. 3.

```
# Модель дискриминатора интеллектуальной системы
class Discriminator(torch.nn.Module):
    def __init__(self, input_dim, label_dim, num_filters, output_dim):
        super(Discriminator, self).__init__()
        self.hidden_layer1 = torch.nn.Sequential()
        self.hidden_layer2 = torch.nn.Sequential()
        self.hidden_layer = torch.nn.Sequential()
        for i in range(len(num_filters)):
            # Сверточные слои нейронной сети
            if i == 0:
                input_conv = torch.nn.Conv2d(input_dim, int(num_filters[i]/2), kernel_size=4, stride=2, padding=1)
                self.hidden_layer1.add_module('input_conv', input_conv)
                torch.nn.init.normal_(input_conv.weight, mean=0.0, std=0.02)
                torch.nn.init.constant_(input_conv.bias, 0.0)
                self.hidden_layer1.add_module('input_act', torch.nn.LeakyReLU(0.2))
                label_conv = torch.nn.Conv2d(label_dim, int(num_filters[i]/2), kernel_size=4, stride=2, padding=1)
                self.hidden_layer2.add_module('label_conv', label_conv)
                torch.nn.init.normal_(label_conv.weight, mean=0.0, std=0.02)
                torch.nn.init.constant_(label_conv.bias, 0.0)
                self.hidden_layer2.add_module('label_act', torch.nn.LeakyReLU(0.2))
            else:
                conv = torch.nn.Conv2d(num_filters[i-1], num_filters[i], kernel_size=4, stride=2, padding=1)
                conv_name = 'conv' + str(i + 1)
                self.hidden_layer.add_module(conv_name, conv)
                torch.nn.init.normal_(conv.weight, mean=0.0, std=0.02)
                torch.nn.init.constant_(conv.bias, 0.0)
                bn_name = 'bn' + str(i + 1)
                self.hidden_layer.add_module(bn_name, torch.nn.BatchNorm2d(num_filters[i]))
                act_name = 'act' + str(i + 1)
                self.hidden_layer.add_module(act_name, torch.nn.LeakyReLU(0.2))

        # Выходные слои нейронной сети
        self.output_layer = torch.nn.Sequential()
        # Сверточные слои нейронной сети
        out = torch.nn.Conv2d(num_filters[-1], output_dim, kernel_size=4, stride=1, padding=0)
        self.output_layer.add_module('out', out)
        torch.nn.init.normal_(out.weight, mean=0.0, std=0.02)
        torch.nn.init.constant_(out.bias, 0.0)
        self.output_layer.add_module('act', torch.nn.Sigmoid())
    def forward(self, z, c):
        h1 = self.hidden_layer1(z)
        h2 = self.hidden_layer2(c)
        x = torch.cat([h1, h2], 1)
        h = self.hidden_layer(x)
        out = self.output_layer(h)
        return out
```

Рис. 3. Программная реализация модуля дискриминатора интеллектуальной системы.

Получено с помощью снимка экрана из среды разработки Jupyter Notebook

Fig. 3. Software implementation of the intelligent system discriminator module. Screenshot from the Jupyter Notebook application

Исходя из терминологии, можно отметить, что задачи генератора и дискриминатора являются обратными [7]. Более того, дискриминатор и генератор конкурируют друг с другом, что позволяет получить более высокие показатели точности в задаче генерации изображений результирующей моделью машинного обучения [8].

Оценку итоговой точности разработанной модели лучше всего обобщать на основании сгенерированных изображений, т. к. по ним можно сопоставить текстовое описание с полученным изображением (рис. 4).

Соотнести полноту генерации визуального архитектурного представления на основании текстового описания можно на основе передачи информации об уже известном существующем здании.

In [1]: Представь здание торгового центра в архитектурном стиле деконструктивизма

Out [1]:

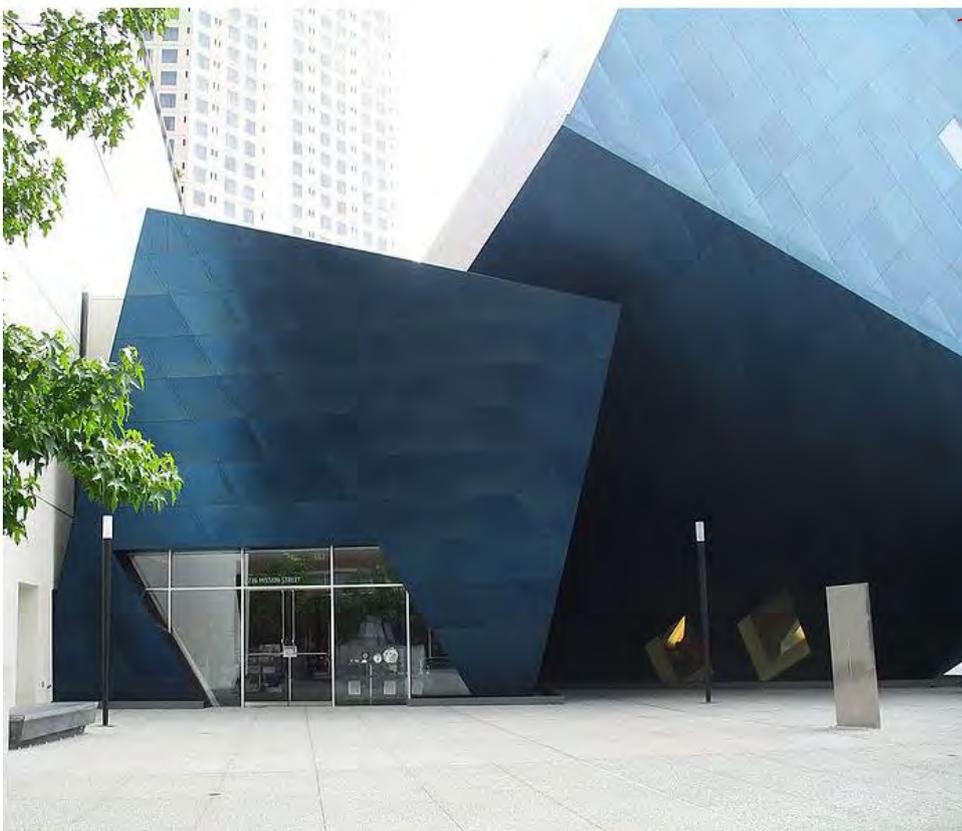


Рис. 4. Процесс генерации изображения по запросу пользователя. Получено с помощью снимка экрана из среды разработки и запуска проектов Jupyter Notebook
Fig. 4. Imaging process by user's request. Screenshot from the Jupyter Notebook application

В качестве примера рассмотрим, насколько хорошо будет соотноситься генерация особых критериев об условно известном объекте – церкви (рис. 5), выдержанной в стиле архитектуры русского Возрождения (неорусский стиль).

Особое внимание следует обратить на тот факт, что первоначально у интеллектуальной модели с ключевым словом «церковь» ассоциировалась только фотография красногокаменного храма периода русского зодчества начала XX в. (рис. 6).

Как следует из соотнесения данных, приведенных на рис. 5 и 6, интеллектуальная модель сформировала достаточную для генерации обобщающую способность даже для наиболее малочисленных элементов набора данных.

Стоит отметить, что любая разработка интеллектуальной модели в первую очередь должна быть ориентирована на решение конкретной предметно-прикладной задачи. Представленная в рамках данной статьи интеллектуальная модель может быть использована для решения нескольких задач.

In [3]: Визуализируй церковь, выполненную из белого кирпича, которая будет выдержана в неорусском стиле или стиле Русского Возрождения

Out [3]:

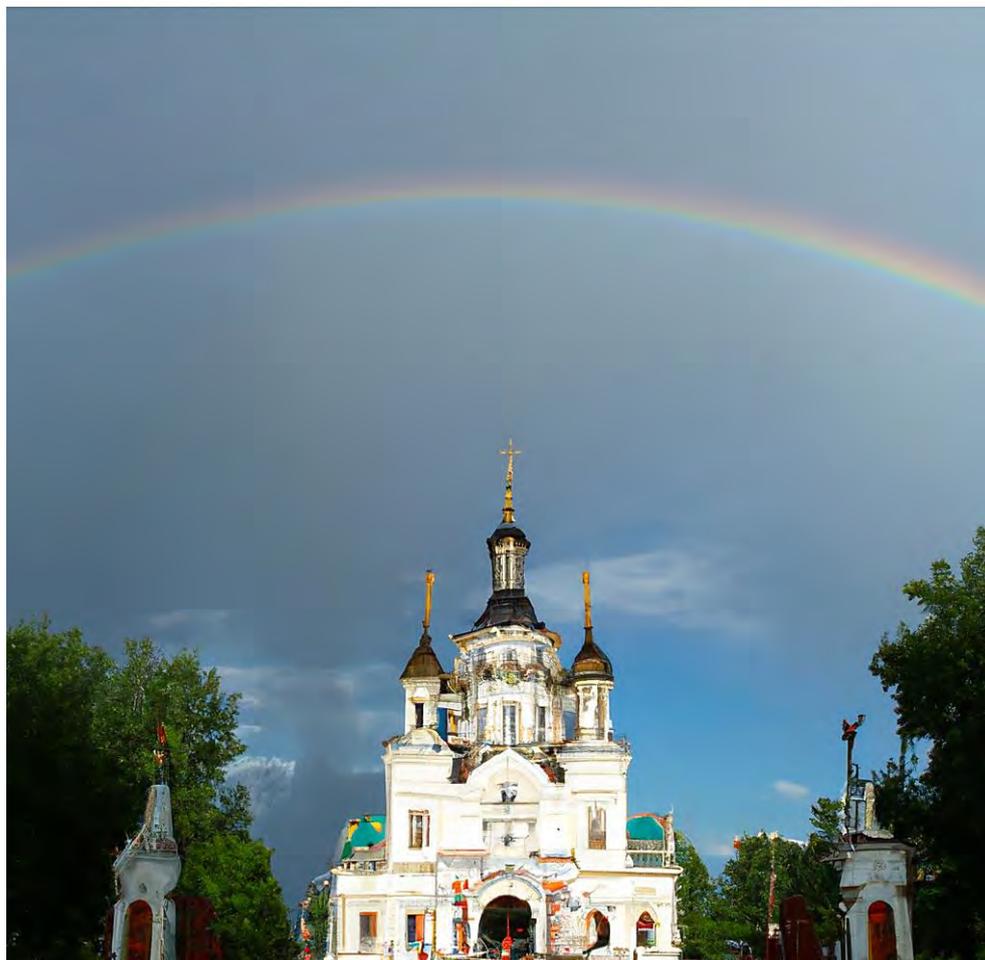


Рис. 5. Процесс генерации изображения по запросу пользователя. Получено с помощью снимка экрана из среды разработки и запуска проектов Jupyter Notebook

Fig. 5. Imaging process by user's request. Screenshot from the Jupyter Notebook application

1. Автоматизация создания эскизного проекта нового здания на основе заданного пользователем архитектурного стиля. Создание проекта здания часто требует значительных временных и человеческих затрат, но автоматизация процесса на начальной стадии вариантного проектирования позволит сократить время на выбор заказчиком облика объекта и, соответственно, сократить этот этап проектирования.

2. Моделирование будущей городской среды. Данный процесс зависит от многих критериев. Поскольку текстовое описание множества объектов архитектурной среды достаточно сложный процесс, то с помощью разработан-

ного интеллектуального решения, при соответствующей базе возможных архитектурных решений, открывается перспектива выполнить моделирование городских агломераций, имея при этом минимальное количество ресурсов – один персональный компьютер. Безусловно, подобные модели являются только общим примером и далеки от рабочих чертежей объекта, но общее графическое представление объекта в 3D-модели позволяет составить наглядное представление о нем.

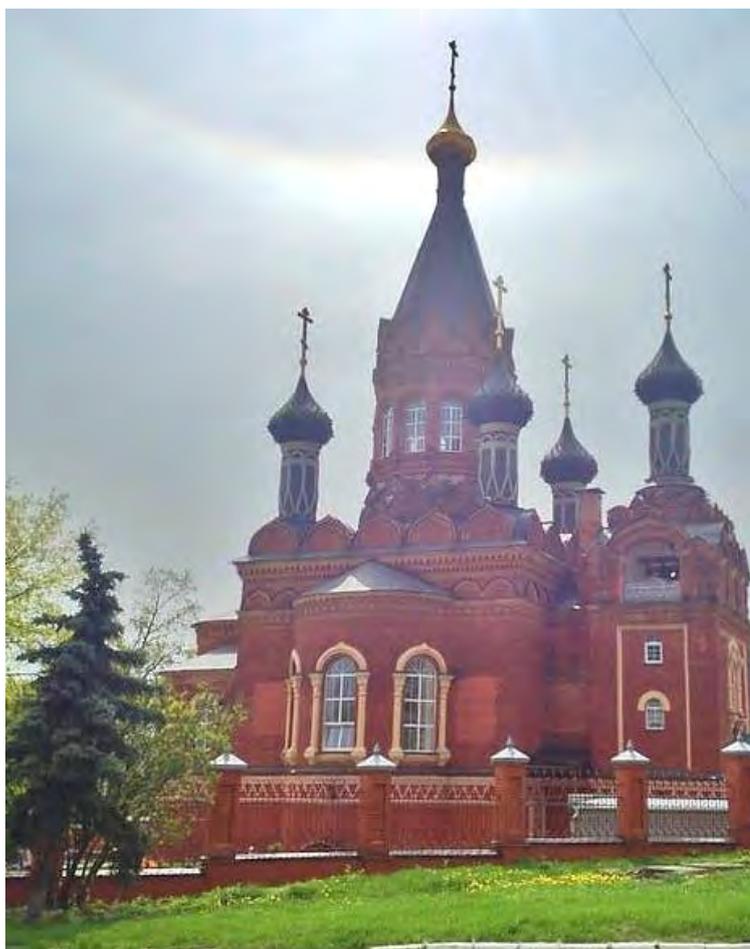


Рис. 6. Первоначальная ассоциация интеллектуальной модели с термином «церковь». Графическая информация взята из обучающей выборки данных
Fig. 6. Initial association of the intelligent model with the term church. Graphical information is taken from training sample

3. Восстановление памятников архитектуры, у которых отсутствуют проектные чертежи. История человечества насчитывает множество примеров и случаев, когда памятники архитектуры были подвергнуты частичному или полному разрушению в силу различных причин: например, 15 апреля 2019 г. в соборе Парижской Богоматери (Нотр-Дам-де-Пари) возник пожар, который

смогли потушить только к утру [10]. В результате пожара пострадал шпиль и обрушилась крыша собора, при этом основные конструкции и произведения искусства уцелели, но, несмотря на относительно небольшие разрушения, восстанавливать кафедральный собор архиепархией Парижа было решено на основе материалов компьютерной игры [11], т. к. оригинальных чертежей не сохранилось. Учитывая тот факт, что собор в компьютерной игре являлся непрофильным атрибутом, стоит отметить, что применение разработанной интеллектуальной модели может помочь в подобных ситуациях значительно больше: на основе сгенерированного моделью макета здания можно будет получить трехмерный макет для использования в качестве отправной точки для восстановления памятников архитектуры.

Выводы

Разработанная автоматизирующая модель демонстрирует высокие показатели эффективности и прецизионности, что является весомым аргументом и основанием для прикладного внедрения программного решения в предметно-областные задачи генерации изображений архитектурных объектов выбранного стиля по их текстовому описанию. Данные изображения будут становиться все более точными с пополнением базы изображений подобных объектов.

Отдельно стоит отметить правильный выбор инструмента решения – генеративно-состязательную сеть. Генеративно-состязательные сети высоко зарекомендовали себя в задаче генерации изображений, поэтому при разработке концепта решения в первую очередь необходимо ориентироваться на общую постановку задачи и только во вторую – улучшать точность программной реализации визуального облика объекта. Конечно, на данном этапе полученные изображения далеки от реальных проектных решений и позволяют составить лишь общее представление об объекте, однако со временем данные разработки, возможно, заменят весь цикл архитектурных и инженерных работ при подготовке соответствующей проектно-сметной документации.

Однако при всех преимуществах авторской разработки было бы честным признать тот факт, что для максимально быстрого функционирования автоматизирующей модели исходный программный код желательно реализовать на низкоуровневом языке программирования (например, Си или С++), а не на высокоуровневом (в настоящем проекте использовался Python версии 3.9.2). При выполнении сложных запросов такой подход позволит сократить до 4 с времени на генерацию одного изображения архитектурного стиля здания [9, 10].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Campanario G.* The urban sketching handbook: architecture and cityscapes: tips and techniques for drawing on location. Quarry Books. 2014. 112 с. ISBN 9781592539611.
2. *Radford A., Srivastava A., Morcoç S.B.* The elements of modern architecture: understanding contemporary buildings. Thames & Hudson. 2014. 344 с. ISBN 978-0500023624.
3. *Bengio Y.* Practical Recommendations for gradient-based training of deep architectures // Arxiv : [сайт]. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1206.5533> (дата обращения: 28.08.2023).
4. *Wolohan J.T.* Mastering large datasets with Python. Manning Press. 2020. 312 с. ISBN 9781617296239.

5. *Николенко С., Кадури́н А., Архангельская Е.* Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. Санкт-Петербург : Издательский дом «Питер», 2018. 482 с. ISBN 978-5-496-02536-2.
6. *Kopec D.* Classic Computer Science Problems in Python. Manning Shelter Island. 2019. 201 с. ISBN 9781617295980.
7. *Пылов П.А., Майтак Р.В., Дяги́лева А.В.* Разработка интеллектуальных систем для обработки сигналов с датчиков давления. Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. 172 с. ISBN 978-5-9729-1594-1.
8. *Abrahams S., Hafner D.* TensorFlow for machine learning intelligence. Bleeding Edge Press. 2019. 245 с.
9. *Аггарвал Ч.* Нейронные сети и глубокое обучение: перевод с английского. Санкт-Петербург : ООО «Диалектика», 2020. 752 с. ISBN 978-5-907203-01-3.
10. *Кого́лов Ю.* Криминалисты назвали причину пожара в Нотр-Даме // RGRU.Российская газета : [сайт]. URL: <https://rg.ru/2019/04/17/kriminalisty-nazvali-prichinu-pozhara-v-notr-dame.html> (дата обращения: 08.10.2023).
11. *Собор Парижской Богоматери* восстановят благодаря игре Assassin's Creed // Росбалт.RU : [сайт]. URL: <https://www.rosbalt.ru/world/2019/04/16/1776251.html> (дата обращения: 08.10.2023).

REFERENCES

1. *Campanario G.* The urban sketching handbook: Architecture and cityscapes: Tips and techniques for drawing on location. Quarry Books. 2014. 112 p. ISBN 9781592539611.
2. *Radford A., Srivastava A., Morcoç S.B.* The elements of modern architecture: Understanding contemporary buildings. Thames & Hudson. 2014. 344 p. ISBN 978-0500023624.
3. *Bengio Y.* Practical recommendations for gradient-based training of deep architectures. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1206.5533> (accessed August 28, 2023).
4. *Wolohan J.T.* Mastering large datasets with Python. Manning Press. 2020. 312 p. ISBN 9781617296239.
5. *Nikolenko S., Kadurin A., Arkhangelskaya E.* Deep learning. Immersion in the world of neural networks. Saint-Petersburg: Piter, 2018. 482 p. ISBN 978-5-496-02536-2. (In Russian)
6. *Kopec D.* Classic computer science problems in Python. Manning Shelter Island. 2019. 201 p. ISBN 9781617295980.
7. *Pylov P.A., Maitak R.V., Dyagileva A.V.* Development of intelligent systems for processing signals from pressure sensors. Moscow, Vologda: Infra-Engineering, 2023. 172 p. ISBN 978-5-9729-1594-1. (In Russian)
8. *Abrahams S., Hafner D.* Tensor flow for machine learning intelligence. Bleeding Edge Press. 2019. 245 p.
9. *Aggarwal Ch.* Neural networks and deep learning. Saint-Petersburg: Dialektika, 2020. 752 p. ISBN 978-5-907203-01-3. (Russian translation)
10. *Kogalov Yu.* Forensic experts have named the cause of the Notre Dame fire. Available: <https://rg.ru/2019/04/17/kriminalisty-nazvali-prichinu-pozhara-v-notr-dame.html> (accessed October 8, 2023).
11. The Cathedral of Notre Dame de Paris will be restored thanks to the Assassin's Creed game. Available: www.rosbalt.ru/world/2019/04/16/1776251.html (accessed October 8, 2023).

Сведения об авторах

Пылов Петр Андреевич, аспирант, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, gedrosten@mail.ru

Дяги́лева Анна Владимировна, канд. техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, dyagileva@mail.ru

Николаева Евгения Александровна, канд. физ.-мат. наук, доцент, зав. кафедрой, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, nikolaeva@yandex.ru

Майтак Роман Вячеславович, магистрант, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, super-energy@mail.ru

Шалыгина Татьяна Анатольевна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, shal53@mail.ru

Authors Details

Petr A. Pylov, Research Assistant, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya Str., 650000, Kemerovo, Russia, gedrosten@mail.ru

Anna V. Dyagileva, PhD, A/Professor, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya Str., 650000, Kemerovo, Russia, dyagileva@mail.ru

Evgenia A. Nikolaeva, PhD, A/Professor, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya Str., 650000, Kemerovo, Russia, nikolaeva@yandex.ru

Roman V. Maitak, Graduate Student, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya Str., 650000, Kemerovo, Russia, super-energy@mail.ru

Tat'jana A. Shalygina, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, shal53@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 22.09.2023
Одобрена после рецензирования 06.10.2023
Принята к публикации 09.10.2023

Submitted for publication 22.09.2023
Approved after review 06.10.2023
Accepted for publication 09.10.2023

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 95–107.

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; 25 (5): 95–107.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 666.3

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-95-107

EDN: ZCDBOM

СПЕКТРАЛЬНАЯ ПИРОМЕТРИЯ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАГРЕВЕ, ПЛАВЛЕНИИ И ОХЛАЖДЕНИИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРИАЛОВ

Валентин Валерьевич Шеховцов

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

Аннотация. *Актуальность.* Спектральная пирометрия при плазменном нагреве, плавлении и охлаждении неметаллических тугоплавких материалов имеет особую актуальность в нанотехнологиях, медицине, энергетике, металлургии и других областях, где требуется точный контроль температуры в процессе обработки различных материалов. Применение метода спектральной пирометрии направлено на создание новых технологий для измерения температуры в сложных условиях обработки и синтеза материалов, таких как плазменный нагрев, плавление и охлаждение неметаллических тугоплавких материалов. Результаты исследований в этой области могут улучшить процессы производства, снизить затраты на материалы и топливо, повысить эффективность работы установок и оборудования, а также качество и надежность конечной продукции.

Цель исследования: адаптация малогабаритных спектрометров в области спектральной пирометрии при диагностике конденсированных сред, подвергшихся нагреву и плавлению в среде термической плазмы.

В работе представлены результаты применения малогабаритных спектрометров в рамках диагностики нагрева, плавления и охлаждения кварцевой мишени посредством плазменной струи атмосферного давления. Диагностический комплекс для проведения экспериментальных исследований включает в себя два канала сбора данных: первый – микроспектрометр НРС 300 со спектральным диапазоном 380–780 нм, который служит для определения цветовой температуры эталонного источника излучения и калибровки

оптоволоконного тракта; второй – микроспектрометр STS-VIS, в основе которого лежит ПЗС-детектор с 1024 элементами, спектральный диапазон – 350–800 нм, используется для снятия спектра излучения исследуемого объекта.

Выводы. Установлено, что при взаимодействии плазменной струи с кварцевой мишенью наблюдаются три этапа, включающих в себя деформацию поверхности, выход на стабильную температуру нагрева и охлаждение конденсированного материала с точками фазовых переходов «жидкое – пиропластичное – твердое».

Ключевые слова: спектральная пирометрия, плазма, нагрев, плавление, охлаждение, кварц

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FEMN-2022-0001 и гранта Президента МК-66.2022.4.

Для цитирования: Шеховцов В.В. Спектральная пирометрия при плазменном нагреве, плавлении и охлаждении неметаллических тугоплавких материалов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 95–107. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-95-107. EDN: ZCDBOM

ORIGINAL ARTICLE

SPECTRAL PYROMETRY OF NON-METALLIC MATERIALS AT PLASMA HEATING, MELTING AND COOLING

Valentin V. Shekhovtsov

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Spectral pyrometry of non-metallic materials under plasma heating, melting and cooling is used in nanotechnology, medicine, energy, metallurgy and other industries, where accurate temperature control is required during processing various materials.

Purpose: The aim of this work is to create new spectral pyrometry technique for temperature measurement in difficult conditions of material processing and synthesis, such as plasma heating, melting and cooling of non-metallic materials.

Methodology/approach: Small-sized spectrometers for diagnostics of heating, melting and cooling of the quartz target using the plasma jet. HPCS300 Mini Spectrometer with the wavelength range of 380 to 780 nm is used to determine the color temperature of the reference radiation source and for fiber optic calibration. The STS-VIS Microspectrometer based on a 1024×1 element CCD photodetector array with the wavelength range of 350 to 800 nm is used to record the emission spectrum of the object.

Research findings: Improvement of production processes, fuel and material cost reduction, increase in the efficiency of plants and equipment, reliability and quality improvement of the final product.

Value: During the plasma jet and quartz target interaction, three stages are observed: surface deformation, stable temperature of heating, and cooling of the condensed material with phase-transition points of liquid–pyroplastic–solid states.

Keywords: spectral pyrometry, plasma, heating, melting, cooling, quartz

Funding: This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project FEMN-2022-0001) and Grant No. МК-66.2022.4 from the President of the Russian Federation.

For citation: Shekhovtsov V.V. Spectral pyrometry of non-metallic materials at plasma heating, melting and cooling. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitek-

turno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 95–107. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-95-107. EDN: ZCDBOM

Введение

Метод спектральной пирометрии (СП) основан на измерении излучения тела в определенном диапазоне спектра и преобразовании его значения в термодинамическую температуру [1, 2, 3, 4]. Преобразование осуществляется с помощью математического анализа кривых излучения и сопоставления их с термодинамическими характеристиками материала. Одним из основных преимуществ метода СП является его бесконтактность, что позволяет измерять температуру образца без прямого соприкосновения с ним. Это свойство актуально при производстве керамических материалов, т. к. нагрев, плавление и кристаллизацию можно контролировать на расстоянии, исключая влияние погрешности при непосредственном измерении температуры [5, 6, 7]. Метод спектральной пирометрии обеспечивает высокую точность измерений температур, что актуально при производстве керамических материалов. Диагностика температурных границ определяет формирование заданных кристаллических структур и свойств материала.

К недостаткам метода СП можно отнести поглощение или отражение излучения при диагностике полупрозрачных керамических изделий [1, 4]. Это приводит к погрешности измерений и неверной оценке температуры. Кроме того, метод спектральной пирометрии может быть менее точным для материалов с изменяющимся спектральным коэффициентом, таких как керамика, которая меняет свою спектральную интенсивность с изменением температуры. Для более точного измерения может потребоваться калибровка оборудования.

Реальный объект обладает полным спектром теплового излучения, который описывается формулой Планка и коэффициентом излучения [1–4]:

$$I = \varepsilon C_1 \lambda^{-5} / \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right], \quad (1)$$

где I – спектральная интенсивность теплового излучения, Вт/(см²·мкм); $C_1 = 37418$ Вт·мкм⁴/см² и $C_2 = 14388$ мкм·К – константы; λ – длина волны, мкм.

После преобразования для области Вина при выполнении условия $C_2/(\lambda T) \gg 1$ получается

$$\ln(\lambda^5 I) - \ln(\varepsilon C_1) = -\frac{C_2}{\lambda T}. \quad (2)$$

В случае «серого» тела, когда $\varepsilon(\lambda) = \text{const}$, выражение (2) описывает прямую линию в координатах $x = C_2/\lambda$ и $y = \ln(\lambda^5 I)$. Наклон прямой определяется температурой $T = -1/a$.

В приёмнике с переносом заряда для регистрации светового сигнала используется полное число фотоэлектронов, которые накоплены в течение определённого времени Δt , а не интенсивность света (Вт/см²). Каждый пиксель на приёмнике содержит определённое количество электронов (N), которое связано с интенсивностью света по формуле (2):

$$I = N(h\nu) / \Delta t,$$

где $h\nu$ – энергия кванта (h – постоянная Планка $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с; $\nu = c/\lambda$ – частота, где c – скорость света в вакууме $2,998 \cdot 10^8$ м/с).

Данный способ регистрации светового сигнала наиболее точен, т. к. учитывает не только текущую интенсивность излучения, но и время, в течение которого происходит накопление электронов. Поэтому выражение (2) примет вид [1]:

$$\ln(\lambda^4 N) - \ln(\varepsilon C_1 / hc) = -\frac{C_2}{\lambda T}, \quad (3)$$

при этом спрямление планковского спектра происходит в координатах $x = C_2/\lambda$ и $y = \ln(\lambda^4 N)$.

Таким образом, при построении экспериментального спектра в координатах (x, y) можно определить температуру объекта, не задаваясь значением коэффициента излучения. Влияние коэффициента ε видно только в параллельном смещении прямой по оси ординат, в то время как наклон остается неизменным.

Рассматриваемый в работе метод активно используется при нагреве, плавлении и охлаждении неметаллических тугоплавких материалов в среде термической плазмы, например, при определении точки эвтектики или фазовых переходов в системе «жидкое – пиропластичное – твердое» состояние. Стоит отметить, что метод СП может быть использован для контроля охлаждения материала после процесса плавления, чтобы избежать деформации или растрескивания материала.

Отдельной областью применения метода СП является измерение температуры поверхности материалов, подвергнутых воздействию плазменной струи [8–13]. В работе [9] проведены исследования нагрева мишени и динамики плазмы при горячем магнетронном распылении Nb. При проведении экспериментальных исследований по теплопередаче и визуализации течения плазменных струй, выходящих из щелевых сопел, особое место занимает СП [10]. В работе [11] проведены оптико-эмиссионные исследования плазменных вихревых колец при атмосферном давлении воздуха, в качестве одного из каналов в которых использовался спектрометр с диапазоном длин волн 300–1000 нм. J.E. Coleman разработал спектральный пирометр для пространственного разрешения температуры термической плотной плазмы [12]. Авторы работы [13] провели исследования распределения температуры в пилотном плазменном промежуточном звене и сравнили системы инициирования среды в рамках плазменной горелки и графитовых электродов.

На сегодняшний день активно развивается метод плазменного плавления компонентных шихт системы $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ при синтезе керамических материалов широкого спектра [14, 15, 16, 17, 18]. Применение метода СП позволит более детально раскрыть протекание фазовых превращений в трёхкомпонентных системах, а также определить граничные условия температурных диапазонов и факторов, влияющих на их протекание. В настоящей работе рассмотрено применение метода СП в процессе нагрева, плавления и охлаждения (кристаллизация поверхности) кварцевой мишени под воздействием плазменной струи при атмосферном давлении.

Методика и оборудование для спектральной пирометрии

Для регистрации спектров излучения, измерения цветовой и спектральной температуры разработан диагностический комплекс на основе малогабаритных спектрометров. Комплекс включает в себя:

– микроспектрометр HPCS 300 со спектральным диапазоном 380–780 нм, оптическое разрешение – 0,5 нм, диапазон измерения цветовой температуры – 1000–100 000 К, время накопления сигнала – 50–20000 мс. Производитель – Hangzhou Hopto Light and Color Technology, Китай;

– микроспектрометр STS-VIS, в основе которого лежит ПЗС-детектор с 1024 элементами со спектральным диапазоном 350–800 нм, оптическое разрешение – 1,0 нм FWHM (щель 10 мкм). Производитель – Ocean Optics, США;

– монохромная цифровая камера HT-SUA130GM-T.

В качестве эталонного источника света использовались электрические светоизмерительные широкодиапазонные лампы накаливания ТРУ 1100-2350 Н, СИРШ 6-100 и СИРШ 8,5-200-1 (таблица).

Характеристики электрических светоизмерительных широкодиапазонных ламп накаливания

Characteristics of electric light-measuring wide-range incandescent bulb

Модель	Яркостная температура, К/°С	Сила тока, А	Напряжение, В
ТРУ 1100-2350 Н	Не более 2623/2350	30,5	10
СИРШ 6-100	2840/2567	15,5	5,4
СИРШ 8,5-200-1	3000/2727	25	8,4

Принцип действия комплекса основан на предварительной калибровке спектральной чувствительности системы с применением всех оптических элементов. На первом этапе с использованием лазерного источника FVFL-204 (длина волны 650 нм, полуширина ± 20 нм) генерируется сигнал по оптоволоконному тракту (оптическое волокно с отверстием 200 мкм) с проекцией через объектив HELIOS-44-2 на уровень эталонной области вольфрамовой ленты. Диаметр визируемой области контролируется монохромной цифровой камерой HT-SUA130GM-T. Питание ламп осуществляется регулируемым источником питания NICE-POWER (30 А, 15 В). Для обеспечения достоверных световых параметров при определенной электрической нагрузке крайне важно сохранять лампу в данном режиме не менее 15 мин, поскольку именно за это время происходит достаточный прогрев всех металлических элементов лампы. В рамках первого этапа с использованием микроспектрометра HPCS 300 устанавливается зависимость цветовой температуры (T_c) от силы тока (I), протекающего по вольфрамовой ленте. На основе полученной зависимости определяется термодинамическая температура объекта с учетом излучательной способности вольфрама $\epsilon(\lambda, T)$ [1]:

$$T = \left[\frac{1}{T_c} + \frac{1}{C_2} \ln \left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \right) \frac{\lambda_1 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right]^{-1}, \quad (4)$$

где T – действительная температура объекта, К; T_c – цветовая температура, К; $\epsilon_{1,2}$, $\lambda_{1,2}$ – излучательная способность вольфрама на длине волны 530 и 650 нм при условии $C_2/\lambda T \gg 1$.

На рис. 1 представлен типичный спектр (а) и хроматическая диаграмма (б) в координатах $x(y)$ с указанием цветовой температуры $T_c = 2000$ К. Стоит отметить, что при расчете (4) получаем, что реальная температура объекта составляет 1972 К ($\Delta T = 1,4\%$).

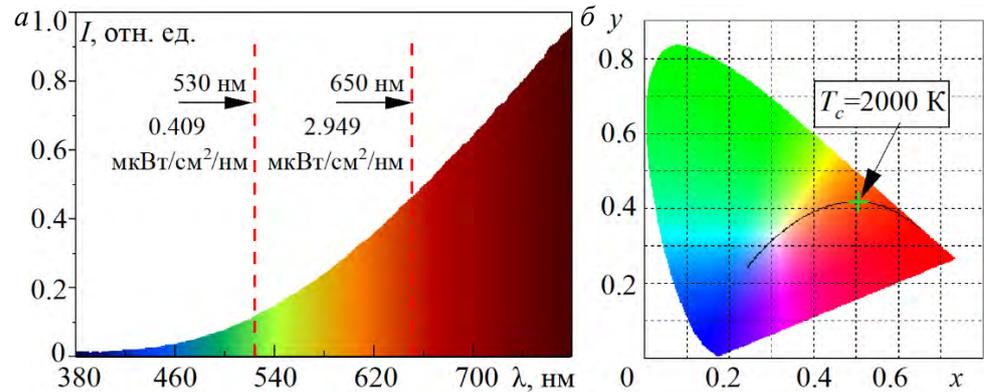


Рис. 1. Типичный спектр (а) и хроматическая диаграмма (б) в координатах $x(y)$ с указанием цветовой температуры $T_c = 2000$ К

Fig. 1. Typical spectrum (a) and chromatic diagram (b) in $x(y)$ coordinates. Color temperature: 2000 K

На рис. 2 представлены измеренные характеристики электрических светоизмерительных широкодиапазонных ламп накаливания.

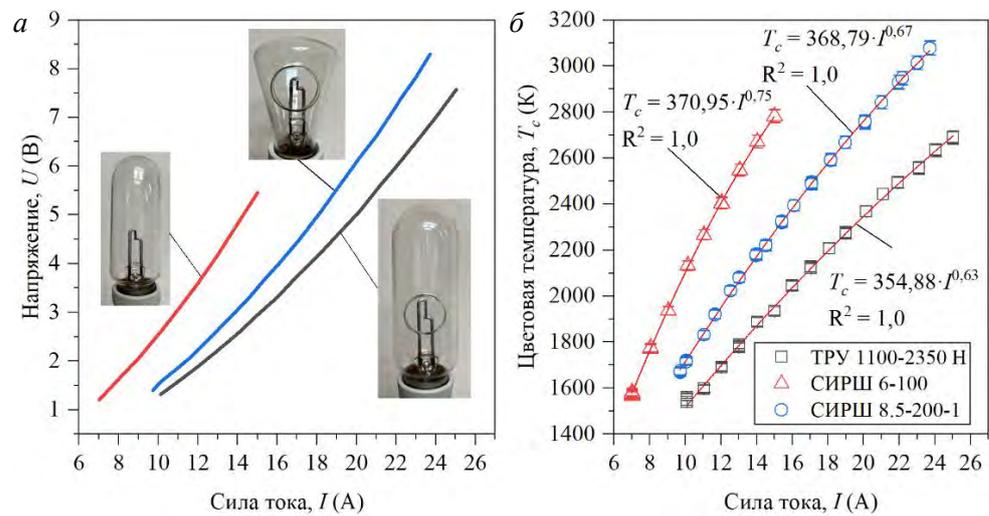


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика (а) и зависимость $T_c(I)$ (б) используемых электрических светоизмерительных широкодиапазонных ламп накаливания

Fig. 2. Volt-ampere characteristic (a) and $T_c(I)$ dependence (b) of photometric incandescent filament lamps

Первичный спектр, регистрируемый с использованием микроспектрометра STS-VIS, требует корректировки в связи с тем, что чувствительность фотоприемника к разным длинам волн неодинакова. Чувствительность ПЗС-линейки имеет максимум в средней области и падает как в коротковолновой, так и в длинноволновой областях спектра. Для того чтобы получить спектр, не искаженный неоднородной чувствительностью спектрометра, необходимо определить коэффициент относительной спектральной чувствительности для каждого пикселя и учитывать эти коэффициенты при обработке данных. Определение коэффициентов спектральной чувствительности находится по соотношению

$$k = S/(\epsilon(T_w)I(T_w)),$$

где k – коэффициент спектральной чувствительности; S – измеренный уровень сигнала спектрометра; I – спектральная яркость излучения АЧТ на данной длине волны по закону Планка (при выбранной температуре T_w); ϵ – излучательная способность вольфрама при выбранной температуре.

На рис. 3 представлен исходный спектр, регистрируемый спектрометром, и спектр после коррекции с учетом спектральной чувствительности оптоэлектронного тракта прибора.

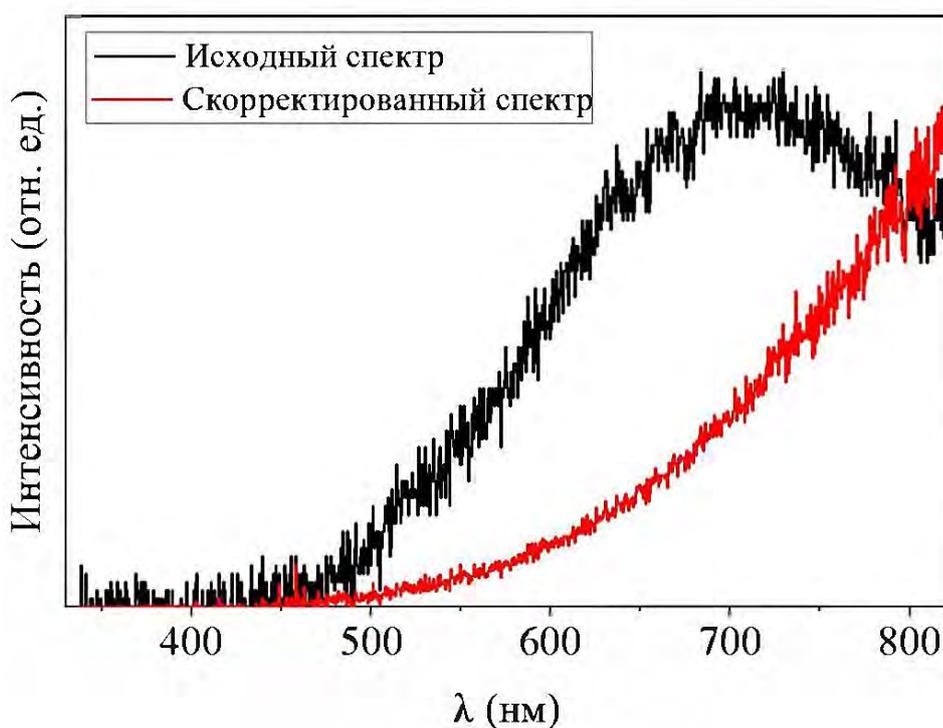


Рис. 3. Исходный сигнал спектрометра и восстановленный спектр теплового излучения объекта с температурой 2000 К (лампа СИРШ-8,5-200-1: сила тока 12,5 А, напряжение 2,4 В)

Fig. 3. Reference signal of the spectrometer and reconstructed spectrum of heat emission (2000 K) of lamp SIRSh-8.5-200-1. Current: 12.5 A. Voltage: 2.4 V

Использование СП при плазменном нагреве тугоплавких силикатных материалов

Для проведения экспериментальных исследований (рис. 4) была изготовлена мишень диаметром 25 и высотой 30 мм, состоящая из кварцита Чупинского месторождения (Карелия), содержание диоксида кремния SiO_2 в которой составляет до 99 масс. %. В качестве связующего использовался водный раствор силиката натрия Na_2SiO_3 .

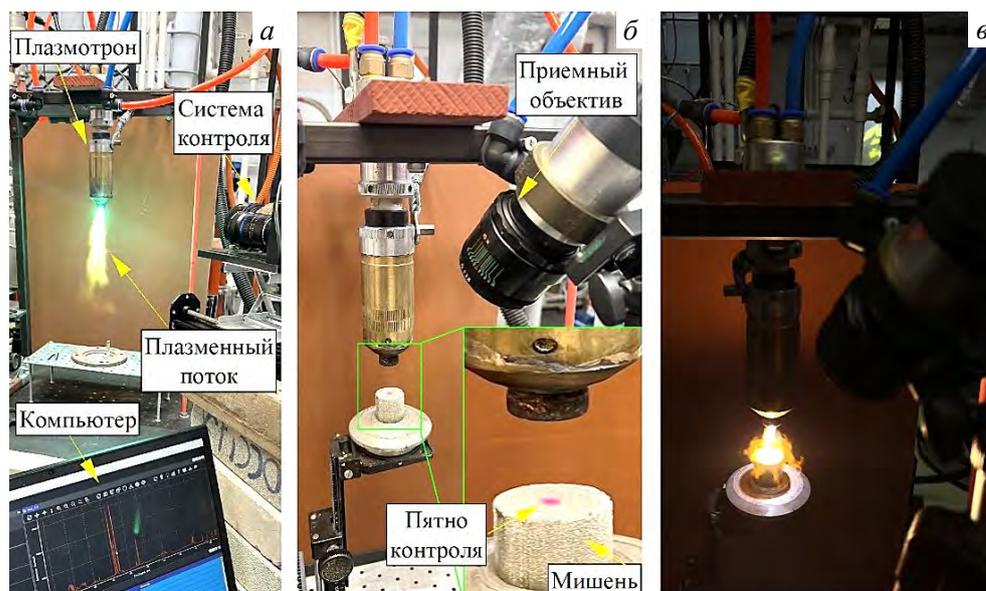


Рис. 4. Модельный эксперимент:

a – регистрация истекающей плазменной струи из сопла плазматрона; *б* – наводка, определение пятна контроля; *в* – процесс нагрева

Fig. 4. Model run:

a – plasma jet from plasma torch nozzle; *b* – control spot detection; *c* – target heating process

Нагрев кварцевой мишени осуществлялся электродуговым плазматроном мощностью 4 кВт (сила тока 40 А, напряжение 100 В). В качестве плазмообразующего газа использовался азот (расход 11 л/мин).

Данные измерений спектров излучения вдоль оси плазменной струи на расстоянии 10, 20 и 30 мм от сопла плазматрона свидетельствуют о наличии интенсивных полос излучения в диапазоне 375–400, 500–525 и 560–580 нм (рис. 5, *a*). Таким образом, для измерений температуры выбран спектральный диапазон 600–650 нм, свободный от собственного излучения плазмы (рис. 5, *б*).

На рис. 6 представлены типичные спектры излучения в исходном виде и после корректировки при нагреве (*a*) и остывании (*б*) образца. Время накопления сигнала – $5 \cdot 10^{-3}$ с.

В зарегистрированном спектре излучения при нагреве (воздействие плазменного потока) мишени наблюдается ярко выраженная фраунгоферон-

ная линия натрия длины волны в интервале 589,592 и 588,995 нм. Это обусловлено испарением связующего Na_2SiO_3 , используемого при изготовлении мишени. На рис. 7 представлена динамика нагрева и охлаждения изготовленной мишени в течение 3 мин.

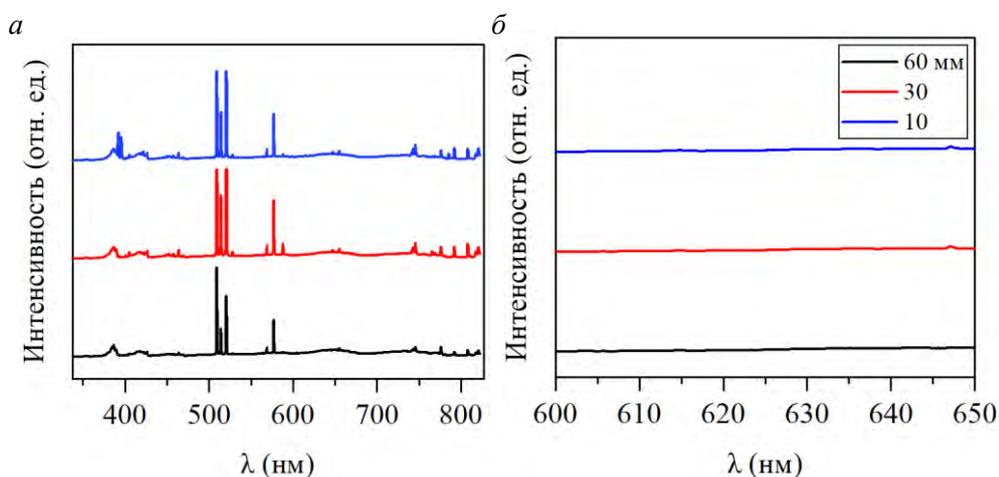


Рис. 5. Спектры излучения вдоль оси плазменной струи при различном расстоянии от сопла плазматрона:
a – общий вид; *б* – спектральный диапазон 600–650 нм, свободный от собственного излучения плазмы

Fig. 5. Radiation spectra along plasma jet axis at different distance from plasma torch nozzle:
a – intensity in different emission bands; *b* – 600–650 nm spectral range free from plasma self-radiation

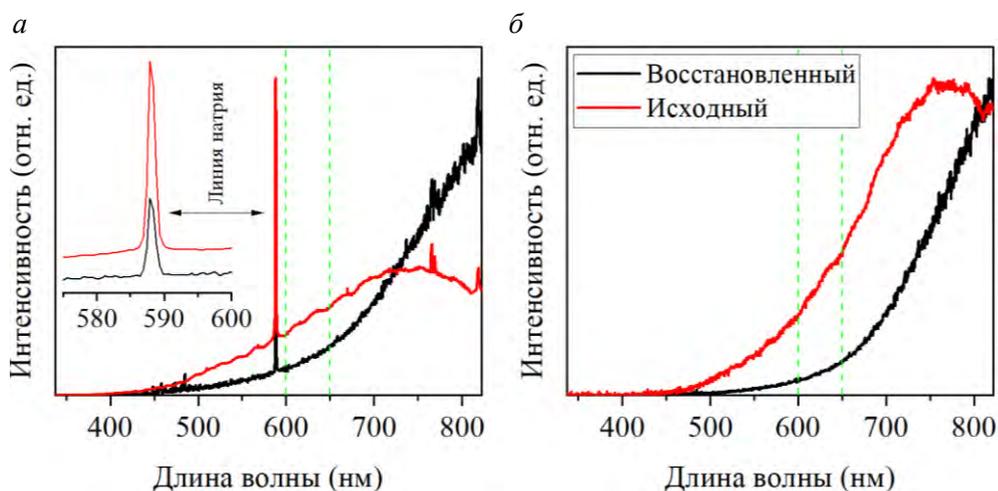


Рис. 6. Типичные спектры излучения в исходном виде и после корректировки при нагреве (*a*) и остывании (*б*) образца

Fig. 6. Emission spectra before and after correction during sample heating (*a*) and cooling (*b*)

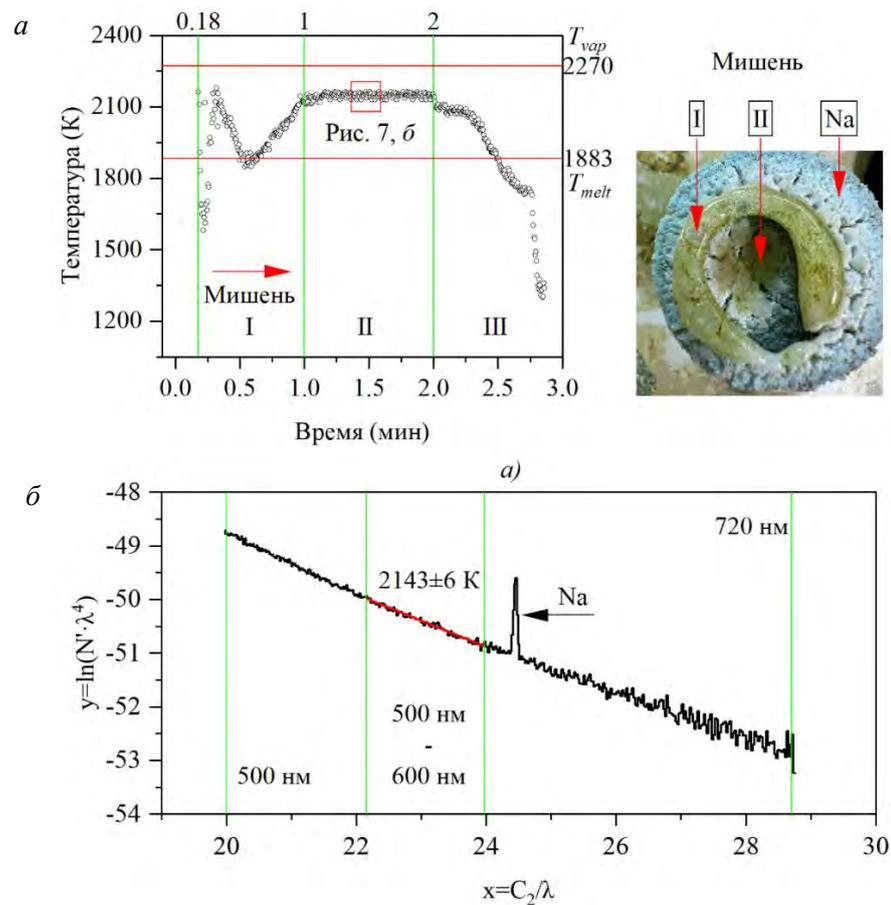


Рис. 7. Динамика нагрева и охлаждения кварцевой мишени (а) и участок 500–720 нм типичного спектра излучения в области II (б). Температура – (2143 ± 6) К
 Fig. 7. Dynamics of heating and cooling of quartz target (a) and radiation over the spectral range of 500–720 nm in region II (b). Temperature: 2143 ± 6 K

Плазменный нагрев кварцевой мишени можно разделить на три этапа:

I этап – при взаимодействии плазменного потока с кварцевой мишенью происходит деформация поверхности за счёт фрагментации мелкодисперсных частиц от газодинамического напора плазменной струи, что отображается двумя локальными экстремумами на рис. 7, а. Стоит отметить, что во временном диапазоне от 10 до 20 с разброс температур составляет 1580–2179 К, $\Delta T \sim 600$ К. В интервале от 20 до 60 с наблюдается 1848–2179 К, $\Delta T \sim 330$ К. Уменьшение разности ΔT обосновано продвижением теплового потока вглубь мишени.

II этап – формирование стабильной области плавления за счет образования контура из расплавленных частиц, который выступает в качестве сдерживающего барьера от разлета мелкодисперсных частиц. На рис. 7, б представлен участок 500–720 нм типичного спектра излучения в области II, из которого следует, что температура пятна контроля составляет (2143 ± 6) К. Формирование контура определяет еще тот факт, что расплав на основе SiO_2 обладает вы-

сокой вязкостью: при температурах 1800–2000 К вязкость варьируется от 10^8 до 10^6 Па соответственно.

III этап – при рассмотрении охлаждения (кристаллизация) конденсированного материала наблюдаются два плато: в районе 120–140 с, $T = (2081 \pm 20)$ К, и 155–165 с, $T = (1732 \pm 6)$ К, связанные с фазовыми переходами при кристаллизации конденсированной фазы. Скорость охлаждения в рамках температурного диапазона 2179 и 1300 К составляет (17 ± 3) К/с.

Заключение

Таким образом, в работе показана возможность применения малогабаритных спектрометров в рамках диагностики нагрева, плавления и охлаждения кварцевой мишени посредством плазменной струи атмосферного давления.

Установлено, что при взаимодействии плазменной струи с кварцевой мишенью наблюдаются три этапа, включающие деформацию поверхности, выход на стабильную температуру нагрева и охлаждение конденсированного материала, с точками фазовых переходов «жидкое – пиропластичное – твердое». Использование метода СП позволяет контролировать процесс нагрева и охлаждения, а также определить поведение материала при интенсивном взаимодействии с плазменной струей. В целом СП является важным инструментом в области пирометрии и дает возможность более глубокого изучения термических процессов при обработке и синтезе новых материалов на основе неметаллических тугоплавких соединений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Магунов А.Н. Спектральная пирометрия. Москва : Физматлит, 2012. 248 с.
2. Магунов А.Н., Захаров А.О., Лапишинов Б.А. Измерение нестационарной температуры методом спектральной пирометрии // Приборы и техника эксперимента. 2012. № 1. С. 143–148.
3. Магунов А.Н. Спектральная пирометрия объектов с неоднородной температурой // Журнал технической физики. 2010. Т. 80. № 7. С. 78–82.
4. Araújo A. Multi-spectral pyrometry – a review // Measurement Science and Technology. 2017. № 28. P. 082002. DOI: 10.1088/1361-6501/aa7b4b
5. Dolmatov A.V., Milyukova I.V., Gulyaev P.Y. Investigation of structure formation in thin films by means of optical pyrometry // Journal of Physics: Conference Series. 2019. № 1281 (1). P. 012010. DOI: 10.1088/1742-6596/1281/1/012010
6. Fu T., Liu J., Duan M., Li S. Subpixel temperature measurements in plasma jet environments using high-speed multispectral pyrometry // Journal of Heat Transfer. 2018. № 140 (7). P. 071601. DOI: 10.1115/1.4038874
7. Muller M., Fabbro R. Temperature measurement of laser heated metals in highly oxidizing environment using 2D single-band and spectral pyrometry // Journal of Laser Applications. 2012. № 24 (2). P. 1–11. DOI: 10.2351/1.3701400
8. Sotnikova G.Y., Alexandrov S.A., Voronin A.V., Urzhumtsev N.A. Two-color pyrometry methods for measuring the surface temperature of materials exposed to a plasma jet // Journal of Communications Technology and Electronics. 2022. № 67. P. 79–83. DOI: 10.1088/0022-3735/20/6/008
9. Leonova K., Britun N., Konstantinidis S. Target heating and plasma dynamics during hot magnetron sputtering of Nb // Journal of Physics D: Applied Physics. 2022. № 55 (34). P. 345202. DOI: 10.1088/1361-6463/ac72d0
10. Chaplygin A.V., Gordeev A.N. Heat transfer and flow visualization experiments for plasma jets issuing from slit nozzles // AIP Conference Proceedings. 2021. № 2351. P. 030067. DOI: 10.1063/5.0052124

11. Volodin L.Y., Kamrukov A.S. Optical emission study of plasma vortex rings at atmospheric pressure air // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. № 1393 (1). P. 012063. DOI: 10.1088/1742-6596/1393/1/012063
12. Coleman J.E. A spectral pyrometer to spatially resolve the blackbody temperature of a warm dense plasma // *Review of Scientific Instruments*. 2016. № 87 (12). P. 123113. DOI: 10.1063/1.4973433
13. Badie J.M., Bertrand Ph., Flamant G. Temperature distribution in a pilot plasma tundish: Comparison between plasma torch and graphite electrode systems // *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2001. № 21 (2). P. 279–299. DOI: 10.1023/A:1007004532610
14. Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Кунц О.А. Плазменная технология синтеза форстеритового материала // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2023. Т. 25. № 1. С. 166–175. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-166-175
15. Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Ушков В.А., Зорин Д.А. Получение стеклокерамики системы MgO-SiO₂ методом плазменной плавки // *Письма в Журнал технической физики*. 2022. Т. 48. № 24. С. 15–18. DOI: 10.21883/PJTF.2022.24.54017.19278
16. Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Гафаров Р.Е. Синтез муллитсодержащей керамики в среде низкотемпературной плазмы // *Физика и химия стекла*. 2022. Т. 48. № 5. С. 630–634. DOI: 10.31857/S0132665121100619. EDN: UHKROE
17. Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Улмасов А.Б. Синтез алюмомагnezияльной керамики MgAl₂O₃ в среде термической плазмы // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2022. Т. 24. № 3. С. 138–146. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-138-146
18. Шеховцов В.В. Стеклокерамика на основе шпинели MgAl₂O₄, полученная методом плазменной плавки // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2023. Т. 25. № 3. С. 151–161. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-151-161

REFERENCES

1. Magunov A.N. Spectral pyrometry. Moscow: Fizmatlit, 2012. 248 p. (In Russian)
2. Magunov A.N., Zakharov A.O., Lapshinov B.A. Measurements of nonstationary temperatures by the spectral pyrometry method. *Instruments and Experimental Techniques*. 2012; 55: 134–139. (In Russian)
3. Magunov A.N. Spectral pyrometry of objects with nonuniform temperature. *Technical Physics*. 2010. 55: 991–995.
4. Araújo A. Multi-spectral pyrometry – A review. *Measurement Science and Technology*. 2017. 28: 082002. DOI: 10.1088/1361-6501/aa7b4b
5. Dolmatov A.V., Milyukova I.V., Gulyaev P.Y. Investigation of structure formation in thin films by means of optical pyrometry. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. 1281(1): 012010. DOI: 10.1088/1742-6596/1281/1/012010 (In Russian)
6. Fu T., Liu J., Duan M., Li S. Subpixel temperature measurements in plasma jet environments using high-speed multispectral pyrometry. *Journal of Heat Transfer*. 2018; 140 (7): 071601. DOI: 10.1115/1.4038874
7. Muller M., Fabbro R. Temperature measurement of laser heated metals in highly oxidizing environment using 2D single-band and spectral pyrometry. *Journal of Laser Applications*. 2012. 24 (2): 1–11. DOI: 10.2351/1.3701400
8. Sotnikova G.Y., Alexandrov S.A., Voronin A.V., Urzhumtsev N.A. Two-color pyrometry methods for measuring the surface temperature of materials exposed to a plasma jet. *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2022. 67: 79–83. DOI: 10.1088/0022-3735/20/6/008
9. Leonova K., Britun N., Konstantinidis S. Target heating and plasma dynamics during hot magnetron sputtering of Nb. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 2022. 55 (34): 345202. DOI: 10.1088/1361-6463/ac72d0
10. Chaplygin A.V., Gordeev A.N. Heat transfer and flow visualization experiments for plasma jets issuing from slit nozzles. *AIP Conference Proceedings*. 2021. 2351: 030067. DOI: 10.1063/5.0052124

11. Volodin L.Y., Kamrukov A.S. Optical emission study of plasma vortex rings at atmospheric pressure air. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. 1393(1): 012063. DOI: 10.1088/1742-6596/1393/1/012063
12. Coleman J.E. A spectral pyrometer to spatially resolve the blackbody temperature of a warm dense plasma. *Review of Scientific Instruments*. 2016. 87(12): 123113. DOI: 10.1063/1.4973433
13. Badie J.M., Bertrand Ph., Flamant G. Temperature distribution in a pilot plasma tundish: Comparison between plasma torch and graphite electrode systems. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. 2001. 21 (2): 279–299. DOI:10.1023/A:1007004532610
14. Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Kunts O.A. Thermal plasma sintering of forsterite ceramics. *Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25(1): 166–175. DOI:10.31675/1607-1859-2023-25-1-166-175 (In Russian)
15. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Ushkov V.A., Zorin D.A. Plasma melting of glass ceramics of the MgO–SiO₂ system. *Pisma v ZhTF*. 2022; 48 (24): 15–18. DOI: 10.21883/PJTF.2022.24.54017.19278 (In Russian)
16. Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Gafarov R.E. Synthesis of mullite-containing ceramics in a low-temperature plasma. *Glass Physics and Chemistry*. 2022; 48 (5): 630–634. DOI: 10.31857/S0132665121100619. EDN: UHKROE
17. Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Ulmasov A.B. Synthesis of aluminum-magnesian ceramics MgAl₂O₃ in thermal plasma environment. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2022; 24 (3): 138–146. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-3-138-146 (In Russian)
18. Shekhovtsov V.V. MgAl₂O₄-based glass ceramics synthesized by thermal plasma melting. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (3): 151–161. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-151-161 (In Russian)

Сведения об авторе

Шеховцов Валентин Валерьевич, канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, shehovcov2010@yandex.ru

Author Details

Valentin V. Shekhovtsov, PhD, Assistant Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, shehovcov2010@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 03.07.2023
Одобрена после рецензирования 28.07.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 03.07.2023
Approved after review 28.07.2023
Accepted for publication 21.09.2023

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING (HVAC), LIGHTING SYSTEMS AND GAS NETWORKS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 108–119.

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; 25 (5): 108–119.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 536:21:674.038:699.86

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-108-119

EDN: VSHEVO

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ В ОБЛАСТИ НАРУЖНОГО УГЛА

Елена Александровна Иванова, Виталий Владимирович Пенявский
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Вопрос энергоресурсосбережения с каждым годом становится все более актуальным. Особое внимание уделяется повышению энергоэффективности ограждающих конструкций зданий различного назначения, т. к. теплопотребление занимает значительную часть в общих затратах на коммунальные нужды.

Целью исследования является изучение теплового состояния ограждающей конструкции в области наружного угла. В рамках данного исследования было рассмотрено влияние мостика холода в виде наружного угла на поведение температурного поля на внутренней поверхности ограждающей конструкции.

Исследована кирпичная наружная стена в трех вариантах: 510, 640 и 770 мм. Показано, что во всех случаях температура в углу стены становится ниже температуры точки росы.

Результаты. Проведено исследование методов для уменьшения негативного влияния мостика холода в области угла, которое может проявляться в появлении конденсата, плесени и привести впоследствии к разрушению наружного ограждения. Применение утепленного скоса приводит к лучшим результатам по сравнению со скосом без утеплителя. Однако точка с минимальным значением температуры сохраняется в углах и также не превышает температуру точки росы $t_p = +13,5$ °С. Только в этом случае точка с минимальным значением температуры перемещается в углы, образованные скосом.

Ключевые слова: теплоперенос, теплопотери, точка росы, конденсат

Для цитирования: Иванова Е.А., Пенявский В.В. Повышение тепловой защиты ограждающей конструкции в области наружного угла // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 108–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-108-119. EDN: VSHEVO

ORIGINAL ARTICLE

THERMAL PROTECTION IMPROVEMENT OF BUILDING ENVELOPE NEAR OUTER CORNER

Elena A. Ivanova, Vitalii V. Penyavskii

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The problem of energy saving is relevant nowadays. Great attention is especially paid to improving the energy efficiency of different building envelopes, since the heat consumption is a significant part of total costs for utility needs.

Purpose: The aim of the paper is to study the state of the building envelopes nearby the outer corner.

Research findings: Methods of reduction of the negative impact of the thermal bypass nearby the corner manifest themselves in condensation, mold, and subsequently lead to the envelope destruction. The use of insulated bevel edge leads to better results than that without insulation. But the minimum dew point temperature remains at corners and does not exceed 13.5 °C. Only in this case, the minimum dew point temperature moves to bevel edges.

Value: The thermal bypass (outer corner) effect on the temperature field of its inner surface is studied. Three wall thicknesses are investigated: 510, 640, and 770 mm. It is shown that in all cases the corner temperature decreases below the dew point temperature.

Keywords: heat transfer, heat loss, dew point, condensate

For citation: Ivanova E.A., Penyavskii V.V. Thermal protection improvement of building envelope near external corner. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 108–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-108-119. EDN: VSHEVO

Введение

В последнее время в России увеличилась обеспеченность населения жильем и повысились требования к уровню комфорта. Известно, что 35 % тепловых потерь происходит через наружные ограждения и 65 % расходуется на нагрев инфильтрационного воздуха [1]. Одним из главных путей энергосбережения является увеличение уровня тепловой защиты зданий [2]. Уменьшить тепловые потери через ограждающие конструкции можно путем их утепления [3].

Увеличение энергоэффективности наружных ограждений зданий и сооружений может привести не только к экономному потреблению теплоэнергетических ресурсов, но и к повышению уровня комфорта в помещениях. В российской энергетике с последствиями неэффективного использования энерго-ресурсов сталкиваются ежедневно. Основные тепловые потери происходят из-за изношенности тепловых сетей, отсутствия современного оборудования, способного автоматизировать подачу тепловой энергии, и устаревших конструктивных материалов ограждающих конструкций [4].

Немаловажную роль в повышенных тепловых потерях играют так называемые мостики холода [5]. Мостики холода – это участки ограждающей конструкции с пониженным термическим сопротивлением [6]. Различают геометрические мостики холода, которые определяются архитектурно-конструктивными особенностями здания [7], и материальные, которые определяются различной теплопроводностью строительных материалов [8].

Присутствие в здании мостиков холода имеет негативные последствия, которые могут проявляться в виде конденсата, а затем и плесени. Все это влияет на нарушение микроклимата в помещении и, как следствие, на ухудшение здоровья людей [9].

Одним из наиболее уязвимых мест в структуре тепловой защиты здания является наружный угол [10]. Температура на внутренней поверхности наружного угла всегда ниже по сравнению с поверхностью по глади стен, что в большинстве случаев является причиной промерзания углов, появления конденсата и образования плесени [11].

Для исключения влияния мостиков холода на ограждающие конструкции необходимо использовать различные методы, которые позволяли бы минимизировать действие таких элементов. Одним из методов повышения комфортных условий является устройство фрагментарной наружной теплоизоляции ограждающей конструкции, но он не всегда применим [12]. Устройство навесного теплоизоляционного фасада только для устранения мостиков холода через наружные углы не является экономически целесообразным [13, 14]. Кроме того, устройство вентилируемого фасада нарушает однородность конструкций и увеличивает количество мостиков холода [15]. Еще один метод заключается в скашивании внутренней поверхности наружного угла [16], когда прямой внутренний угол разбивается на два тупых. В случае промерзания стен в уже существующих зданиях скос предлагается делать утепленным. Ввиду актуальности данной проблемы потребовалось научное исследование теплового состояния ограждающей конструкции в области наружного угла, являющееся целью настоящей работы.

Материалы и методы исследования

В работе проведено численное исследование теплопереноса в наружном ограждении, состоящем из кирпича и цементно-песчаного раствора. Так как тепловые потери и температура на внутренней поверхности угла зависят от его формы и конструкции, наружная стена рассматривалась в трех вариантах: 510, 640 и 770 мм. Такие ограждающие конструкции наружного угла с разворотом 90° были приняты как наиболее распространенные в районе строительства Томской области.

Исследование теплового состояния теплопереноса в области наружного угла проводится с помощью программного комплекса FLEXPDE. При математической постановке задачи предполагается, что известны геометрические размеры элементов ограждающей конструкции и их теплофизические характеристики (таблица).

Для расчетов принимаем нормативные температуры наружного $t_n = -39\text{ }^\circ\text{C}$ и внутреннего $t_b = 23\text{ }^\circ\text{C}$ воздуха, коэффициенты теплоотдачи на наружной $\alpha_n = 23\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ и внутренней $\alpha_b = 8,7\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ поверхностях.

Характеристика материалов

Material parameters

Наименование материала		Толщина d , м	Коэффициент теплопроводности λ (Вт/(м·°C))
Кирпичная кладка	Вариант № 1	0,51	0,81
	Вариант № 2	0,64	
	Вариант № 3	0,77	
Цементно-песчаный раствор		0,02	0,93

Задача решается в прямоугольной декартовой системе координат x, y, z .

Нестационарный пространственный теплоперенос в рассматриваемом фрагменте конструкции в декартовой системе координат описывается системой нелинейных нестационарных трехмерных уравнений теплопроводности, количество которых равно числу всех элементов (n), в нее входящих:

$$(\rho c)_i \frac{\partial t_i}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_{x,i} \frac{\partial t_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_{y,i} \frac{\partial t_i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_{z,i} \frac{\partial t_i}{\partial z} \right), \quad (1)$$

где $i = 1, \dots, n$, с соответствующими начальными и граничными условиями.

Для численной реализации математической модели использовался метод конечных элементов.

Результаты

Исследование теплового состояния ограждающей конструкции в области наружного угла проведено на примере типовой кирпичной стены. На рис. 1 показано распределение температурных полей и плотности теплового потока в ограждающей конструкции с самой низкой температурой в области угла.

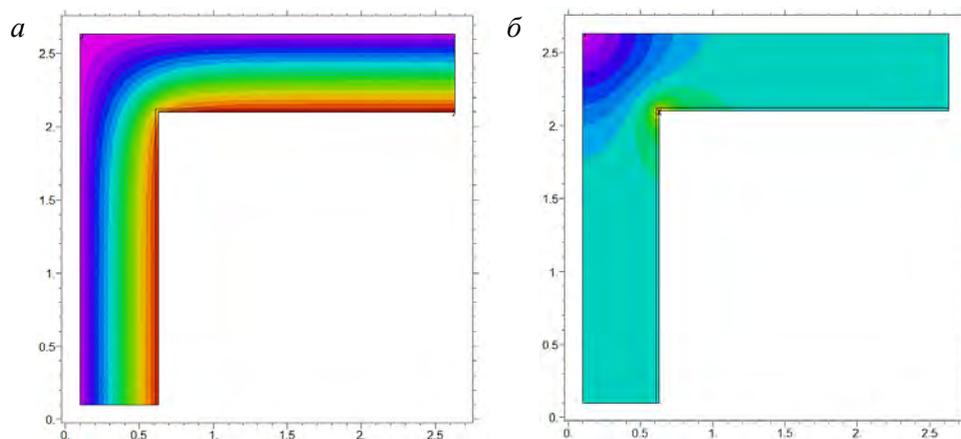


Рис. 1. Распределение (для конструкции $\delta = 510$ мм):

a – температурных полей; b – полей плотности теплового потока

Fig. 1. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope 510 mm thick

Изотермы на глади стены идут параллельно друг другу, а при приближении к углу смещаются в сторону внутренней поверхности, что свидетельствует о понижении температуры на внутренней поверхности стены по мере приближения к углу. На рис. 2 приведены графики распределения температуры и плотности теплового потока вдоль внутренней поверхности наружного угла для всех рассматриваемых конструкций.

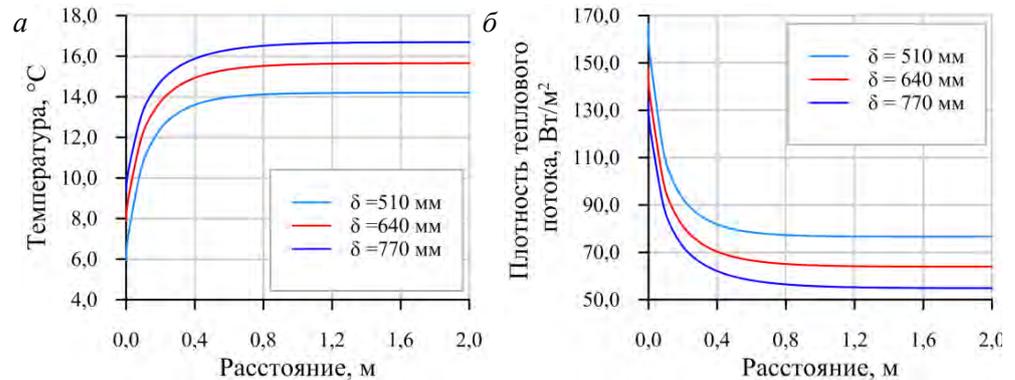


Рис. 2. График распределения:

a – температурных полей; *б* – полей плотности теплового потока

Fig. 2. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields

Температура в углу имеет минимальное значение, а на глади стены повышается и принимает постоянное значение. При толщине стены $\delta = 510$ мм температура изменяется от 5,95 до 14,20 °C, при $\delta = 640$ мм – от 7,88 до 15,65 °C, при $\delta = 770$ мм – от 9,35 до 16,69 °C (рис. 2). Плотность теплового потока, наоборот, ближе к углу увеличивает свое значение и при $\delta = 510$ мм изменяется от 166,47 до 76,59 Вт/м², при $\delta = 640$ мм – от 147,84 до 63,93 Вт/м², при $\delta = 770$ мм – от 133,67 до 54,89 Вт/м².

Анализируя данные, приведенные на графиках, можно отметить, что увеличение толщины стены приводит к увеличению температуры и уменьшению плотности теплового потока на внутренней поверхности стены. При $t_b = +23$ °C и $\phi = 55$ % нормируемая температура точки росы составляет $t_p = +13,5$ °C, следовательно, на внутренней поверхности стены есть вероятность выпадения конденсата. Во всех рассматриваемых случаях на расстоянии около 0,2 м от угла температура стены будет опускаться ниже критической отметки, тогда в помещении не будут создаваться условия для комфортного проживания людей.

Поскольку в таких случаях делать утепление всех наружных стен нецелесообразно, рассмотрим один из методов по устранению мостиков холода, предложенных К.Ф. Фокиным. В данном случае это наружный угол со скосом. Поверхность, образованная скосом, в основном используется в технологических, технических, а также в декоративных и эргономических целях. Геометрические параметры скосов выполнены согласно рекомендациям, представленным в источнике [16]. Допускается делать ширину скоса в пределах 250–400 мм.

Рассмотрим скос в двух вариантах: 250 и 400 мм. Результаты исследования в виде термограммы для стены $\delta = 510$ мм приведены на рис. 3.

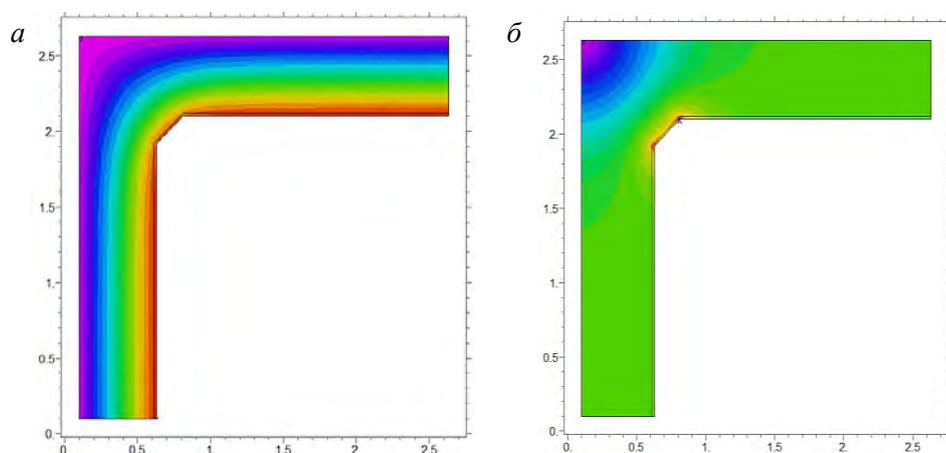


Рис. 3. Распределение (для конструкции $\delta = 510$ мм со скосом):

a – температурных полей; *б* – полей плотности теплового потока

Fig. 3. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope 510 mm thick with bevel edge

В случае устройства внутреннего скоса из стенового материала положительное влияние оказывает изменение отношения площадей внутренней и внешней поверхности, кроме того, происходит увеличение термического сопротивления стены за счет ее местного утолщения. На рис. 4 приведено распределение температурных полей и плотности теплового потока для трех видов ограждающих конструкций.

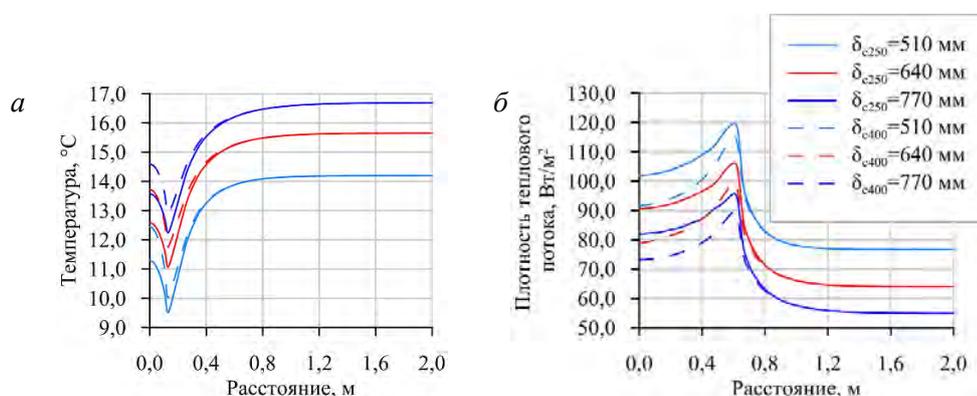


Рис. 4. График распределения (стена со скосом):

a – температурных полей; *б* – полей плотности теплового потока

Fig. 4. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope with bevel edge

При устройстве скоса угла шириной 250 мм температура в области угла увеличивается (рис. 4): при толщине стены $\delta = 510$ мм температура изменяется

от 11,29 до 14,19 °С, при $\delta = 640$ мм – от 12,59 до 15,65 °С, при $\delta = 770$ мм – от 13,58 до 16,59 °С. Но в данном случае скосом образуются дополнительные углы с температурой в них 9,51; 11,08; 12,26 °С соответственно. В случае устройства скоса шириной 400 мм температура в центре скоса и в углах, образованных скосами, увеличивается примерно на 1,0 °С.

Значения плотности теплового потока в области центра скоса уменьшаются. При $\delta = 510$ мм значение изменяется до 101,87 Вт/м², при $\delta = 640$ мм – до 90,59 Вт/м², при $\delta = 770$ мм – до 81,91 Вт/м². При этом в углу значение плотности теплового потока увеличивается при $\delta = 510$ мм и изменяется до 119,82 Вт/м², при $\delta = 640$ мм – до 106,16 Вт/м², при $\delta = 770$ мм – до 95,59 Вт/м².

Можно отметить, что применение такого способа по устранению негативного влияния мостика холода в области наружного угла, как скос угла, не приводит к положительным результатам. Точка с минимальным значением температуры перемещается в углы, образованные скосом, и также не превышает предельную температуру точки росы. В этом случае минимальная температура образуется сразу в двух местах. Следовательно, данный способ не применим для улучшения микроклимата в помещении.

Также было проведено исследование распределения температурных полей и полей плотности теплового потока стены при использовании утепленного скоса (рис. 5). В качестве утеплителя применялся пенополистирол с $\lambda = 0,035$ (Вт/(м·°С)).

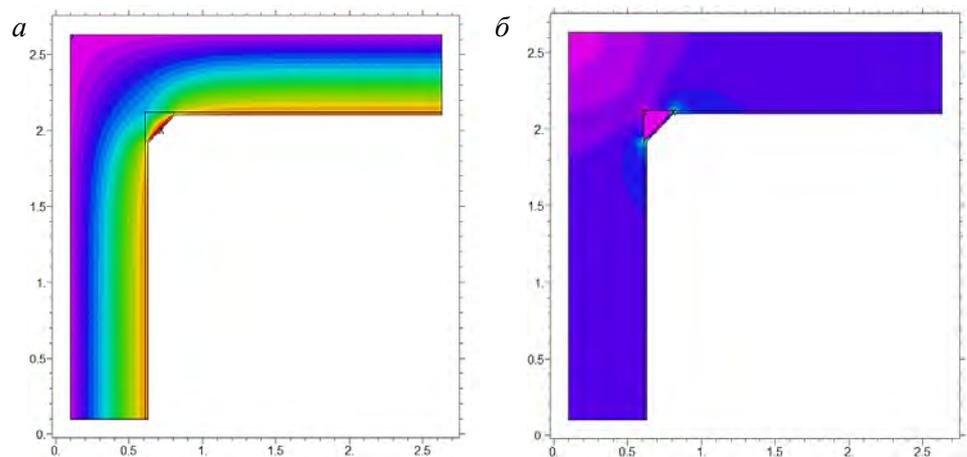


Рис. 5. Распределение (для конструкции $\delta = 510$ мм с утепленным скосом):

а – температурных полей; *б* – полей плотности теплового потока

Fig. 5. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope 510 mm thick with insulated bevel edge

При устройстве скоса из утепленного материала на термограмме хорошо прослеживается характер изменения температурных полей (рис. 5). Тепловые потери в углу уменьшаются. На рис. 6 приведено распределение температурных полей и плотности теплового потока для рассматриваемых конструкций с обычным и утепленным скосом.

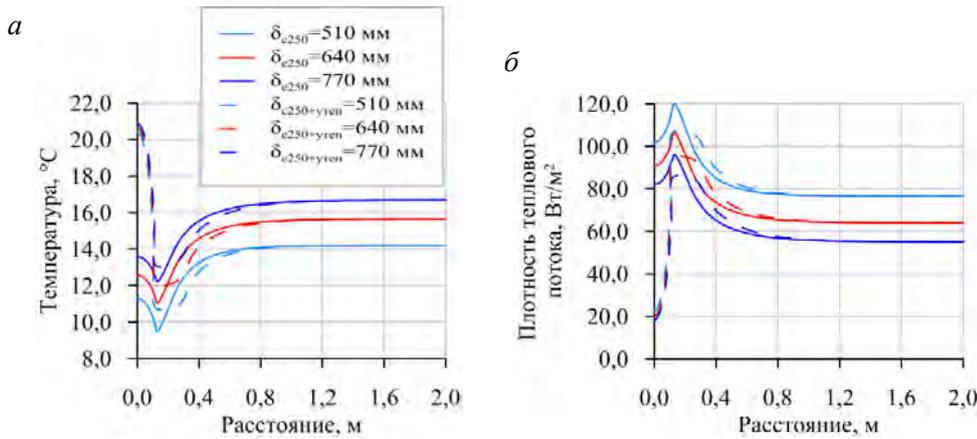


Рис. 6. График распределения (стена со скосом 250 мм):

a – температурных полей; *б* – полей плотности теплового потока

Fig. 6. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope with 250 mm bevel edge

При исследовании утепляющего скоса шириной 250 мм (рис. 6) видно, что температура на глади стены также сохраняется постоянной, как при скосе без утеплителя. Температура в центре скоса увеличивается при толщине стены $\delta = 510$ мм до 20,45 °С, при $\delta = 640$ мм – до 20,71 °С, при $\delta = 770$ мм – до 20,92 °С. Плотность теплового потока в центре скоса уменьшается во всех случаях. В углах, образованных скосом, температура изменяется при $\delta = 510$ мм до 106,87 Вт/м², при $\delta = 640$ мм до 97,43 Вт/м², при $\delta = 770$ мм до 85,55 Вт/м².

Температура в критических местах наружной стены при утепляющем скосе 400 мм (рис. 7) также увеличивается приблизительно на 1,0 °С.

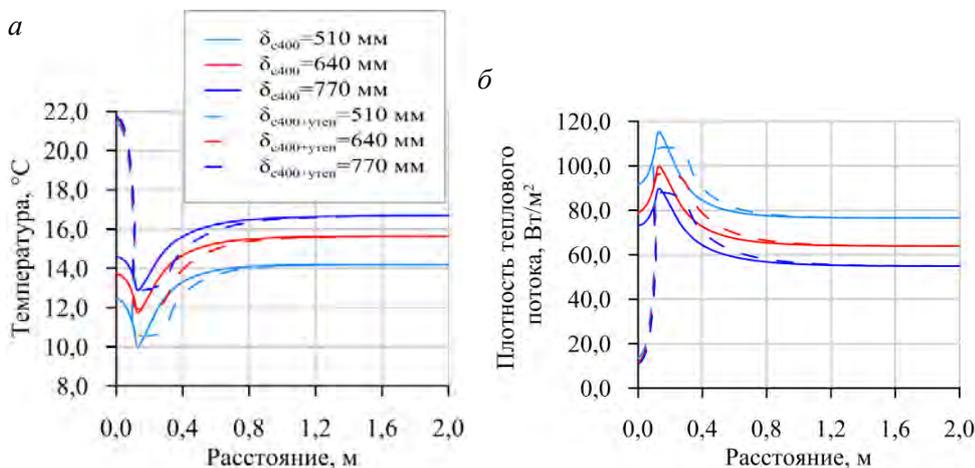


Рис. 7. График распределения (стена со скосом 400 мм):

a – температурных полей; *б* – полей плотности теплового потока

Fig. 7. Distribution of (a) temperature and (b) heat flux fields of building envelope with 400 mm bevel edge

Результаты расчета для всех рассмотренных способов устранения влияния мостиков холода представлены на рис. 8.

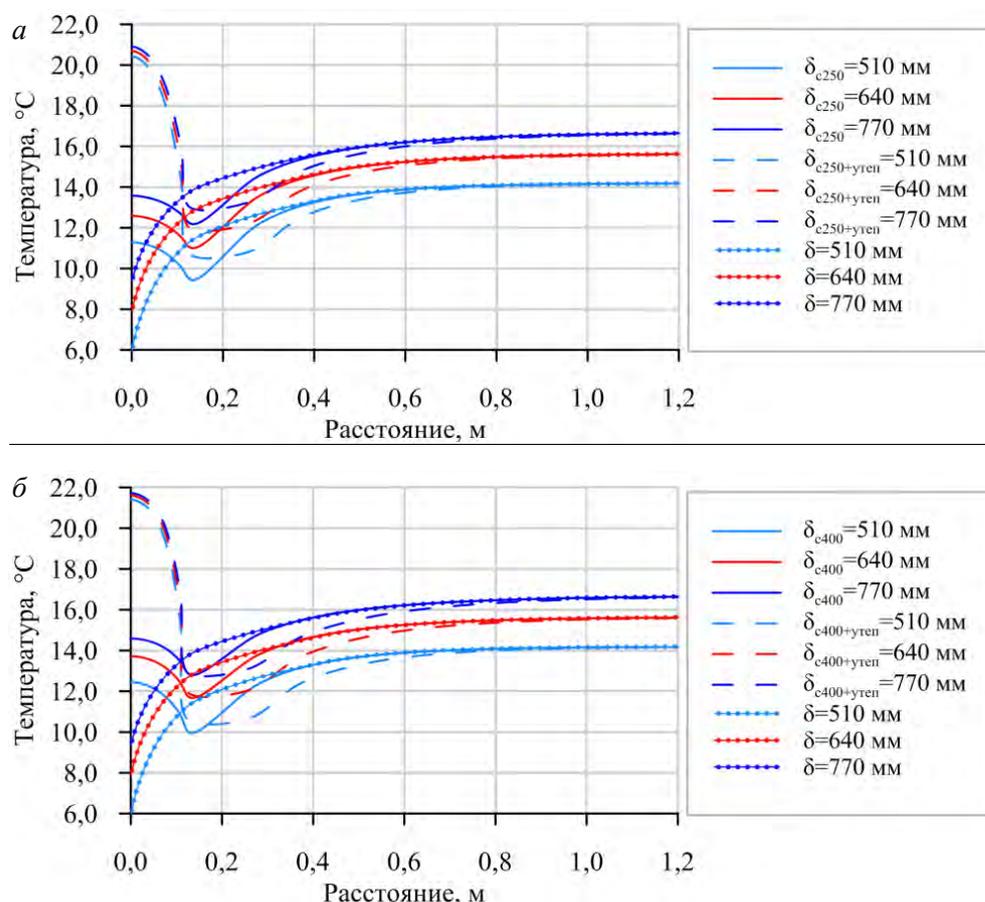


Рис. 8. График распределения температурных полей:

a – стена со скосом 250 мм; *б* – стена со скосом 400 мм

Fig. 8. Distribution of temperature fields:

a – walls with 250 mm bevel edge; *b* – walls with 400 mm bevel edge

Изменение конструкции стены в области наружного угла меняет и поведение температурного поля в этой области, на глади стены изменений никаких не возникает. При устройстве скоса температура на его поверхности увеличивается, но минимальная температура перемещается в углы, образованные скосами. Достоверность результатов контролируется программным комплексом и сравнением с известными аналитическими решениями.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно заключить, что применение утепленного скоса как способа по устранению негативного влияния мостика холода в области наружного угла демонстрирует лучшие ре-

зультаты по сравнению со скосом без утеплителя. Несмотря применение утеплителя, точка с минимальным значением температуры сохраняется в углах, как и при скосе без утеплителя, и также не превышает температуру точки росы $t_p = +13,5$ °С. Разница заключается в перемещении точки с минимальным значением температуры в углы, образованные скосом. В этом случае минимальная температура образуется сразу в двух местах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лобов О.И., Ананьев А.И., Рымаров А.Г. Основные причины несоответствия фактического уровня тепловой защиты наружных стен современных зданий нормативным требованиям // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 11. С. 67–71.
2. Гагарин В.Г., Чжоу Чжибо. О нормировании тепловой защиты зданий в Китае // Жилищное строительство. 2015. № 7. С. 18–22.
3. Аралов Е.С., Кумицкий Б.М., Бугаевский Д.О. Эффективность теплоизоляционных материалов, применяемых при строительстве наружных ограждающих конструкций // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. 2021. № 4 (25). С. 26–31.
4. Real S., Gomes G., Rodrigues M., Bogas A. Contribution of structural lightweight aggregate concrete to the reduction of thermal bridging effect in buildings // Construction and Building Materials. 2016. V. 121. P. 460–470.
5. Tsvetkov N., Khutornoi A., Kozlobrodov A., Ivanova E., Golovko A. Thermal state analysis of energy saving structures of cast-in-place lightweight aggregate concrete walls // MATEC Web of Conferences. 2018. V. 143. P. 01002. URL: <https://doi:10.1051/mateconf/201714301002>
6. Заболотный Д.Ю. Температурные мосты или мостики холода в жилых зданиях и сооружениях // Аллея науки. 2018. Т. 7. № 5 (21). С. 679–685.
7. Черкасов А.В., Деревцова К.В., Евсеев А.В. Конструктивные решения проблемы образования мостиков холода в жилых каркасных зданиях // Перспективы науки. 2019. № 11 (122). С. 49–51.
8. Егорова Т.С., Черкас В.Е. Повышение энергоэффективности зданий благодаря устранению критических мостиков холода и непрерывной изоляции выступающих строительных конструкций // Вестник МГСУ. 2011. № 3-1. С. 421–428.
9. Иванов А.В., Муреев П.Н., Осокина В.А., Макаров А.Н. Архитектурные элементы зданий как способ борьбы с мостиками холода // Фундаментальные исследования. 2016. № 3-1. С. 25–30.
10. Иванова Е.А., Козлобродов А.Н. Численное исследование влияние угла разворота на теплоперенос в многослойных элементах наружных ограждающих конструкций // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2020. Т. 6. № 4 (24). С. 69–87.
11. Назиров Р.А., Подковырин В.С., Подковырина К.А. Определение температуры внутренней поверхности в наружных углах зданий // Известия вузов. Строительство. 2016. № 10–11. С. 106–111.
12. Тимофеев Н.В., Сахновская С.А., Боклаг С.М., Петунина А.И. Эффективность фрагментарной скрепленной теплоизоляции наружных стен // Современное промышленное и гражданское строительство. 2011. Т. 7. № 2. С. 91–97.
13. Керник А.Г., Горшков А.С. Экономическая эффективность утепления стен каркасного дома // Кровельные и изоляционные материалы. 2017. № 6. С. 15–20.
14. Елохов А.Е., Верховский А.А., Борисов В.А. Сравнение эффективности схем утепления в системах навесных вентилируемых фасадов // Строительные науки. 2018. № 4. С. 116–122.
15. Туснина О.А., Емельянов А.А., Туснина В.М. Теплотехнические свойства различных конструктивных систем навесных вентилируемых фасадов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 8. С. 54–65.
16. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Москва : АВОК–ПРЕСС, 2006. 256 с.

REFERENCES

1. Lobov O.I., Ananiev A.I., Rymarov A.G. Main reasons for non-compliance of real heat protection of external walls of modern buildings with regulatory requirements. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016; (11): 67–71. (In Russian)
2. Gagarin V.G., Zhou Zhibo. Thermal performance control of buildings in China. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2015; (7): 18–22. (In Russian)
3. Aralov E.C., Kumickij B.M., Bugaevskii D.O. Efficiency of heat-insulating materials used in construction of building envelopes. *Gradostroitel'stvo. Infrastruktura. Kommunikacii*. 2021; 4 (25): 26–31. (In Russian)
4. Real S., Gomes G., Rodrigues M., Bogas A. Contribution of structural lightweight aggregate concrete to the reduction of thermal bridging effect in buildings. *Construction and Building Materials*. 2016; 121: 460–470.
5. Tsvetkov N., Khutornoi A., Kozlobrodov A., Ivanova E., Golovko A. Thermal state analysis of energy saving structures of cast-in-place lightweight aggregate concrete walls. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 143: 01002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201714301002>
6. Zabolotnyj D.U. Thermal bypass in residential buildings and structures. *Alleya nauki*. 2018; 5 (21): 679–685. (In Russian)
7. Cherkasov A.V., Derevcova K.V., Evseev A.V. Constructive solutions of thermal bypass formation in residential buildings. *Perspektivy nauki*. 2019; 11 (122): 49–51. (In Russian)
8. Egorova T.S., Cherkas V.E. Improvement of energy efficiency of buildings by removing thermal bridges and insulation of projecting parts. *Vestnik MGSU*. 2011; (3-1): 421–428. (In Russian)
9. Ivanov A.V., Mureev P.N., Osokina V.A., Makarov A.N. Architectural elements of building for thermal bypasses. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2016; (3-1): 25–30. (In Russian)
10. Ivanova E.A., Kozlobrodov A.N. Numerical study of turning angle effect on heat transfer in multilayered elements of building envelopes. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft', gaz, energetika*. 2020; 4 (24): 69–87. (In Russian)
11. Nazirov R.A., Podkovyrin V.S., Podkovyrina K.A. Interior surface temperature measurement in external corners of building. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2016; (10–11): 106–111. (In Russian)
12. Timofeev N.V., Sahnovskaya S.A., Boklag S.M., Petunina A.I. Efficiency of fragmentary bonded thermal insulation of external walls. *Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2011; (2): 91–97. (In Russian)
13. Kernik A.G., Gorshkov A.S. Economic efficiency of frame house wall insulation. *Krovel'nye i izolyacionnye materialy*. 2017; (6): 15–20. (In Russian)
14. Elohov A.E., Verhovskij A.A., Borisov V.A. Insulation effectiveness in systems of hinged ventilated facades. *Stroitel'nye nauki*. 2018; (4): 116–122. (In Russian)
15. Tushina O.A., Emel'yanov A.A., Tushina V.M. Thermal insulation properties of various ventilated facade systems. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2013; (8): 54–65. (In Russian)
16. Fokin K.F. Construction heat engineering of building envelopes. Moscow: AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Иванова Елена Александровна, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, energosber_e@mail.ru

Пенявский Виталий Владимирович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, pvv.tgasu@yandex.ru

Authors Details

Elena A. Ivanova, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, energosber_e@mail.ru

Vitalii V. Penyavskii, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, pvv.tgasu@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 16.07.2023
Одобрена после рецензирования 24.08.2023
Принята к публикации 17.10.2023

Submitted for publication 16.07.2023
Approved after review 24.08.2023
Accepted for publication 17.10.2023

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 120–131.

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; 25 (5): 120–131.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 628.515:504.064.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-120-131

EDN: SNZPTW

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАИЛУЧШИХ ДОСТУПНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМЕ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОГО УЧАСТКА РЕКИ ТОМИ

**Александр Мартынович Адам¹, Ольга Дмитриевна Лукашевич²,
Галина Ивановна Мершина³**

¹*Национальный исследовательский*

Томский государственный университет, г. Томск, Россия

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

³*Верхне-Обское бассейновое водное управление, г. Новосибирск, Россия*

Аннотация. Современная система управления водными ресурсами строится на основе внедрения в хозяйственную и прочие виды деятельности принципов наилучших доступных технологий. Это подразумевает рациональное использование природных ресурсов, их охрану от вредных воздействий, организацию оптимальной комплексной системы управления взаимодействием в системе «природный ресурс – хозяйствующий субъект».

Существующие недостатки экономического регулирования в водохозяйственной сфере могут быть преодолены благодаря интенсификации перехода к технологическому нормированию путем выбора наилучших доступных технологий. В настоящее время в стране завершился первый этап внедрения этой системы в сфере охраны окружающей среды для обеспечения минимизации негативного воздействия на окружающую среду, в том числе и в сфере управления водными ресурсами.

В работе выполнен анализ практической деятельности водопользователей с целью оценки ее эффективности за период 2019–2021 гг. на примере водохозяйственного участка 13.01.03.004 (р. Томь от г. Кемерово до ее устья в Томской области).

Показаны положительные тенденции изменения качества воды. Дана прогнозная оценка развития водно-экологической ситуации на исследуемом участке. Полученные результаты позволят оптимизировать неистощительное водопользование в регионе.

Ключевые слова: сточные воды, сброс сточных вод, водопользование, качество поверхностных вод, охрана водных объектов, наилучшие доступные технологии, водно-экологические нормативы

Для цитирования: Адам А.М., Лукашевич О.Д., Мершина Г.И. Оценка эффективности применения наилучших доступных технологий в системе водопользования на примере водохозяйственного участка реки Томи // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 120–131. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-120-131. EDN: SNZPTW

ORIGINAL ARTICLE

EFFICIENCY OF BEST AVAILABLE TECHNIQUES IN WATER UTILIZATION ON WATER MANAGEMENT SITE OF THE RIVER TOM

Aleksandr M. Adam¹, Olga D. Lukashevich², Galina I. Mershina³

¹National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

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

³Verkhne-Obskoye Basin Water Management Board, Novosibirsk, Russia

Abstract. The modern system of water resource management is based on the principles of best available techniques (BAT) in economy and other activities. It implies rational use of natural resources, their protection from harmful effects, creation of the integrated system for the natural resource–economy system. Shortcomings of the economic regulation in water management can be overcome by intensifying the transition to technological regulation via BAT. At present, the first stage of the implementing this system in Russia is completed in the field of environmental protection to minimize the negative environmental impact, including water resource management. The paper analyzes practical activities of water users to assess its effectiveness for the years 2019–2021 on the example of the Tom river from Kemerovo to its mouth in the Tomsk region. Positive trends in water quality are described. The development of the water-ecological situation in the study area is predicted. The obtained results will allow optimizing the water use in the region.

Keywords: wastewater discharge, water management, surface water quality, protection of water bodies, best available techniques, environmental standards

For citation: Adam A.M., Lukashevich O.D., Mershina G.I. Efficiency of the best available techniques in water utilization on water management site of the river Tom. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 120–131. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-120-131. EDN: SNZPTW

Введение

С использованием водных ресурсов связана экономическая деятельность (формирование высокотехнологичных производств, конкурентоспособность, инновационное развитие) и жизнедеятельность населения страны. В то

же время напряженность в водохозяйственном секторе ввиду истощения и загрязнения водных ресурсов на глобальном, меж- и внутригосударственном, а также локальном уровнях уже более 70 лет продолжает возрастать, что обусловлено как природными, так и техногенными факторами [3, 4, 9, 17]. Преодоление в России этой тенденции, связанной с нерациональным использованием и недостатками законодательного и исполнительного компонентов системы охраны водных ресурсов, требует системного подхода к решению одновременно научно-методологических, научно-практических, организационно-управленческих, эколого-культурных (мотивационно-ценностных, образовательных) проблем водопользования [1, 5, 6, 7, 11, 13].

Гидроэкологическое регламентирование (ограничение) водопользования, в соответствии с концепцией устойчивого развития, предполагает баланс социальных, экономических, государственных, экологических интересов [6, 7, 10, 12]. Это означает, что одновременно с удовлетворением потребностей общества в использовании воды (рекреационном, хозяйственно-бытовом, производственном, техническом, рыбохозяйственном, как средства труда и т. д.) следует учитывать технологические возможности хозяйствующих субъектов и необходимость сохранения водных экосистем для будущих поколений.

Существующие недостатки экономического регулирования в водохозяйственной сфере могут быть преодолены благодаря интенсификации перехода к технологическому нормированию путем выбора наилучших доступных технологий (НДТ). В настоящее время практически завершился первый этап внедрения системы НДТ в сфере охраны окружающей среды с целью обеспечения минимизации негативного воздействия на окружающую среду, в том числе и в сфере управления водными ресурсами (Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»).

Первый национальный опыт внедрения этого подхода получен для нескольких рек, в основном – в европейской части страны [1, 15, 19].

В рамках настоящего исследования выполнена оценка экологического состояния р. Томи от г. Кемерово до ее устья в Томской области и приведен региональный опыт внедрения системы наилучших доступных технологий.

Методы, объекты, терминологический аппарат исследования

В работе авторы руководствовались принципами системы управления в области использования и охраны водных объектов, базирующимися на бассейновом подходе [12], частями которого являются водохозяйственные участки (ВХУ). Ниже приведены трактовки основных понятий и терминов, принятых в российской правоприменительной водохозяйственной системе.

ВХУ – это «часть речного бассейна, имеющая характеристики (границы, площадь, географическое положение, рельеф местности, пересекаемые ландшафты, абсолютные высоты, административные границы), позволяющие установить лимиты забора (изъятия) водных ресурсов из водного объекта и другие параметры использования водного объекта (водопользования)» (Водный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 1 мая 2022 г.), Кодекс РФ от 3 июня 2006 г. № 74-ФЗ – см. Собрание законодательства Российской Федерации, 2006, № 23, ст. 2381).

Наилучшая доступная технология (НДТ)¹ – «технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения».

Исследуемый водохозяйственный участок (регистрационный номер 13.01.03.004) площадью 14 600 км² представляет собой часть бассейна р. Томи от г. Кемерово до ее впадения в р. Обь (рис. 1), охватывающий некоторые части территории в Томской, Кемеровской и Новосибирской областях [18].

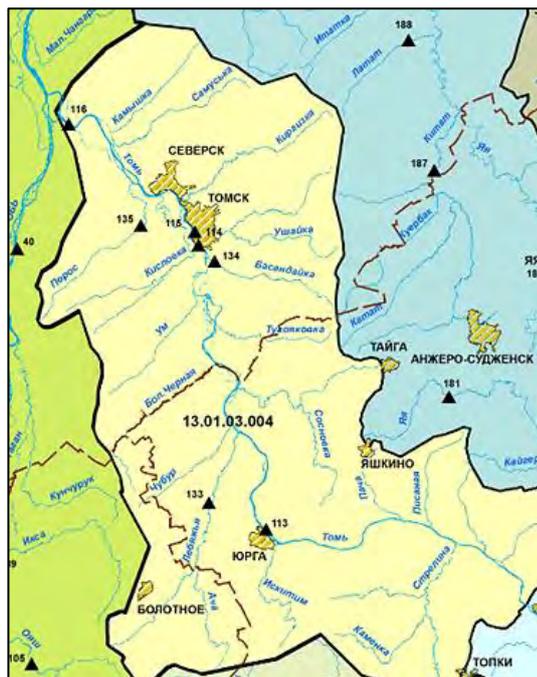


Рис. 1. Расположение исследуемого участка р. Томи (13.01.03.004) в границах Кемеровской и Томской областей (по [18])

Fig. 1. Location of the River Tom site (13.01.03.004) within the boundaries of Kemerovo and Tomsk regions [18]

Исследуемый ВХУ интенсивно используется для нескольких целей [17]:

- забор водных ресурсов для обеспечения питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения;
- рекреационное использование в теплое время года;
- водоотбор для орошения сельскохозяйственных земель;
- забор воды для использования при добыче полезных ископаемых (например, песчано-гравийной смеси);
- сброс производственных, ливневых, коммунальных, сельскохозяйственных сточных вод;

¹ URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/NDT>

– неистощительное водопользование (судоходство, хранение плавсредств);

– работы, связанные с изменением дна и берегов.

Право пользования водным объектом предоставляется на основе лимитов и квот, которые выделяются в строгом соответствии со Схемой комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Оби (СКИОВО Обь)².

Результаты исследования

Анализ научной литературы, экспертных заключений специалистов в области экологического права, обобщение опыта многолетней работы [1, 7, 8, 20, 21, 22, 23] показывает, что в целом российская система водопользования не может считаться эффективной. Большинство исследователей, в том числе авторы работы [7], считают, что экономические инструменты управления водопользованием нуждаются в рационализации. Существующие подходы «не мотивируют водопользователей к эффективному использованию водных ресурсов и организации водоохранной деятельности» [7]. Улучшению ситуации способствует совершенствование экологического нормирования [3, 4, 8, 16] с разработкой комплексных показателей антропогенной нагрузки, позволяющих всесторонне оценить влияние эффективности очистки сточных вод на степень их негативного воздействия на водные экосистемы. Внедрение зарубежного опыта «использования наилучших доступных технологий и системы платежей за загрязнение» [7] происходит на современном этапе крайне медленно. Частично это объясняется низким размером такой платы (в отличие от существенно более высокого в западных странах) и неопределенностью ее правового статуса [7, 15, 16] (рис. 2).



Рис. 2. Основные причины низкой эффективности управления водопользованием (по [7, 15])

Fig. 2. Main causes of low efficiency of water consumption [7, 15]

² ГОСТ Р 58555–2019. Экспертно-комбинированный метод регулирования водопользования. Москва: Стандартинформ, 2019. 29 с.

Главная водная артерия исследуемого ВХУ – р. Томь. Пересекая территорию крупных промышленных центров (Междуреченск, Новокузнецк, Кемерово, Томск), река служит коллектором для недостаточно очищенных сточных и ливневых вод предприятий преимущественно топливно-энергетической, горнодобывающей, золотодобывающей, металлургической и химической отраслей, а также коммунального хозяйства [14]. Согласно многолетним статистическим данным³, среди водотоков Обь-Иртышского бассейна именно р. Томь с притоками лидирует по объемам сбрасываемых сточных вод. В их структуре «высока доля неочищенных или недостаточно очищенных стоков» [10]. Как и в других высоко урбанизированных, промышленно развитых районах, на территории Кемеровской и Томской областей для р. Томи отмечаются «высокие коэффициенты использования водных ресурсов и низкая кратность разбавления» стоков, что проявляется на фоне общей тенденции сокращения забора воды и сброса стоков [10].

Авторы обширного исследования [9] подтверждают этот факт, указывая, что наиболее низким качеством воды в бассейне Оби обладают водные объекты Новосибирской и Томской областей. Отмечается, что в целом способность к самоочищению в период открытой воды на всем протяжении характеризуется высоким потенциалом и интенсивностью самоочищения [9].

Потенциальное увеличение поступления сточных вод (обусловленное планами экономического роста юга Западной Сибири) при одновременной тенденции сокращения (в контексте продолжающегося потепления климата и усыхания малых рек) водного стока несет угрозу снижения потенциала самоочищения р. Томи и ведет к росту загрязненности ее вод.

В настоящее время потребность в водных ресурсах населения и предприятий обеспечивается в полном объеме и составляет:

- на забор воды – 370 млн м³ в год (1,5 % от возможного объема забора воды);
- на сброс сточных вод – 562,2 млн м³ в год (2,5 % от возможного объема сброса сточных вод).

Наблюдаемое по данным статистической отчетности значительное (в полтора раза) превышение объема сбрасываемых сточных вод над изъятими из реки объясняется использованием водопользователями больших запасов подземных вод, имеющихся на территории области.

Динамика сброса сточных вод на ВХУ за период 2018–2021 гг., в результате природоохранной деятельности водопользователей по исполнению требований системы НДТ, показывает положительные тенденции:

- сокращение объема сброса сточных вод с 406 до 369 млн м³ (т. е. на 10 %);
- сокращение массы сбрасываемых загрязняющих веществ по сравнению с наблюдавшейся ранее: переломлена сложившаяся ранее тенденция устойчивого превышения в водных объектах на ВХУ таких нормативных показателей, как БПК_{полн.}, нефтепродукты, аммоний-ион, ХПК, фосфаты, фенолы;
- улучшение качества воды в р. Томи по маркерным показателям: БПК_{полн.}, нефтепродукты, аммоний-ион, ХПК;

³ Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/databases/emiss/ (дата обращения: 30.08.2023).

– увеличение содержания кислорода в замыкающем створе р. Томи (0,1 км выше с. Козюлино) на 25 % (с 8,51 до 10,6 мг/л).

Ниже приведены обобщенные химико-аналитические данные, свидетельствующие о снижении степени загрязнения воды на ВХУ веществами органического происхождения.

Масса сброса (по БПК_{полн}) снизилась почти в 2 раза. При этом качество воды по данному показателю также улучшается в 1,3 раза (рис. 3).

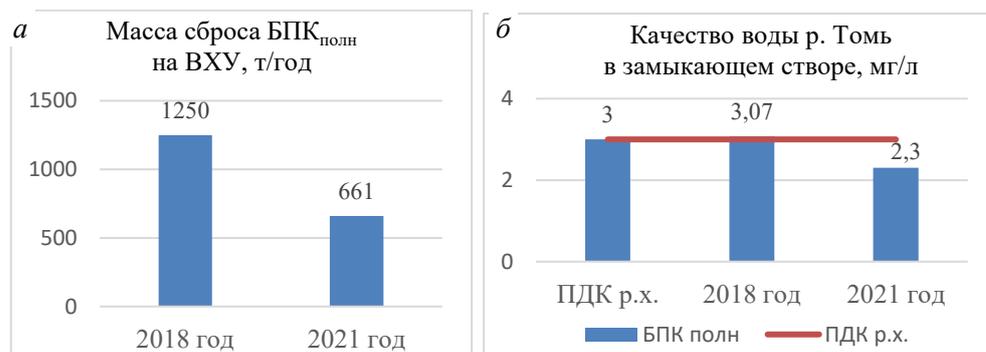


Рис. 3. Динамика массы сброса (а) и концентрации БПК_{полн} (б) в р. Томи на ВХУ
Fig. 3. Dynamics of discharge mass (a) and full concentration (b) in the River Tom

Установлено, что масса сброса нефтепродуктов уменьшилась почти в 1,7 раза (рис. 4), одновременно качество воды по данному показателю также улучшилось в 1,7 раза.

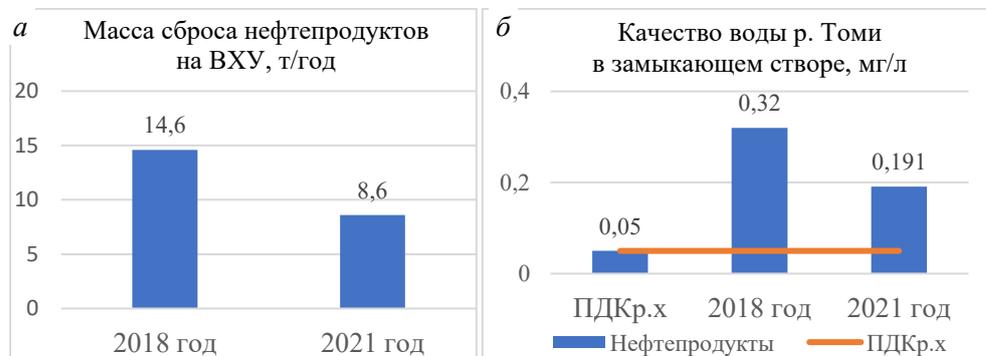


Рис. 4. Изменение массы сброса нефтепродуктов (а) и концентрации нефтепродуктов (б) в р. Томи на ВХУ
Fig. 4. Changes in oil product discharge (a) and concentration (b) in the River Tom

Масса сброса аммоний-иона уменьшается почти в 1,7 раза. При этом качество воды по данному показателю также улучшается в 1,5 раза (рис. 5).

На рис. 6 представлены данные, свидетельствующие о снижении содержания в воде органических и неорганических веществ, определяемых по бихроматной окисляемости (ХПК).

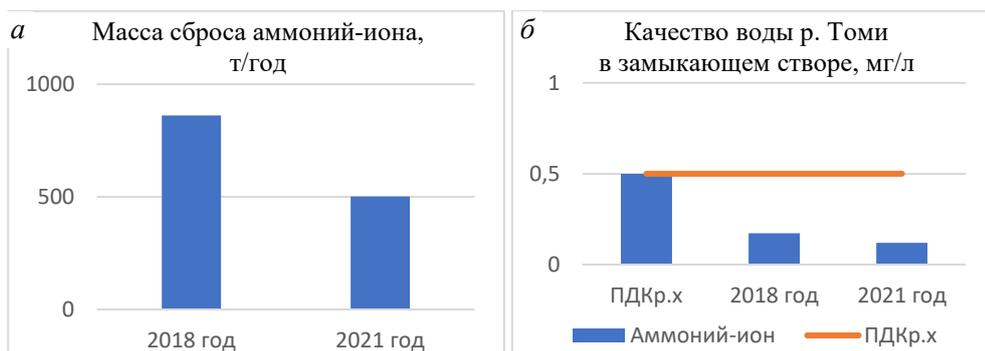


Рис. 5. Изменение массы сброса (а) и концентрации (б) аммоний-иона в р. Томи на ВХУ
 Fig. 5. Discharge mass (a) and concentration (b) of ammonium-ion in the River Tom

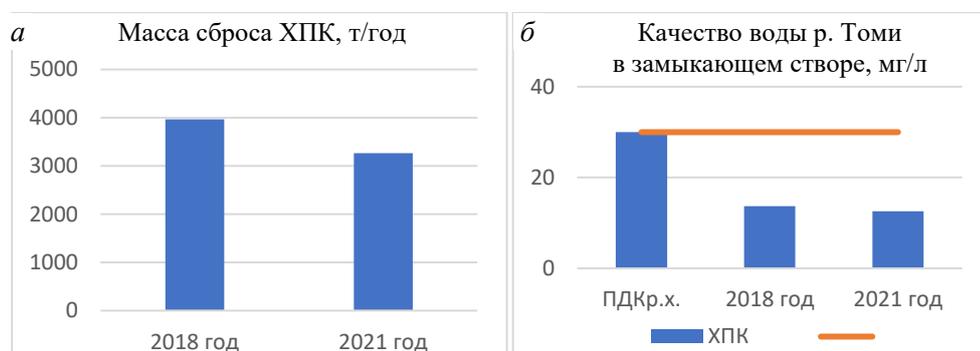


Рис. 6. Динамика массы сброса и концентрации ХПК в р. Томи на ВХУ
 Fig. 6. Dynamics of discharge mass and concentration of dichromate oxidizability in the River Tom

Масса сброса этих веществ уменьшается почти в 1,2 раза. Симбатно качество воды по данному показателю также улучшается в 1,1 раза. Произошедшее увеличение содержания кислорода в замыкающем створе р. Томи на 25 % открывает путь повышения самоочищающей способности реки, что в перспективе улучшит состояние гидробиоценозов и важных гидрохимических показателей на ее участках.

Заключение

На основе анализа результатов многолетних исследований водно-экологических проблем бассейна р. Томи и изучения современного состояния водопользования на выделенном водохозяйственном участке 13.01.03.004 можно утверждать, что наметилась позитивная тенденция в отношении маркерных показателей качества речной воды. Вероятной причиной этого может являться экономический спад и снижение численности населения в регионе, поскольку в исследуемый временной период не были введены в строй новые очистные сооружения, которые бы коренным образом изменили в лучшую сторону качественный и количественный состав промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Вместе с тем, учитывая направленность государственной экономической политики на рост отраслей реального производства, можно ожидать увеличения активности водопользователей и, как следствие, роста объемов сбрасываемых неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод. Ряд исследователей, в том числе [11], справедливо указывают, что «свыше 86 % очистных сооружений на территории Томской области не обеспечивают достижение нормативных показателей качества сточных вод». Как следствие, загрязнение нефтепродуктами, тяжелыми металлами, органическими веществами и уменьшение содержания кислорода вызовет деградацию гидробиоценозов, снижение самоочищающей способности воды и ухудшение ее качества для водопользователей.

Решение водно-экологических задач на ВХУ должно проводиться системно: с проектированием и использованием современных водоочистных сооружений; с развитием методологии экологического мониторинга; с переходом предприятий промышленности, сельского хозяйства, сферы услуг на маловодные/безводные технологии (например, с замкнутыми циклами); с совершенствованием законодательной и нормативно-технической базы в отношении водохозяйственной деятельности и исполнительской дисциплины.

Некоторые выводы в отношении наметившейся позитивной тенденции улучшения качества речной воды, связанной с началом внедрения принципов наилучших доступных технологий на исследуемой территории ВХУ:

1. Потребность в водных ресурсах населения и предприятий обеспечивается в полном объеме.

2. Реализация водопользователями природоохранных мероприятий в границах ВХУ 13.01.03.004 (р. Томь от г. Кемерово до устья) в рамках внедрения системы НДТ привела к существенному уменьшению массы сброса загрязняющих веществ и снижению концентрации основных загрязняющих веществ, что подтверждается корреляционной зависимостью данных показателей.

3. Сокращение объема сброса сточных вод за период наблюдения составило от 406 до 369 млн м³ (10 %).

4. Улучшилось качество воды р. Томи по маркерным веществам: БПК_{полн}, нефтепродукты, аммоний-ион, ХПК.

5. Произошло увеличение содержания кислорода в замыкающем створе р. Томи на 25 %, что в перспективе улучшит состояние гидробиоценозов и важных гидрохимических показателей на ее участках.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белокрылова Е.А., Уаге М.Б. Наилучшие доступные технологии в экологическом праве Российской Федерации // Вестник Удмуртского университета. Сер. 2: Экономика и право. 2014. Вып. 4. С. 119–123.
2. Об экологической ситуации в Томской области в 2021 году : доклад. Томск : ОГБУ «Облкомприрода», 2022. 124 с.
3. Дудников Ю.В. Проблемы нормирования негативного воздействия загрязняющих веществ на окружающую среду // Башкирский экологический вестник. 2011. № 2. С. 29–33.
4. Елисеев С.В. Особенности экологического нормирования сбросов предприятий водотведения и их абонентов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2012. № 4 (52). С. 8–10.
5. Лернер А.Д. Сточные воды: проблемы нормирования сбросов в рамках государственной экологической политики // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. 2016. № 1. С. 265–269.

6. Лукашевич О.Д. Геоэкологическая безопасность хозяйственно-питьевого водопользования в Верхнем и Среднем Приобье : специальность 25.00.36 «Геоэкология» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2007. 45 с.
7. Касимова Е.М., Оболдина Г.А., Попов А.Н. Совершенствование экономического механизма регулирования водопользования на основе комплексных показателей, используемых при внедрении наилучших доступных технологий // Водное хозяйство России. 2015. № 6. С. 54–66.
8. Оболдина Г.А. Альтернативный подход к методологии экологического нормирования // Водное хозяйство России. 2020. № 6. С. 63–86. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-6-4
9. Пузанов А.В., Безматерных Д.М., Ермолаева Н.И., Зиновьев А.Т., Кошелева Е.Д., Красноярова Б.А., Ловцкая О.В., Папина Т.С., Рыбкина И.Д., Трошкин Д.Н., Шарабарина С.Н., Яныгина Л.В. Современные водохозяйственные и экологические проблемы бассейна Оби и прогноз состояния до 2030 года // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2022. № 6. С. 45–58. DOI:10.35567/19994508_2022_6_3
10. Рыбкина И.Д., Стояцева Н.В., Губарев М.С., Орлова Е.С., Седова Е.Ю. Особенности водопользования в регионах Обь-Иртышского бассейна // Известия АО РГО. 2026. № 4. С. 19–29.
11. Савичев О.Г., Базанов В.А., Ломакина Н.Ю. Анализ эффективности очистки коммунально-бытовых сточных вод в Томской области // Вестник науки Сибири. Сер. 1. Науки о Земле. 2012. № 1 (2). С. 17–24.
12. Савичев О.Г. Гидроэкологическое обоснование водохозяйственных решений. Томск : Изд-во ТПУ, 2021. 166 с.
13. Сорока Н.Н. Закрепление института экологического нормирования в законодательстве Российской Федерации // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий 2016. № 4. С. 114–119.
14. Торосян В.Ф. Сезонные изменения гидрохимических показателей воды реки Томь в приграничной акватории Кемеровской и Томской областей // Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции. Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет, 2020. С. 318–321.
15. Уаге М.Б. Особенности права водопользования и охраны водных ресурсов промышленными предприятиями. Ижевск : Jus est, 2014. 148 с.
16. Уаге М.Б. Правовое регулирование промышленного водопользования в Российской Федерации // Вестник Удмуртского университета. Сер. 2: Экономика и право. 2017. Вып. 1. С. 142–146.
17. Шварцев С.Л., Савичев О.Г. Качество речных вод и проблемы управления водопользованием в бассейне реки Томи // Вычислительные технологии. 2006. Т. 11. Ч. 2. С. 67–78.
18. Шварцев С.Л., Домрачёва Е.В., Огнетова М.П. Базовые пункты гидрогеохимических наблюдений в бассейне р. Томи в 2000 г. // Гидрогеология, инженерная геология и гидрогеоэкология : материалы конференции, посвященной 75-летию кафедры ГИГЭ ТПУ, Томск, декабрь 2005 г. / Томский политехнический университет ; под ред. С.Л. Шварцева. Томск : Изд-во НТЛ, 2005. С. 205–218.
19. Щелчков К.А., Волосатова М.А., Гревцов О.В. Основные аспекты применения информационно-технических справочников по НДТ // Экология производства. 2019. № 5. С. 20–27.
20. Hubert Jenny, Yihong Wang. Using Artificial Intelligence for Smart Water Management Systems // ADB BRIEFS. 2020. June. № 143. P.1–10.
21. Schönberger H. Technique combinations to meet the ambitious ZDHC wastewater guidelines // Integrated Best Available Wastewater Management in the Textile Industry : Colloquium on Textile Wastewater Management 2018-09-19 / Scientific Head Dr.-Ing. Harald Schönberger. Vulkan-Verlag GmbH, Essen, 2018. 190 p. ISBN 978-3-8356-7411-0.
22. Brinkmann T., Santonja G.G., Yükseler H., Roudier S., Sancho L.D. Best available techniques (BAT) reference document for common waste water and waste gas treatment/management. Systems in the chemical sector : Industrial emissions directive 2010/75/EU integrated pollution prevention and control. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2016. 633 p. DOI: 10.2791/37535

23. Barenboim G.M., Danilov-Danilyan V.I., Gelfan A.N., Motovilov Y.U.G. On the problems of water quality in Russia and some approaches to their solution // Understanding Freshwater Quality Problems in a Changing World Proceedings of H04, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly. Gothenburg, Sweden, July 2013 (IAHS Publ. 361, 2013). P. 77–86.

REFERENCES

1. Belokrylova E.A., Uage M.B. Best available technologies in the environmental law of the Russian Federation. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. 2: Ekonomika i pravo*. 2014; (4): 119–123. (In Russian)
2. Environmental situation in the Tomsk Oblast in 2021: Report. Tomsk: Oblkompriroda, 2022. 124 p. (In Russian)
3. Dudnikov Y.V. Negative impact of pollutants on the environment. *Bashkirskii ekologicheskii vestnik*. 2011; (2): 29–33. (In Russian)
4. Eliseev S.V. Ecological rationing of discharges of water disposal enterprises. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2012; 4 (52): 8–10. (In Russian)
5. Lerner A.D. Wastewater: Problems of discharge rationing within the Dal'nii Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa. *Dal'nii Vostok: problemy razvitiya arkhitekturno-stroitel'nogo kompleksa*. 2016; (1): 265–269. (In Russian)
6. Lukashevich O.D. Geoecological safety of economic and drinking water use in the upper and middle Priobye. DSc Abstract. Tomsk: TSUAB, 2007. 45 p. (In Russian)
7. Kasimova E.M., Oboldina G.A., Popov A.N. Improvement of water use regulation on the basis of complex indicators for implementation of the best available technologies. *Vodnoe khozyaistvo Rossii*. 2015; (6): 54–66. (In Russian)
8. Oboldina G.A. Alternative approach to the methodology of environmental rationing. *Vodnoe khozyaistvo Rossii*. 2020. (6): 63–86. (In Russian)
9. Puzanov A.V., Bezmaternykh D.M., Ermolaeva N.I., Zinoviev A.T., Kosheleva E.D., Krasnoyaroova B.A., Lovtskaya O.V., Papina T.S., Rybkina I.D., Troshkin D.N., Sharabarina S.N., Yanygina L.V. Modern water and ecological problems of the Ob basin and forecast up to 2030. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*. 2022; (6): 45–58. DOI: 10.35567/19994508_2022_6_3 (In Russian)
10. Rybkina I.D., Stoyasheva N.V., Gubarev M.S., Orlova E.S., Sedova E.Y. Water use in the regions of the Ob-Irtysh basin. *Izvestiya AO RGO*. 2026; (4): 19–29. (In Russian)
11. Savichev O.G., Bazanov V.A., Lomakina N.Y. Efficiency of municipal wastewater treatment in the Tomsk region. *Vestnik nauki Sibiri. Ser. 1. Earth Sciences*. 2012; 1 (2): 17–24. (In Russian)
12. Savichev O.G. Hydroecological substantiation of water management decisions. Tomsk: TPU, 2021. 166 p. (In Russian)
13. Soroka N.N. The institute of environmental regulation in the legislation of the Russian Federation. *Vestnik Sibirskogo instituta biznesa i informatsionnykh tekhnologii*. 2016; (4): 114–119. (In Russian)
14. Torosyan V.F. Seasonal changes in hydrochemical indicators of the Tom River water in Kemerovo and Tomsk regions. In: *Proc. Int. Sci. Environmental Conference*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University, 2020. Pp. 318–321. (In Russian)
15. Uage M.B. Water use and protection of water resources by industrial enterprises. Izhevsk, 2014. 148 p. (In Russian)
16. Uage M.B. Legal regulation of industrial water use in the Russian Federation. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. 2: Ekonomika i pravo*. 2017; (1): 142–146. (In Russian)
17. Shvartsev S.L., Savichev O.G. River water quality and water management problems in the Tom River basin. *Vychislitel'nye tekhnologii*. 2006; 11. Part 2: 67–78. (In Russian)
18. Shvartsev S.L., Domracheva E.V., Ognatova M.P. Base points of hydrogeochemical observations in the River Tom basin in 2000. In: *Proc. Sci. Conf. 'Hydrogeology, Engineering Geology and Hydrogeoecology'*, S.L. Shvartsev, Ed., Tomsk: NTL, 2005. Pp. 205–218. (In Russian)
19. Shchelchikov K.A., Volosatova M.A., Grevtsov O.V. Main aspects of application of BAT information and reference books. *Ekologiya proizvodstva*. 2019; (5): 20–27. (In Russian)
20. Hubert Jenny, Yihong Wang. Using artificial intelligence for smart water management systems. *ADB BRIEFS*. 2020; (143): 1–10.

21. Schönberger H. Technique combinations to meet the ambitious ZDHC wastewater guidelines. Integrated Best Available Wastewater Management in the Textile Industry: Colloquium on Textile Wastewater Management. 2018. 190 p. ISBN 978-3-8356-7411-0.
22. Brinkmann T., Santonja G.G., Yükseler H., Roudier S., Sancho L.D. Best available techniques (BAT) reference document for common waste water and waste gas treatment/management. Systems in the chemical sector: Industrial emissions directive 2010/75/EU integrated pollution prevention and control. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016. 633 p. DOI: 10.2791/37535
23. Barenboim G.M., Danilov-Danilyan V.I., Gelfan A.N., Motovilov Y.U.G. On the problems of water quality in Russia and some approaches to their solution. Understanding Freshwater Quality Problems in a Changing World Proceedings of H04, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly. Gothenburg, Sweden, July 2013 (IAHS Publ. 361, 2013). Pp. 77–86.

Сведения об авторах

Адам Александр Мартынович, докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой, Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, ул. Ленина, 36, adam@green.tsu.ru

Лукашевич Ольга Дмитриевна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, odluk@yandex.ru

Мершина Галина Ивановна, руководитель Отдела водных ресурсов по Томской области, Верхне-Обское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов, 630087, Новосибирск, ул. Немировича-Данченко, 167, ovrto@tomsk.gov.ru

Authors Details

Aleksandr M. Adam, DSc, Professor, Head of Ecology, Nature Management and Environmental Engineering Department, National Research Tomsk State University, 36, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, adam@green.tsu.ru

Olga D. Lukashovich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, odluk@yandex.ru

Galina I. Mershina, Head of the Tomsk Region Water Resources Center, Verkhne-Obskoye Basin Water Management Board, 167, Nemirovich-Danchenko Str., 630087, Novosibirsk, Russia, ovrto@tomsk.gov.ru

Вклад авторов

Адам А.М. – идея, написание статьи.

Лукашевич О.Д. – сбор и обзор литературных сведений, написание статьи, научное редактирование текста.

Мершина Г.И. – сбор фактического материала, обработка материала, написание статьи. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

Adam A.M. idea, writing – original draft preparation.

Lukashovich O.D. literature review, writing – review and editing.

Mershina G.I. actual data collection, data processing, writing.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 20.06.2023
Одобрена после рецензирования 30.07.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 20.06.2023
Approved after review 30.07.2023
Accepted for publication 21.09.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 132–143.

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; 25 (5): 132–143.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 628.31

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-132-143

EDN: UETTSG

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЗЕРВУАРОВ-НАКОПИТЕЛЕЙ СТОЧНЫХ ВОД В АРКТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

**Даниил Алексеевич Суглобов¹, Елена Игоревна Вялкова¹,
Елена Юрьевна Осипова²**

¹*Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия*

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

Аннотация. Развитие инфраструктуры арктических поселений связано с устройством современных систем водоснабжения и водоотведения.

Актуальность. Низкие температуры воздуха и многолетнемерзлые грунты существенно осложняют строительство и эксплуатацию резервуаров, предназначенных для сбора и хранения сточных вод.

С целью обеспечения эффективного энергосбережения проводились предпроектные теплотехнические расчеты стальных емкостей в теплоизоляции ППС. Сравнивались методики вычислений и результаты, которые послужили основой для построения расчетных диаграмм.

Выводы. Полученные зависимости позволяют достаточно быстро и точно определить теплотери при полном или частичном заполнении резервуара водой. Это существенно облегчит процесс принятия решений на стадии проектирования северных объектов, расположенных в Ямало-Ненецком автономном округе.

Ключевые слова: резервуары-накопители сточных вод, теплотехнический расчет, теплоизоляция, потери тепла, энергосбережение

Для цитирования: Суглобов Д.А., Вялкова Е.И., Осипова Е.Ю. Особенности проектирования резервуаров-накопителей сточных вод в арктических условиях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 132–143. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-132-143. EDN: UETTSG

ORIGINAL ARTICLE

DESIGN OF EFFLUENT STORAGE TANKS IN ARCTIC CONDITIONS

Daniil A. Suglobov¹, Elena I. Vyalkova¹, Elena Yu. Osipova²

¹Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

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

Abstract. Purpose: The development of the Arctic settlements' infrastructure is associated with the installation of the modern water supply and sanitation systems. Low air temperatures and permafrost soils significantly complicate the construction and operation of tanks designed for effluent collection and storage.

Approach: For the effective energy saving, pre-design heat engineering calculations are conducted for effluent storage tanks with PPS thermal insulation.

Research findings: Calculation techniques and results are compared, which served as a basis for the construction of calculation diagrams.

Practical implications: The obtained dependences allow to rapidly and accurately determine the heat loss when the tank is completely or partially filled with water.

Originality/value: This study will considerably facilitate the decision-making process at the design stage of facilities locating in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug.

Keywords: effluent storage tanks, heat engineering calculation, heat insulation, heat loss, energy saving

For citation: Suglobov D.A., Vyalkova E.I., Osipova E.Yu. Design of effluent storage tanks in Arctic conditions. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 132–143. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-132-143. EDN: UETTSG

Введение

Российская стратегия развития Арктической зоны направлена на создание поселений с современной инфраструктурой, приоритетом для которых являются эффективные и энергосберегающие системы жизнеобеспечения¹. Выполнение поставленных задач существенно зависит от климатических, геологических и гидрогеологических условий Севера. Зона многолетнемерзлых грунтов занимает обширные территории России [1]. Например, в Ямало-Ненецком автономном округе практически вся территория приходится на «вечную мерзлоту» [2] или зону многолетнего криолитогенеза, в которой горные породы не оттаивают от одного-двух лет до нескольких тысячелетий. В данных условиях строительство и эксплуатация сооружений для транспортирования и хранения воды не только усложняются технологически, но и связаны с большими затратами на энергосбережение [3, 4].

При проектировании систем водоотведения в состав сооружений практически всегда входят различные емкости-накопители сточных вод: усреднители поступающих на очистку стоков по концентрациям и/или расходам; буферные емкости на сетях и приемные резервуары насосных станций; септики

¹ Указ Президента Российской Федерации № 645 «О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности до 2035 года». URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972> (дата обращения: 06.02.2022).

и другие виды накопителей. Резервуары, как и сети, также требуют утепления и/или устройства систем подогрева воды. Это необходимо с целью предотвращения промерзания и обеспечения технологических температур исходных стоков перед подачей на сооружения биологической очистки в период осень-зима-весна. Подобные сооружения характеризуются высокими энергозатратами и с точки зрения эффективного энергосбережения требуют точных расчетов возможных теплопотерь. Это особенно актуально при проектировании, строительстве и эксплуатации в регионах, где холодный период года с отрицательными температурами воздуха может длиться от 6 до 9 месяцев.

Как правило, проектировщики не выполняют предварительных теплотехнических расчетов и обычно принимают типовые решения по теплоизоляции резервуаров и оборудованию для подогрева воды. Это является причиной перерасхода электроэнергии и строительных материалов и в итоге увеличения капитальных и эксплуатационных затрат. Для повышения надежности сооружения, ресурсо- и энергосбережения необходимы более точные инженерные расчеты, являющиеся обоснованием для грамотных технических решений [5].

О.Г. Латуева, М.В. Дементьева, А.А. Курохтин и Н.Н. Хренкова в работах [6, 7, 8] затрагивают проблемы промерзания резервуаров с водой в условиях севера с точки зрения технико-экономической эффективности. Более детальные теплотехнические расчеты емкостей представлены в работах П.И. Тугунова, В.Ф. Новоселова, А.А. Коршака, А.М. Шаммазова, А.И. Пилипенко, А.А. Лукина и других инженеров [9, 10].

В предыдущей публикации были затронуты проблемы проектирования трубопроводов канализации, прокладываемых в условиях сурового арктического климата России [11]. В настоящей статье предлагаются варианты расчета резервуаров для хранения сточных вод в условиях низких температур с учетом минимальных эксплуатационных энергозатрат для вариантов: а) без учета газового пространства, т. е. на полное заполнение резервуара водой; б) с учетом газового пространства, когда резервуар заполнен частично (рис. 1). Расчеты выполнялись для стальных горизонтальных цилиндрических резервуаров (типа РС) в теплоизоляции (слой пенополистирола или ППС плюс слой фольги сверху), предназначенных для временного хранения бытовых сточных вод.

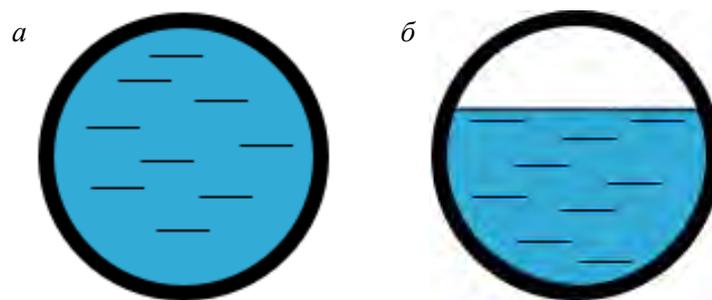


Рис. 1. Расчетные схемы резервуаров с водой:

а – полное наполнение; б – частичное наполнение

Fig. 1. Schematic of water tanks:

a – full; b – partially filled

Методы и материалы

Теплотехнический расчет резервуара производился по двум методикам [9, 10], результаты которых сравнивались. Согласно методике П.И. Тугунова [9], тепловые потери от резервуара в окружающую среду Q (Дж) определяются по формуле

$$Q = K_{ст} \cdot F \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где $K_{ст}$ – коэффициент теплопередачи от воды в резервуаре в окружающую среду, Вт/(м²·К); F – общая площадь поверхности резервуара, м²; ΔT – разность температур между водой в резервуаре и окружающей средой, К.

Коэффициент теплопередачи ($K_{ст}$) через стенку емкости определяется из уравнения зависимости, Вт/(м²·К):

$$\frac{1}{K_{ст}} = \frac{1}{\alpha_{1ст}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{2ст} + \alpha_{3ст}}, \quad (2)$$

где $\alpha_{1ст}$ – коэффициент теплоотдачи от воды к стенке резервуара; $\alpha_{2ст}$ – от наружной поверхности резервуара в окружающую среду; $\alpha_{3ст}$ – от стенки емкости радиацией, Вт/(м²·К); δ_i – толщина стенки емкости с учетом изоляции, м; λ_i – коэффициент теплопроводности материала стенки емкости с учетом изоляции, Вт/(м²·К).

При определении безразмерных критериев теплотехнического расчета определяющим размером является длина резервуара L , м. Коэффициент теплоотдачи конвекцией от воды к стенке емкости для цилиндрических емкостей и труб можно определить по формуле

$$\alpha_{1ст} = 0,5 \frac{\lambda_{в}}{L} (\text{Grh} \cdot \text{Pr}_{в})^{0,25} \left(\frac{\text{Pr}_{в}}{\text{Pr}_{ст}} \right)^{0,25}, \quad (3)$$

где $\lambda_{в}$ – коэффициент теплопроводности воды, Вт/(м²·К); L – длина резервуара, м; Grh – параметр Грасгофа; $\text{Pr}_{в}$ и $\text{Pr}_{ст}$ – параметр Прандтля при средней температуре воды или для стенки резервуара соответственно.

Коэффициент теплоотдачи $\alpha_{2ст}$ при вынужденной конвекции или обдувании холодным ветром резервуара, расположенного на земле, определяется по формуле

$$\alpha_{2ст} = C \frac{\lambda_{возд}}{d_{н}} \text{Re}_{возд}^n, \quad (4)$$

где $d_{н}$ – наружный диаметр резервуара, м; $\lambda_{возд}$ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м²·К); $\text{Re}_{возд}$ – коэффициент Рейнольдса для воздуха, который зависит от расчетной скорости ветра (w , м/с) и кинематической вязкости воздуха ($\nu_{возд}$, м²/с):

$$\text{Re}_{возд} = \frac{w \cdot d_{н}}{\nu_{возд}}. \quad (5)$$

Коэффициент теплоотдачи радиацией от стенки $\alpha_{3\text{ст}}$, Вт/(м²·К), определяется по формуле

$$\alpha_{3\text{ст}} = \varepsilon_{\text{ст}} \cdot C_s \frac{\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{\text{возд}}}{100}\right)^4}{T_{\text{ст}} - T_{\text{возд}}}, \quad (6)$$

где $C_s = 5,768$ Вт/(м²·К⁴) – коэффициент лучеиспускания; $\varepsilon_{\text{ст}}$ – степень черноты поверхности стенки, равная для алюминиевой фольги 0,055.

Согласно исследованиям А.И. Пилипенко [10], расчет удельных тепловых потерь ($Q_{\text{уд}}$) резервуара выполняется по методике подбора электронагревателей для обогрева резервуара для случая плоской многослойной стенки:

$$Q_{\text{уд}} = \frac{\Delta T_1}{\sum_{i=1}^n R_{in} + R_n}, \quad (7)$$

где $Q_{\text{уд}}$ – удельные теплотери с поверхности резервуара, Вт/м²; ΔT_1 – разница между температурой стенки резервуара и температурой окружающей среды, °С; $\sum_{i=1}^n R_{in}$ – сумма термических сопротивлений корпуса резервуара, теплоизоляционных и защитных слоев, определяется по формуле (8), м²·°С/Вт; R_n – термическое сопротивление теплопередаче от кожуха резервуара к окружающей среде, определяемое по формуле (9), м²·°С/Вт.

$$R_{in} = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (8)$$

где δ_i – толщина i -го слоя теплоизоляции, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя теплоизоляции, Вт/(м²·°С).

$$R_n = \frac{1}{\alpha_n}, \quad (9)$$

где α_n – коэффициент теплопередачи от поверхности кожуха к окружающей среде, Вт/(м²·°С).

Полные теплотери резервуара определяются как

$$Q_{\text{пот}} = Q_{\text{уд}} \cdot S, \quad (10)$$

где $Q_{\text{пот}}$ – полные теплотери с поверхности резервуара, Вт; $Q_{\text{уд}}$ – удельные теплотери с поверхности резервуара, рассчитанные по формуле (7), Вт/м²; S – площадь поверхности резервуара по теплоизоляции, м².

Исходные данные для расчетов наземных горизонтальных цилиндрических резервуаров-накопителей сточных вод из стали (типа РГС) в теплоизоляции ППС, расположенных в Ямало-Ненецком автономном округе, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для проектирования и расчетов резервуара

Table 1

Initial parameters for storage tank design

Наименование параметра	Значение, единица измерения
Скорость ветра	5,2 м/с
Температура окружающей среды минимальная	-54 °С; 219,15 К
Температура наиболее холодной пятидневки	-44 °С
Температура средняя за год	-12 °С
Минимальная температура сточных вод	+4 °С
Максимальная температура сточных вод	+14 °С
Номинальный объем резервуара	10–300 м ³
Материал резервуара	Сталь
Теплоизоляция резервуара: напыляемый слой ППС толщиной $\delta_{из}$ слой алюминиевой фольги	50–300 мм 0,2 мм
Коэффициент теплопроводности резервуара $\lambda_{ст}$	80 Вт/(м·К)
Теплоемкость стали $C_{ст}$	461 Дж/(кг·К)
Плотность стали $\rho_{ст}$	7850 кг/м ³
Теплоемкость теплоизоляции ППС $C_{из}$	840 Дж/(кг·К)
Плотность теплоизоляции ППС $\rho_{из}$	15 кг/м ³
Теплоемкость воды $C_{в}$	4200 Дж/(кг·К)
Плотность воды $\rho_{в}$	1000 кг/м ³

Расчеты проводились для нескольких вариантов заполнения резервуара – от 10 до 100 %, на основании которых строились сводные диаграммы, позволяющие определять тепловые потери при любых условиях. Для резервуаров с неполным заполнением вводится коэффициент теплопроводности для верхнего безводного слоя $K_{кр}$, который характеризует передачу тепла от газового пространства через резервуар к наружному воздуху.

Результаты исследований и обсуждение

В результате исследования была установлена зависимость изменения теплотерь (Q , кВт) от наполнения емкости водой (h/D). Для примера рассчитан стальной резервуар РГС-100 с наполнением h/D от 0,1 до 1 по методике П.И. Тугунова [9]. Были приняты следующие размеры резервуара: диаметр внутренний – 3,24 м; длина – 12,2 м; толщина стенки – 4 мм; номинальный объем воды – 100 м³. Результаты расчета занесены в табл. 2, а также построен график $Q = f(h/D)$, показывающий изменение теплотерь резервуара в зависимости от степени наполнения его сточной водой (рис. 2).

Таблица 2

**Расчет теплотерь резервуара РГС-100 в зависимости
от степени его наполнения сточной водой**

Table 2

**Calculation of heat losses of RGS-100 tank depending
on its filling with wastewater**

Расчетные параметры	Наполнение резервуара водой h/D						
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1
$h_{гп}$, м	2,92	2,27	1,62	0,97	0,65	0,32	0,00
$F_{кр}$, м ²	111,9	88,76	70,34	51,91	41,52	28,81	0,00
$F_{ст}$, м ²	28,81	51,91	70,34	88,76	99,15	111,86	140,67
$K_{кр}$	0,299	0,299	0,299	0,299	0,299	0,299	–
$K_{ст}$	0,08	0,13	0,17	0,20	0,23	0,25	0,31
Q , кВт	0,79	1,24	1,60	1,96	2,16	2,40	2,97

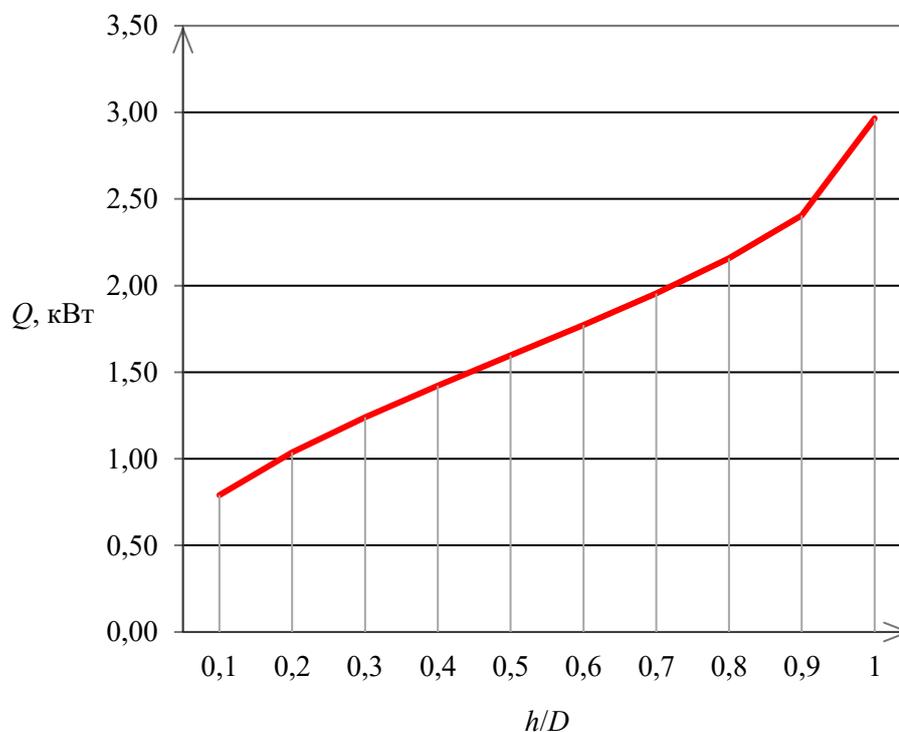


Рис. 2. График зависимости изменения теплотерь (Q , кВт) резервуара РГС-100 от его наполнения (h/D)

Fig. 2. Dependence of heat losses (Q , kW) of RGS-100 tank on its filling (h/D)

Анализ изменения теплотерь резервуара РГС-100 (рис. 3) выявил, что газовое пространство очевидно выступает отличным теплоизоляционным свойством и зависимость теплотерь от его наполнения прямо пропорцио-

нальна. При проектировании систем обогрева для резервуара принято рассчитывать его на максимальное наполнение, т. е. для обогрева потребляется энергия, рассчитанная на полное заполнение емкости сточной водой. Однако необходимо учитывать тот факт, что режим поступления сточных вод весьма неравномерный, и 100%-е наполнение достигается лишь в отдельные часы суток. При этом, если резервуар загружен более чем на 70 %, происходит значительный скачок теплопотерь (рис. 2). Поэтому предельным расчетным наполнением резервуара можно считать $h/D = 0,7$.

Если проводить данный расчет по методике А.И. Пилипенко [10], то при прочих равных условиях значения теплопотерь получаются на 10,5 % выше, чем по методике П.И. Тугунова [9], т. е. с небольшим запасом. Поэтому далее производился анализ теплопотерь при изменении объема воды и толщины изоляции резервуара по формулам, приведенным в работе [10].

Для установления влияния объема и толщины изоляции резервуара на теплопотери взяты горизонтальные типовые резервуары типа РГС объемами от 50 до 300 м³. В табл. 3 представлены типоразмеры выпускаемых резервуаров марки РГС и некоторые технические данные (масса продукта, корпуса и теплоизоляции).

Таблица 3

Типовые размеры и другие характеристики резервуаров марки РГС

Table 3

Typical dimensions and other characteristics of RGS tanks

Типовые размеры резервуара	Марка резервуара РГС					
	50	100	150	200	250	300
Длина L , м	8,8	12,2	18	24,4	22	24
Диаметр d , м	2,76	3,24	3,24	3,24	3,8	4
Объем V , м ³	52,62	100,54	148,33	201,07	249,38	301,44
Площадь S , м ²	88,22	140,60	199,61	264,72	285,17	326,56
Масса, т:						
воды	52,5	105	157,5	210	262,5	315
корпуса	2,77	4,41	6,27	8,31	8,95	10,25
теплоизоляции	0,13	0,21	0,30	0,40	0,43	0,49

Результаты определения теплопотерь в зависимости от объема воды и толщины изоляции ППС для резервуаров РГС приведены в табл. 4, на основании данных которой построена диаграмма (рис. 3). Марка изоляционного материала, тип стали и другие условия для резервуара остаются неизменными.

Данную зависимость (рис. 3) можно описать прямолинейным уравнением (11), позволяющим без расчета спрогнозировать теплотехнические параметры для любого горизонтального цилиндрического резервуара при конкретной толщине теплоизоляции:

$$Q_{\text{пот}} = a \cdot W_{\text{рез}} + b, \tag{11}$$

где $Q_{\text{пот}}$ – потери с поверхности резервуара в процессе разогрева, кВт; $W_{\text{рез}}$ – объем резервуара, м³; a и b – параметры в зависимости от толщины данной теплоизоляции, приведенные в табл. 5. Величина достоверности аппроксимации линейного сглаживания во всех случаях равна примерно $R^2 = 0,98$, и это говорит о том, что предлагаемые прямолинейные уравнения вполне приемлемы в описании зависимости $Q = f(W)$ для данной толщины теплоизоляции ППС.

Таблица 4

Теплопотери для резервуаров РГС в зависимости от толщины изоляции

Table 4

Heat losses for RGS tanks depending on insulation thickness

Толщина изоляции ППС, мм	Объем резервуара РГС, м ³						
	10	50	100	150	200	250	300
50	1,04	3,24	5,16	7,33	9,72	10,47	11,99
100	0,53	1,66	2,65	3,76	4,98	5,37	6,15
150	0,36	1,11	1,77	2,51	3,33	3,59	4,11
200	0,27	0,84	1,33	1,89	2,51	2,70	3,09
250	0,21	0,67	1,07	1,52	2,01	2,16	2,48
300	0,18	0,56	0,89	1,26	1,68	1,81	2,07

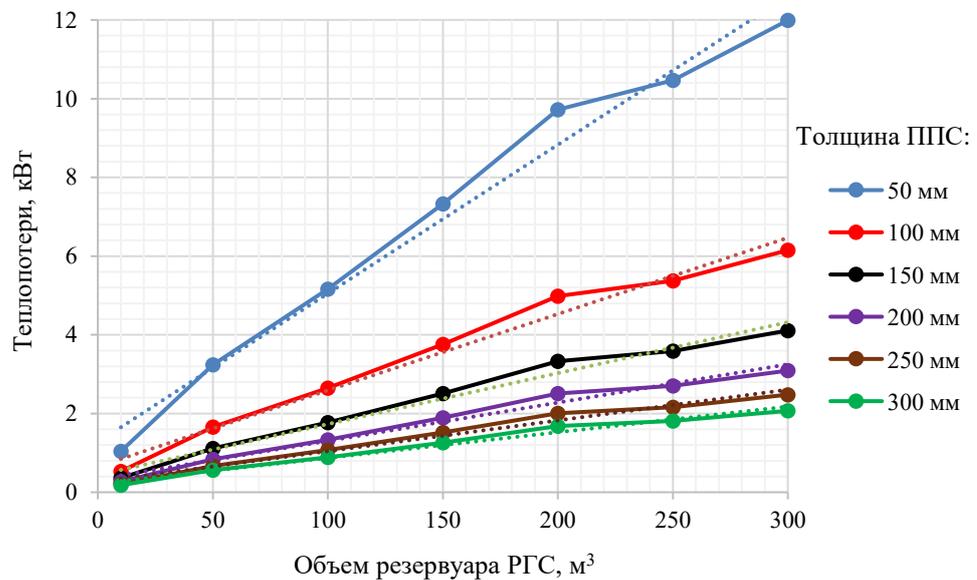


Рис. 3. График изменения теплопотерь (Q , кВт) резервуаров РГС объемом от 10 до 300 м³ в зависимости от слоя теплоизоляции ППС

Fig. 3. Dependences of heat losses (Q , kW) of RGS tanks with the volume 10 to 300 m³ on PPS thermal insulation layer

Таблица 5

Параметры a и b в зависимости от толщины ППС-изоляции

Table 5

Parameters a and b depending on PPS insulation thickness

Коэффициенты	Толщина изоляции резервуара, мм					
	50	100	150	200	250	300
a	0,038	0,019	0,013	0,01	0,008	0,007
b	1,27	0,65	0,44	0,33	0,26	0,22

На основании приведенного расчета дополнительно была установлена зависимость между энергопотреблением и количеством резервуаров на заданный общий объем. Например, для нагрева одного резервуара объемом 300 м^3 требуется 144 кВт энергии; для двух резервуаров по 150 м^3 – 145,96 кВт (разница составляет 1,96 кВт); для шести резервуаров по 50 м^3 – 148,62 кВт (разница – 4,62 кВт). При увеличении количества резервуаров и сохранении одинакового общего объема энергозатраты существенно возрастают. При замене двух резервуаров объемом 200 м^3 каждый на четыре объемом 100 м^3 каждый затраты энергии на нагрев и поддержание заданной температуры сточных вод могут возрасти на 35 %.

Выводы

Таким образом, теплотехнический расчет стального резервуара-накопителя сточных вод показал, что общие теплопотери сооружения зависят от объема резервуара, его наполнения водой и толщины изоляции при прочих равных условиях. Сравнивая методики расчета теплопотерь емкостных сооружений с водой при одинаковых исходных данных, можно утверждать, что значения теплопотерь для резервуара по П.И. Тугунову [9] на 10,5 % меньше, чем по А.И. Пилипенко [10].

Оптимальное значение наполнения (h/D) с точки зрения энергосбережения составляет не более 0,7. Если резервуар заполнить полностью, то потери тепла возрастут примерно в 1,5 раза. Это связано с тем, что газовое надводное пространство обладает теплосберегающим эффектом для воды.

Полученная диаграмма (рис. 3) позволяет определить тепловые потери резервуаров типа РГС в зависимости от объема резервуара и толщины изоляции ППС для районов строительства в Ямало-Ненецком автономном округе. Используя полученные данные, можно сделать прогноз по энергопотреблению резервуаров-накопителей сточных вод и подобрать необходимое электрооборудование для подогрева воды в зимнее время. Предварительный теплотехнический анализ существенно облегчит задачу проектировщика при выборе оптимального варианта теплоизоляции резервуара.

Количество резервуаров существенно влияет на энергопотребление: с точки зрения энергосбережения выгоднее устраивать меньшее количество емкостей с максимальным объемом сточных вод.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лукин Ю.Ф. Статус, состав, население Российской Арктики // Арктика и Север. 2014. № 15. С. 57–94.
2. Громадский А.Н. Основные факторы, оказывающие воздействие на вечномёрзлые грунты и анализ их взаимодействия // Научный вестник ЯНАО. Экология Арктики. 2016. № 4 (93). С. 20–24.
3. Гинзбург А.В., Терехов Л.Д., Акимов О.В., Ганус А.Н. Энергосберегающие технологии при проектировании водоводов на Севере // Проектирование и строительство транспортных объектов в условиях Республики Саха (Якутия) : сб. материалов науч.-практ. конф. Якутск : Як. фил. изд. СО РАН, 2003, С. 86–95.
4. Vialkova E., Maksimova S., Zemlyanova M., Maksimov L., Vorotnikova A. Integrated design approach to small sewage systems in the Arctic climate // Environmental Processes 2020. № 7 (2). P. 673–690.
5. Гинзбург А.В. Экономические условия эксплуатации водонесущих систем на Севере // Коммунальный комплекс России. 2005. № 1 (7). С. 66–69.
6. Латуева О.Г. Особенности проектирования систем водоснабжения и канализации при обустройстве нефтяных месторождений // Молодежь и наука : сб. материалов X Юбилейной Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края, Красноярск / Сибирский федеральный университет, 2014. URL: <https://elibr.sfu-kras.ru/handle/2311/19178> (дата обращения: 06.02.2023).
7. Дементьева М.Е., Курохтин А.А. Особенности эксплуатации канализационно-насосных станций теплостанций в условиях Крайнего Севера // Вестник МГСУ. 2019. № 14. Вып. 3. С. 356–366.
8. Хренков Н.Н. Сопоставление температурных режимов обогрева стальных и пластиковых трубопроводов // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2014. № 1. С. 28–36.
9. Тугунов П.И., Новоселов В.Ф., Коршаков А.А., Шаммазов А.М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2002. 658 с.
10. Пилипенко А.И., Лукина А.А. Методика подбора электронагревателей для обогрева резервуара // Промышленный электрообогрев и электроотопление. 2012. № 4. С. 30–36.
11. Суглобов Д.А., Вялкова Е.И., Осипова Е.Ю. Особенности проектирования сетей канализации в арктических условиях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 5. С. 133–144. URL: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-5-133-144>

REFERENCES

1. Lukin Y.F. Status, composition, population of Russian Arctic. *Arktika i Sever*. 2014; (15): 57–94. (In Russian)
2. Gromadskiy A.N. Main factors affecting permafrost soils and analysis of their interaction. *Nauchnyi vestnik YaNAO. Ekologiya Arktiki*. 2016; 4 (93): 20–24. (In Russian)
3. Ginzburg A.V., Terekhov L.D., Akimov O.V., Ganus A.N. Energy-saving technologies in the design of water conduits in the North. In: *Proc. Sci. Conf. 'Design and Construction of Transportation Facilities in the Republic of Sakha (Yakutia)'*, 2003, Pp. 86–95. (In Russian)
4. Vialkova E., Maksimova S., Zemlyanova M., Maksimov L., Vorotnikova A. Integrated design approach to small sewage systems in the Arctic climate. *Environmental Processes*. 2020; 7 (2): 673–690.
5. Ginzburg A.V. Economic conditions of water-bearing systems operation in the North. *Kommunal'nyi kompleks Rossii*. 2005; 1 (7): 66–69. (In Russian)
6. Latueva O.G. Features of design of water supply and sewerage systems in the development of oil fields. In: *Proc. 10th All-Russ. Sci. Conf. 'Youth and Science'*, Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2014. Available: <https://elibr.sfu-kras.ru/handle/2311/19178> (accessed February 6, 2023). (In Russian)

7. *Dementieva M.E., Kurokhtin A.A.* Operation of sewage-pumping stations of thermal power plants in the Far North. *Vestnik MGSU*. 2019; 14 (3): 356–366. (In Russian)
8. *Khrenkov N.N.* Comparison of temperature modes of heating steel and plastic pipelines. *Promyshlennyye elektrobogrev i elektrotoplenie*. 2014; (1): 28–36. (In Russian)
9. *Tuginov P.I., Novoselov V.F., Korshak A.A., Shammazov A.M.* Typical calculations for design and operation of oil depots and oil pipelines. Ufa: DizainPoligrafServis, 2002. 658 p. (In Russian)
10. *Pilipenko A.I., Lukina A.A.* Methodology of selection of electric heaters for tank heating. *Promyshlennyye elektrobogrev i elektrotoplenie*. 2012; (4): 30–36. (In Russian)
11. *Suglovov D.A., Vyalkova E.I., Osipova E.Yu.* Wastewater system design in Arctic conditions. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2022; 24. (5): 133–144. (In Russian)

Сведения об авторах

Суглобов Даниил Алексеевич, аспирант, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, suglovovda@gmail.com

Вялкова Елена Игоревна, канд. техн. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, vyalkova-e@yandex.ru

Осипова Елена Юрьевна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kyky60@bk.ru

Authors Details

Daniil A. Suglovov, Research Assitant, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, suglovovda@gmail.com

Elena I. Vyalkova, PhD, A/Professor, Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, vyalkova-e@yandex.ru

Elena Yu. Osipova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kyky60@bk.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 10.07.2023
Одобрена после рецензирования 25.08.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 10.07.2023
Approved after review 25.08.2023
Accepted for publication 21.09.2023

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

BASES, FOUNDATIONS AND SUBSTRUCTURES

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 144–155.

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; 25 (5): 144–155.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.154.51

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-144-155

EDN: WKTCBW

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ КОТЛОВАНА НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ БАРРЕТЫ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ

Наталья Залмановна Готман, Чунг Хиёу Ле

Российский университет транспорта, г. Москва, Россия

Аннотация. Баррета – особый вид набивных свай, применяемых при строительстве высотных зданий и сооружений на слабых грунтах, используемый как дополнительный вариант по устройству свай буронабивного типа. Установлено, что применение баррет активизирует поиск новых способов повышения качества расчетов и проектирования фундаментов, в частности, требует разработки новых методов расчета. В статье приведены результаты расчетного анализа взаимодействия барреты большой длины с грунтом основания при разработке различных глубин откопки котлована.

Модели и методы. Основным методом исследования является численный анализ в сочетании с аналогией. В ходе исследования было выполнено численное моделирование с помощью геотехнических программных комплексов PLAXIS 3D для упругопластической модели упрочняющегося грунта Hardening soil (HS) и слабых грунтов. Проведено сопоставление и анализ данных, полученных в ходе численного моделирования испытания взаимодействий барреты на несущую способность.

Результаты. Сопоставляются и анализируются данные, полученные для откопки котлованов различной глубины. Очевидно, что сваи с большей глубиной погружения в рассматриваемых грунтовых условиях всегда будут иметь большую несущую способность и меньшую осадку. Несущая способность по грунту может быть определена как нагрузка на баррету при осадке 40 мм по аналогии с натурными испытаниями баррет. По результатам расчетов построены графики «нагрузка – осадка» при нагружении с различной глубиной откопки котлованов. Характер графиков показывает, что при данной нагрузке формируются зоны пластических деформаций на боковой поверхности барреты, что и является причиной роста осадок.

Выводы. Показано, что выбор соответствующей вычислительной модели подтвердил результаты логических и рациональных исследований, основанных на действующем стандарте СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений». По результатам выполненных расчетов можно заключить, что изменение глубины откопки котлована влияет как на несущую способность барреты, так и на вертикальную осадку. Дальнейшие комплексные исследования на основании численных расчетов, а также экспериментальных и теоретических данных позволят разработать новые методы расчета и повысить эффективность проектных решений.

Ключевые слова: свая-баррета, НДС, PLAXIS 3D, виртуальные испытания, слабые грунты, откопка котлована, нагрузка – осадка, сравнительный анализ

Для цитирования: Готман Н.З., Чунг Хиеу Ле. Исследование влияния глубины котлована на взаимодействие барреты с грунтовым основанием // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 144–155. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-144-155. EDN: WKTCBW

ORIGINAL ARTICLE

INFLUENCE OF EXCAVATION DEPTH ON THE INTERACTION BETWEEN BARRETTE AND SUBGRADE SOIL

Natalya Z. Gotman, Trung Hieu Le

Russian University of Transport, Moscow, Russia

Abstract. Barrette is a type of piles used in the construction of high-rise buildings on soft soils, as an additional option of bored piles. It is shown that the use of barrettes activates the search for new ways to improve the design quality of foundations, in particular the development of new calculation methods. The paper analyses the computational results of the interaction between long length barrette and subgrade soil at different excavation depths.

Methodology: The numerical analysis combined with analogy; numerical simulation based on PLAXIS 3D geotechnical software for the elastic-plastic model of hard and soft soils. Comparison and analysis of numerical simulation data on the barrette interaction and bearing capacity.

Findings: Data obtained for excavations of different depths are compared and analyzed. It is evident that piles with greater excavation depth in the considered soil conditions, always have greater bearing capacity and less settlement. The soil bearing capacity can be defined as the barrette load at 40 mm settlement by analogy with in-situ barrette tests. Based on the calculation results, load-settlement plots are given for loading at different excavation depth. It is shown that zones of plastic deformation appear on the lateral surface of the barrette, which is the reason for the settlement growth.

Conclusion: The proposed computational model confirms the research results based on the state standard 22.13330.2016 "Building Foundations". The excavation depth affects both bearing capacity and vertical settlement of the barrette. Further research based on numerical calculations and experimental and theoretical data will allow to develop new calculation methods and increase the efficiency of design solutions.

Keywords: barrette pile, VAT, PLAXIS 3D, virtual test, soft soil, excavation, load-settlement, comparative analysis

For citation: Gotman N.Z., Trung Hieu Le. Influence of excavation depth on the interaction between barrette and subgrade soil. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo

Введение

В настоящее время строительство свайных фундаментов высотных зданий в районах со сложными инженерно-геологическими условиями нередко сопровождается установкой набивных свай. Строительство подземных сооружений в густонаселенной городской застройке обычно ведется по технологии разработки глубоких котлованов методом «сверху-вниз». В таких условиях проектируются сваи и сваи-барреты (далее барреты) большой длины – высокоэффективные конструкции фундаментов для высотных зданий, в том числе и для работ с использованием подземного пространства в слабых грунтах. Баррета – это особый вид набивных свай, применяемых при строительстве высотных зданий и сооружений на слабых грунтах как дополнительный вариант по устройству свай буронабивного типа. Технологическая последовательность процесса устройства одиночной барреты аналогична технологии возведения стены в грунте (рис. 1).

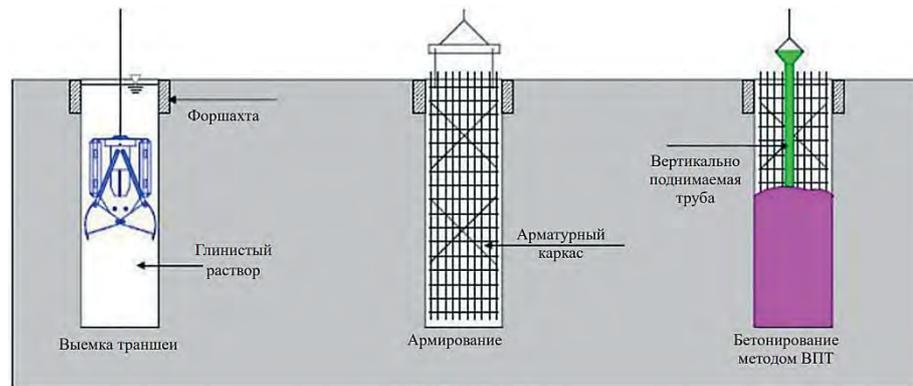


Рис. 1. Схема устройства одиночных баррет [6]
Fig. 1. Schematic of devices of single barrettes [6]

Численные 3D-расчеты, выполняемые с использованием верифицированных расчетных комплексов, позволяющие учитывать технологические особенности возведения таких фундаментов, требуют выполнения специальных исследований для разработки обоснованного подхода к выбору моделей грунта и расчетных процедур [1, 2]. Изучение применимости свай и баррет на практике, в том числе с учетом особенностей взаимодействия свай и баррет с грунтом основания, проводилось многими российскими и зарубежными специалистами, например [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Анализ научных источников по результатам исследования взаимодействия баррет с грунтом показал, что осталось достаточно много неизученных вопросов и необходим поиск новых способов повышения эффективности свайных фундаментов.

Цель настоящего исследования – разработка методов расчета баррет в условиях котлованов различной глубины и их взаимодействия с грунтовым основанием при возведении высотных зданий на слабых грунтах.

Объектом исследования является баррета, применяемая при строительстве зданий на слабых грунтах в глубоких котлованах.

При этом задача решается поэтапно с учетом технологии возведения фундамента. В ходе исследования были решены следующие задачи:

1. Изучена научная литература, содержащая результаты исследований влияния баррет на грунт.

2. Построена конструкция исходной задачи моделирования испытаний одиночной барреты на вдавливающую нагрузку в пределах слабых грунтов.

3. Рассмотрены расчетные модели с целью оценки особенностей взаимодействия баррет с грунтовым основанием при помощи программных комплексов.

4. Проведён сравнительный анализ полученных результатов расчета и сделаны выводы.

Обсуждение темы исследования

Было подтверждено, что для строительства подземной части высотных зданий разрабатываются глубокие котлованы. При проектировании свайных фундаментов зданий с подземной частью взаимодействие свай и баррет с грунтом в значительной степени определяется изменением напряженно-деформированного состояния (НДС) грунта основания от разгрузки при откопке котлована [10]. Суть проблемы заключается в том, что глубина откопки пропорционально воздействует на изменение НДС контакта «баррета-грунт», в том числе и на несущую способность барреты. Рекомендации по определению сопротивления грунта на боковой поверхности сваи в зависимости от глубины разрабатываемого котлована в нормах отсутствуют. Поэтому настоящее исследование, связанное с работой барреты при разработке различных глубин откопки котлована, имеет практическую ценность. Актуальность работы заключается в изучении влияния барреты и барретного фундамента на грунтовый массив под действием вертикальных нагрузок в условиях разработки котлованов с варьирующимися глубинами.

Как показывает практика строительства, вскрытие котлованов, особенно глубоких, приводит к существенному изменению НДС окружающего сваи грунта и оказывает влияние на формирование их несущей способности и развитие осадки под нагрузкой. Характеристики НДС в грунте, обусловленные свайной конструкцией, представлены следующим образом:

1. Взаимодействие баррет с окружающим грунтовым массивом происходит в начале «холостого бурения» при устройстве баррет, до завершения работ и введения их в эксплуатацию. При этом грунтовый массив формирует различные НДС в местах под нижним концом и вокруг сваи.

2. После возведения баррет в грунте появляется избыточное поровое давление воды, которое будет рассеиваться и приведет к изменению во времени НДС грунта в зоне воздействия.

Модели и методы

В рамках исследования выполнены виртуальные испытания одиночной барреты сечением $0,8 \times 2,8 \times 22$ м на вдавливающую нагрузку в пределах слабых

грунтов. При этом сама баретта выполняется с поверхности. Откапываемую часть проходят «холостым бурением». Условная зона грунтового массива, в котором предполагаются изменения НДС, имеет размеры 30×30 м и глубину 60 м. Расчетные схемы баретты приведены на рис. 2.

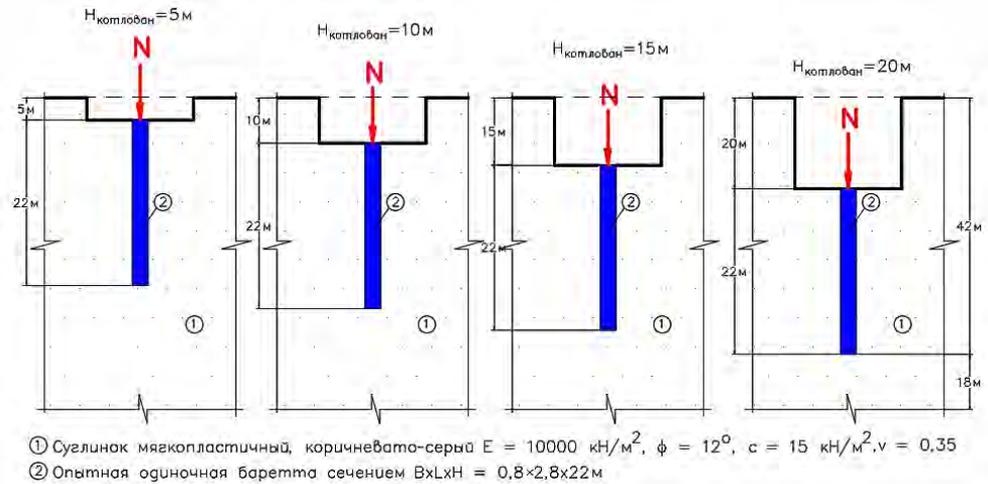


Рис. 2. Расчетные схемы баретты при разработке грунта котлована
Fig. 2. Design circuits of barrettes in soil development

При численном моделировании задач проводился процесс виртуального испытания опытной баретты с помощью геотехнических программных комплексов PLAXIS 3D. Анализ деформаций с использованием PLAXIS 3D особенно эффективен для свайного фундамента с взаимным влиянием между ростверком сваи, свай и грунтом. Моделирование системы «испытанная баретта – окружающий грунтовый массив» с использованием МКЭ для модели HS показано на рис. 3.

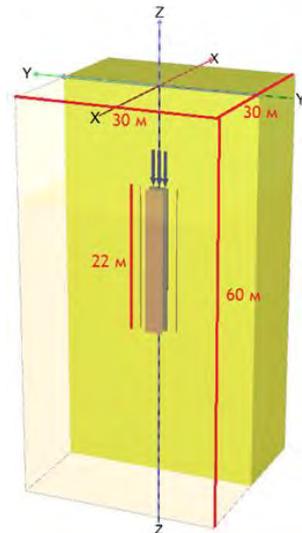


Рис. 3. МКЭ-модель (общий вид) в PLAXIS 3D
Fig. 3. FEM general view in PLAXIS 3D

Исследование взаимодействия баррет с грунтовым основанием выполняется численными методами с использованием известного своей адекватностью, особенно в слабых глинистых грунтах, программного комплекса PLAXIS 3D. Было отмечено, что упругопластическая модель HS, наиболее часто применяемая при геотехническом проектировании в слабых грунтах, представляет собой модель упругой кривой гиперболического типа, использующую теорию пластичности вместо теории упругости. Она учитывает гидродинамические характеристики грунта и границу разрушения. Введенные параметры грунта для моделей HS приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные параметры для моделей HS

Table 1

Initial parameters of HS models

Наименование	γ_{unsat} , кН/м ³	γ_{sat} , кН/м ³	E_{50}^{ref} , кН/м ²	E_{oed}^{ref} , кН/м ²	E_{ur}^{ref} , кН/м ²	ν (nu)	c , кН/м ²	φ°
Суглинок	13,3	13,3	10 000	10 000	30 000	0,35	15	12

Специальные контактные элементы интерфейса были смоделированы с учетом граничного поведения на контакте между барретой и окружающим грунтовым массивом. Основные параметры для моделирования железобетонных баррет в программе: $L_{cb} = 22$ м, $E = 3 \cdot 10^7$ кН/м², $\gamma = 25$ кН/м³, тип барреты – predefined, заданный тип барреты – massive circular beam, поверхностное трение – multi-linear.

Численное моделирование испытания баррет в программе PLAXIS 3D выполнялось в несколько этапов (рис. 4).

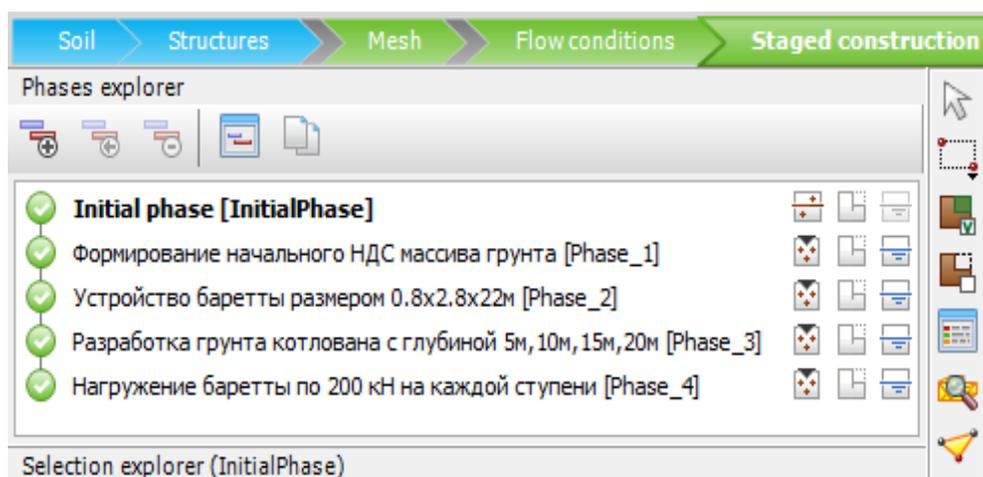


Рис. 4. Этапы испытания баррет в программе PLAXIS 3D

Fig. 4. Stages of testing barrettes in PLAXIS 3D

Результаты исследования и их анализ

Результаты определения вертикальных перемещений при нагружении баррет, проведенные численными методами, представлены в табл. 2. По полученным результатам численного моделирования испытаний барреты составлен график зависимости осадки от нагрузки при различной глубине откопки котлованов (рис. 5).

Несущая способность по грунту может быть определена как нагрузка на баррету при осадке 40 мм по аналогии с натурными испытаниями в соответствии с требованиями. Результаты расчета представлены в табл. 3.

Таблица 2

Результаты численных экспериментов взаимодействия барреты

Table 2

Numerical results of barrette interaction

	Нагружение барреты (кН)	Вертикальное перемещение при нагружении баррет (мм)			
		Изменение глубины котлованов			
		5 м	10 м	15 м	20 м
Модель HS	200	1,8	1,7	1,7	2,0
	400	3,7	3,7	3,4	3,4
	600	5,8	5,4	5,2	5,1
	800	8,5	7,4	7,0	6,8
	1000	12,7	9,5	8,8	8,5
	1200	18,7	12,2	10,8	10,3
	1400	26,6	16,4	13,9	12,2
	1600	36,2	22,7	16,3	14,4
	1800	48,8	31,5	21,6	17,4
	2000	66,4	43,6	29,6	21,1
	2200	99,7	69,1	43,1	33,8
	2400	174,9	133,1	79,0	57,9
	2600	–	236,4	134,5	107,0
	2800	–	–	233,6	189,6
3000	–	–	–	312,9	

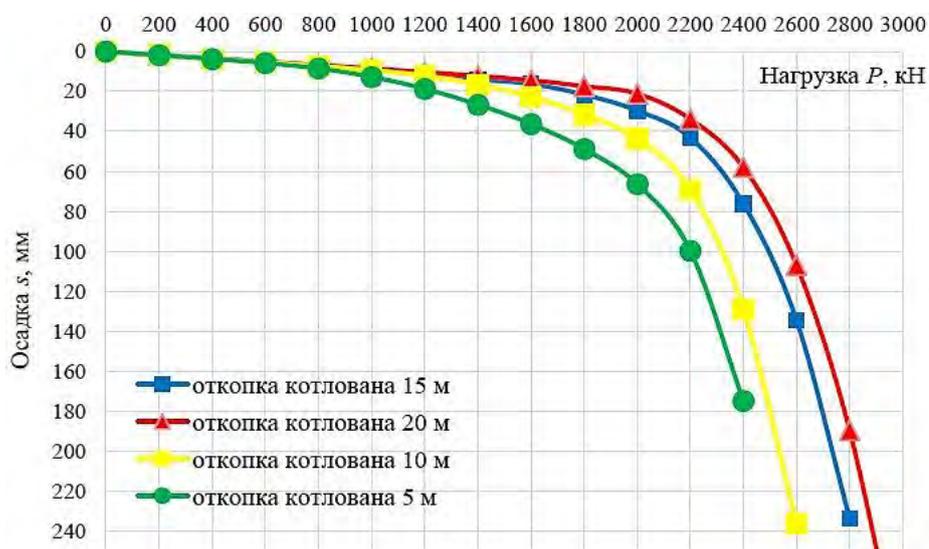


Рис. 5. График зависимости «нагрузка – осадка» при нагружении барреты на различную глубину откопки котлована

Fig. 5. Load-settlement curves of barrette at different excavation depth

Таблица 3

Нагрузки на баррету при осадке 40 мм

Table 3

Barrette loading at 40 mm settlement

Глубина котлована			
5 м	10 м	15 м	20 м
1600 кН	1900 кН	2100 кН	2300 кН

На основании полученных в ходе численного моделирования графиков и данных, приведенных на рис. 5, можно заключить следующее:

– на начальном этапе нагружения баррет до 1000 кН график «нагрузка – осадка» имеет вид линейной функции для всех вариантов откопки, графики в точности совпадают;

– в диапазоне нагрузок 1000–1600 кН графики «нагрузка – осадка» начинают расходиться для всех вариантов;

– в случае наименьшей глубины откопки котлована 5 м наблюдался стремительный рост кривизны; в случае наибольшей глубины откопки котлована 20 м кривизна увеличивалась медленно. Это показывает, что осадка увеличивается быстрее всего при глубине откопки котлована 5 м с наименьшей глубиной расположения баррет от поверхности грунта 22 м, и медленнее всего рост осадки происходит при глубине откопки котлована 20 м с наибольшей глубиной расположения баррет от поверхности грунта 42 м.

Деформированная схема модели и вертикальные перемещения на этапе приложения нагрузки, например при стадии разрушения $P = 2400$ кН, показаны на рис. 6–9.

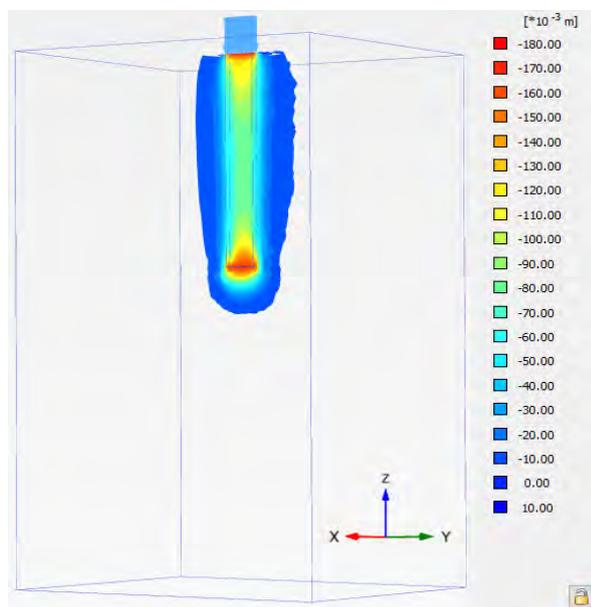


Рис. 6. Мозаики деформаций при нагружении баррет с откопкой котлована 5 м: $s = 174,9$ мм

Fig. 6. Deformation mosaic of loaded barrette at 5 m excavation: $s = 174.9$ mm

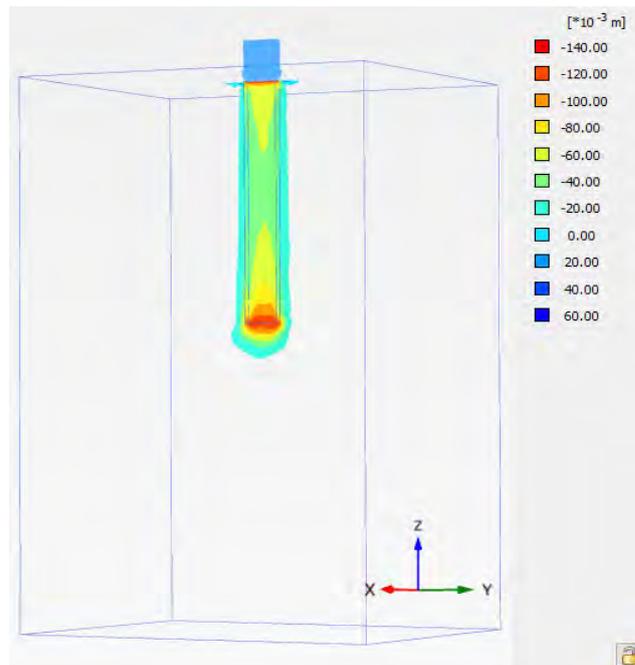


Рис. 7. Мозаики деформаций при нагружении баррет с откопкой котлована 10 м: $s = 133,1$ мм
Fig. 7. Deformation mosaic of loaded barrette at 10 m excavation: $s = 133.1$ mm

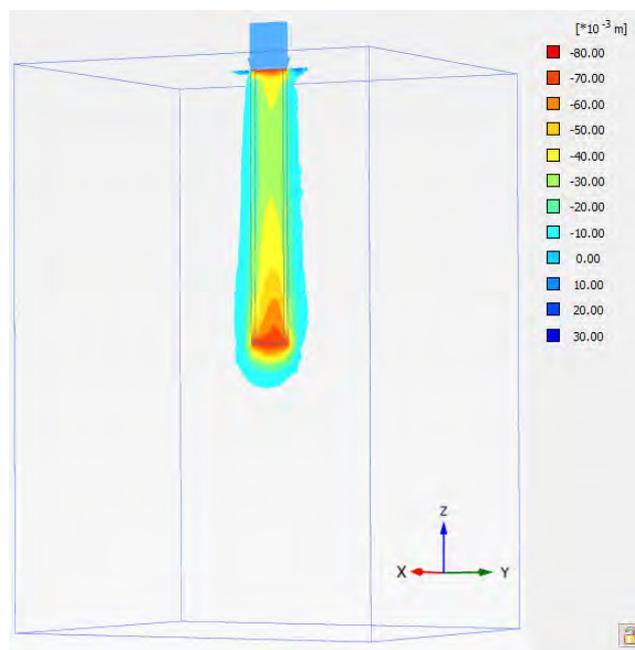


Рис. 8. Мозаики деформаций при нагружении баррет с откопкой котлована 15 м: $s = 79,0$ мм
Fig. 8. Deformation mosaic of loaded barrette at 15 m excavation: $s = 79.0$ mm

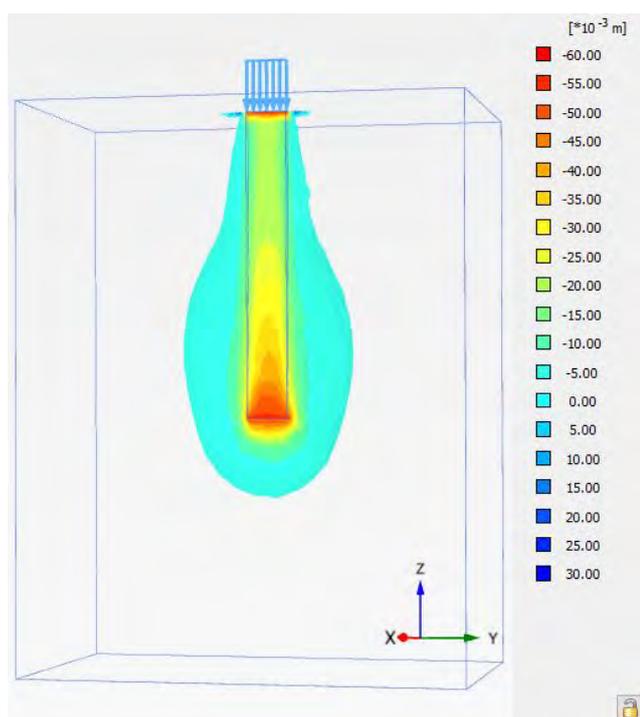


Рис. 9. Мозаики деформаций при нагружении баррет с откопкой котлована 20 м: $s = 57,9$ мм
 Fig. 9. Deformation mosaic of loaded barrette at 20 m excavation: $s = 57.9$ mm

Учитывая характер графиков, можно заключить, что при данной нагрузке формируются зоны пластических деформаций на боковой поверхности барреты, что и является причиной роста осадок.

Выводы

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Выбор соответствующей вычислительной модели подтвердил результаты логических и рациональных исследований, основанных на действующем стандарте СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений»¹.
2. По результатам выполненных расчетов можно заключить, что изменение глубины откопки котлована влияет как на несущую способность барреты, так и на вертикальную осадку. Очевидно, что сваи с большей глубиной погружения в рассматриваемых грунтовых условиях всегда будут иметь большую несущую способность и меньшую осадку.
3. Необходимо разработать аналитический и инженерный метод расчета несущей способности барреты с учетом глубины откопки котлована для разной технологии устройства барреты (с поверхности или с проектной отметки дна котлована).

¹ СП 22.13330.2016. Свод правил. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83* = Soil bases of buildings and structures. Москва: Стандартинформ, 2016. 162 с.

В настоящей работе рассмотрено и проведено сравнение баррет с разной глубиной погружения от поверхности грунта. Необходимо дальнейшее исследование, а также наглядная оценка процессов для барреты одной глубины, в том числе и с разной глубиной откопки котлована. Планируемые авторами дальнейшие комплексные исследования, включающие численные расчеты, а также экспериментальные и теоретические исследования, позволят разработать новые методы расчета и повысить эффективность проектных решений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шулятьев О.А., Дзагов А.М., Минаков Д.К. Изменение напряженно-деформированного массива грунта в результате устройства буронабивных свай и барретт // Вестник НИЦ «Строительство». 2022. Т. 34. № 3. С. 26–44. DOI: 10.37538/2224-9494-2022-3(34)-26-44
2. Chang D.W., Huang D.W., Lin Y.K., Lu F.C., Kuo C.J. Three-dimensional finite element analyses of barrette piles under compression and uplift loads with field data assessments // Geotechnical Engineering. 2019. V. 50. № 3. P. 58–73. DOI: 10.1051/e3sconf/202131801010
3. Готман Н.З., Сафиуллин М.Н. Исследование работы плитного фундамента, усиленного сваями // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 1 (60). С. 115–119. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.4.07
4. Algin H.M., Ekmen A.B., Kaya E. 3D seismic response assessment of barrette piled high-rise building with comprehensive subsurface modelling // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 2022. V. 163. 10 p. DOI: 10.1016/j.soildyn.2022.107488
5. Chen Y-J., Topacio A., Laveti S. Interrelationships of load and displacement of barrette piles for various interpretation criteria subjected to uplift // Lecture Notes in Civil Engineering. Proceedings 6th International Conference on Civil Engineering, ICOCE 2022; Virtual, Online, 27 March 2022 – 29 March 2022, Singapore. 2023. V. 276 LNCE. P. 98–107. DOI: 10.1007/978-981-19-3983-9_9
6. Дам Х.Х. Осадка и несущая способность барреты и барретного фундамента с учетом упруго-вязких и упруго-пластических свойств грунтов : специальность 2.1.2 «Основания и фундаменты, подземные сооружения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук ; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Москва, 2023. 152 с.
7. Pham T.T.D. A study on bearing capacity of shaft – grouted bored piles and barrettes for high-rise in Ho Chi Minh city : Master’s thesis. Hanoi : Vietnam National University, 2021. 48 p.
8. Lei G.H., Hong X., Shi J. Approximate three-dimensional analysis of rectangular barrette-soil-cap interaction // Canadian Geotechnical Journal. 2021. № 44 (7). P. 781–796. DOI: 10.1139/t07-017
9. Nguyen H.M., Fellenius B.H., Puppala A.J., Aravind P., Tran Q.T. Bidirectional tests on two shaft- grouted barrette piles in Mekong Delta, Vietnam // Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA. 2016. № 47 (1). P. 15–25.
10. Никитина Н.С., Хиеу Ле Ч. Методика оценки несущей способности барреты глубокого котлована в сложных инженерно-геологических условиях г. Ханой // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13 (1). С. 6–21. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.1.1

REFERENCES

1. Shulyatyev O.A., Dzagov A.M., Minakov D.K. Changes in the stress-strained soil mass resulting from the installation of bored cast-in-situ piles and barrettes. *Vestnik NITs Stroitel'stvo*. 2022; 34 (3): 26–44. DOI: 10.37538/2224-9494-2022-3(34)-26-44 (In Russian)
2. Chang D.W., Huang D.W., Lin Y.K., Lu F.C., Kuo C.J. Three-dimensional finite element analyses of barrette piles under compression and uplift loads with field data assessments. *Geotechnical Engineering*. 2019; 50 (3): 58–73. DOI: 10.1051/e3sconf/202131801010
3. Gotman N.Z., Safiullin M.N. Operation of slab foundation reinforced with piles. *Vestnik grahdanskikh inzhenerov*. 2017; 1 (60). 115–119. (In Russian)

4. *Algin H.M., Ekmen A.B., Kaya E.* 3D seismic response assessment of barrette piled high-rise building with comprehensive subsurface modelling. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2022; 163: 10. DOI: 10.1016/j.soildyn.2022.107488
5. *Chen Y.-J., Topacio A., Laveti S.* Interrelationships of load and displacement of barrette piles for various interpretation criteria subjected to uplift loading. In: *Proc. 6th Int. Conf. on Civil Engineering, Singapore, 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*. Vol. 276 LNCE, 2023. Pp. 98–107. DOI: 10.1007/978-981-19-3983-9_9
6. *Dam H.H.* Settlement and bearing capacity of barrettes and barrette foundations with elastic-viscous and elastic-plastic properties of soils. Moscow, 2023. 152 p. (In Russian)
7. *Pham T.T.D.* A study on bearing capacity of shaft – grouted bored piles and barrettes for high-rise in Ho Chi Minh city. Master's Thesis. Vietnam National University. Hanoi, 2021. 48 p. (In Russian)
8. *Lei G.H., Hong X., Shi J.* Approximate three-dimensional analysis of rectangular barrette-soil-cap interaction. *Canadian Geotechnical Journal*. 2021; 44 (7): 781–796. DOI: 10.1139/t07-017 (In Russian)
9. *Nguyen H.M., Fellenius B.H., Puppala A.J., Aravind P., Tran Q.T.* Bidirectional tests on two shaft- grouted barrette piles in Mekong Delta, Vietnam. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*. – 2016; 47 (1):15–25. (In Russian)
10. *Nikitina N.S., Le T.H.* Methodology for bearing capacity evaluation of deep excavation barrette in geotechnical conditions in Hanoi. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. 2023; 13 (1): 1. (In Russian)

Сведения об авторах

Готман Наталья Залмановна, докт. техн. наук, профессор, Российский университет транспорта, 127994, г. Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9, natalya.gotman@marksgroup.ru

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

Authors Details

Natalya Z. Gotman, DSc, Professor, Russian University of Transport, 9, Obraztsov Str., 127994, Moscow, Russia, natalya.gotman@marksgroup.ru

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

Статья поступила в редакцию 02.05.2023
Одобрена после рецензирования 01.06.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 02.05.2023
Approved after review 01.06.2023
Accepted for publication 21.09.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 156–163.

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; 25 (5): 156–163.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.131

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-156-163

EDN: TJYMYO

О ВЗАИМОСВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНСИСТЕНЦИИ И УПЛОТНЕННОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Сергей Гаврилович Колмогоров¹, Петр Леонидович Клемяционок²,
Светлана Сергеевна Колмогорова²

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Россия

²Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Актуальность. В основании зданий и сооружений часто оказываются глинистые грунты, строительные свойства которых зависят от многих факторов, одним из них является природная уплотненность грунта. В связи с этим актуально установление природной уплотненности глин и использование полученных данных в строительных классификациях грунтов.

Цель исследования – установление природной уплотненности глин.

Как известно, уплотненность глинистого грунта тесно связана с консистенцией. В настоящей работе приведен анализ взаимосвязи уплотненности и консистенции глинистых грунтов, разных по генезису, с использованием показателя уплотненности грунта В.А. Приклонского. Показано влияние степени водонасыщения глинистого грунта на относительное расхождение коэффициента консистенции от показателя уплотненности для разных по генезису и консистенции грунтов. Отмечено, что для грунтов с коэффициентом водонасыщения меньше единицы коэффициент консистенции отличается от показателя уплотненности. Расхождение растет с понижением коэффициента водонасыщения. Существенно, что значительные расхождения, приближающиеся к единице, могут проявиться и при коэффициенте водонасыщения, равном 0,95 и более.

Результаты. Выполненный анализ показал, что оценка природной уплотненности глинистых грунтов должна базироваться на знании условий их формирования. Исследование различных генетических типов глинистых грунтов с целью установления взаимосвязи природной уплотненности и консистенции позволит более обоснованно подойти к вопросу использования показателя уплотненности грунта в строительных классификациях.

Ключевые слова: показатель уплотненности, глинистый грунт, показатель консистенции, степень водонасыщения

Для цитирования: Колмогоров С.Г., Клемяционок П.Л., Колмогорова С.С. О взаимосвязи показателей консистенции и уплотненности глинистых грунтов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 156–163. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-156-163. EDN: TJYMYO

ORIGINAL ARTICLE

RELATIONSHIP BETWEEN CONSISTENCY AND COMPACTION OF CLAY SOILS

Sergey G. Kolmogorov¹, Petr L. Klemyatsionok²,
Svetlana S. Kolmogorova²

¹*Saint-Petersburg State Agrarian University,
Saint-Petersburg, Pushkin, Russia*

²*Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University,
Saint-Petersburg, Russia*

Abstract. Clay soils are often found under building foundations, construction properties of which depend on many factors. One of them is the natural soil compaction, which is relevant in the construction classification of soils.

This paper analyzes the relationship between the consistency and compaction of clay soils of different genesis and consistency using the Priklonskii soil compaction index. Water saturation of clay soil affects the relative discrepancy between the consistency coefficient and compaction index for soils of different genesis and consistency. It is noted that for soils with the water saturation coefficient lower than one, the consistency coefficient differs from the compaction index. This difference increases with decreasing water saturation coefficient. It is essential that significant differences can also appear when the water saturation coefficient is equal to 0.95 or more, approaching to unity.

It is shown that the assessment of the natural compaction of clay soils should be based on their formation conditions. A study of various genetic types of clay soils affecting natural densification and consistency provides a reasonable approach to use of soil densification in the construction classification of soils.

Keywords: compaction index, clay soil, consistency index, water saturation

For citation: Kolmogorov S.G., Klemyatsionok P.L., Kolmogorova S.S. Relationship between consistency and compaction of clay soils. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (5): 156–163. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-156-163. EDN: TJYMYO

Проблема установления природной уплотненности глин и использования этого показателя в строительных классификациях грунтов длительное время не привлекала должного внимания исследователей.

Систематическое рассмотрение природного процесса уплотнения глин проведено в работе Н.Я. Денисова, где анализируется влияние на уплотняемость (и ее результат – уплотненность грунтов) различных факторов: глубины залегания, состава осадка и глин, среды и условий уплотнения.

Развивая представления о нормально уплотнённых, недоуплотненных и переуплотненных глинах, следует отметить, что два последних состояния относятся к энергетически неустойчивым, способным к объемным деформациям при изменении условий среды – просадкам и набуханию [1, 2, 3].

С учетом способа определения используемого в формуле показателя уплотненности грунтов В.А. Приклонского K_{dp} , коэффициентов пористости при влажностях, равных пределам текучести и пластичности, оказывается справедливым соотношение

$$K_{dp} = \frac{\left(w_L - \frac{w}{S_r} \right)}{w_L - w_p}.$$

Таким образом, для полностью водонасыщенного грунта ($S_r = 1$) показатель уплотненности K_{dp} совпадает с коэффициентом консистенции:

$$J_C = \frac{(w_L - w_p)}{J_p}.$$

Это положение подтверждено при рассмотрении известных данных по коренным глинам и четвертичным глинистым грунтам [4], собранных в две выборки в количестве 16 и 25 образцов соответственно. В то же время отмечено, что для грунтов с коэффициентом водонасыщения меньше единицы коэффициент консистенции отличается от показателя уплотненности, причем обычно $J_C > K_{dp}$, так что относительное расхождение $\delta = \frac{J_C - K_{dp}}{J_C}$ (далее для

краткости называемое «ошибкой») положительно и растет с понижением коэффициента водонасыщения. Существенно, что значительные «ошибки», приближающиеся к единице, могут проявиться при $S_r = 0,95$ и более.

Возможным фактором увеличения «ошибки» можно предполагать использование усредненных данных в рассмотренных грунтах, обычно приводящихся в виде интегралов возможных изменений показателей. Для того, чтобы исключить этот фактор, были рассмотрены результаты непосредственного определения показателей состава и состояния глинистых грунтов нескольких генетических типов для района СПб, приведенных в отчете ЛенГИСИЗа [5]. На рис. 1 показаны результаты проверки сходимости J_C и K_{dp} для малой выборки ($n = 8$) образцов мягкопластичного суглинка f_{qIII} , отобранных с глубины 17,6–32,5 м. Все образцы полностью водонасыщенные, кроме одного со значением $S_r = 0,97$. Этот образец и дает наибольшее отклонение от диагонали координатного угла. При этом расчет средних величин дает равенство $\overline{J_C} = \overline{K_{dp}} = 0,33$.

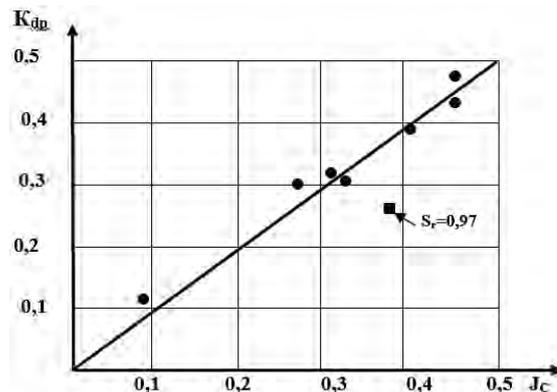


Рис. 1. К проверке равенства $K_{dp} = J_C$ для суглинков мягкопластичных f_{qIII} ($n = 8$)
Fig. 1. Verification of the equality $K_{dp} = J_C$ for soft-plastic loams ($n = 8$)

На рис. 2 приведены аналогичные результаты для выборки большего объема ($n = 41$) ледниковых моренных отложений gq_{III} , представленных суглинками тугопластичными с прослоями мягкопластичных, отобранных с глубин 15–45 м [6, 7]. Суглинки полностью водонасыщенные, за исключением восьми образцов с $S_r = 0,95–0,96$. Как видно из рисунка, именно эти образцы дают наибольшее отклонение от равенства $J_c = K_{dp}$.

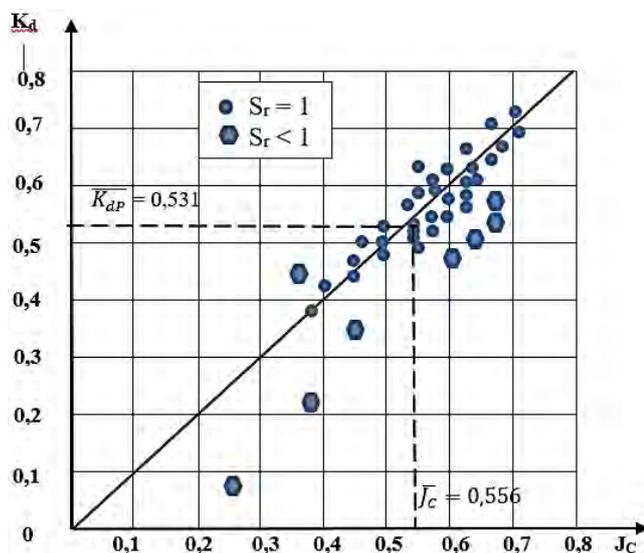


Рис. 2. К проверке равенства $K_{dp} = J_c$ для моренных суглинков q_{III} ($n = 41$)
 Fig. 2. Verification of the equality $K_{dp} = J_c$ for moraine loams ($n = 41$)

Количественно влияние водонасыщенности усматривается из таблицы, в которой приведены результаты отдельной обработки выборки при $S_r = 1$ и $S_r < 1$, а также общей. При полном водонасыщении равенство $J_c = K_{dp}$ практически выполняется, и «ошибка» составляет всего 0,5 %. При $S_r < 1$ расхождение средних величин («ошибка») возрастает до 22,5 %, и резко увеличиваются коэффициенты вариации J_c и особенно K_{dp} . В объединенной выборке отмеченные различия сглаживаются, и ошибка оказывается в пределах обычного разброса данных.

Результаты статистической обработки выборки

Statistical selection results

Статистическая оценка	При $S_r = 1, n = 33$		При $S_r < 1, n = 8$		Общая $n = 41$	
	J_c	K_{dp}	J_c	K_{dp}	J_c	K_{dp}
Среднее	0,567	0,564	0,511	0,396	0,556	0,531
Среднее квадратичное отклонение	0,083	0,080	0,156	0,179	0,100	0,123
Коэффициент вариации, %	14,7	14,2	30,5	45,2	18,2	23,0
«Ошибка» δ , %	0,5		22,5		4,5	

На рис. 3 приведены экспериментальные данные по итогам технического отчета об инженерно-геологических изысканиях Санкт-Петербурга [5] еще для одного типа глинистых отложений, относящихся к неуплотненным или очень слабо уплотненным, это ленточные суглинки и глины (lgq_{III}). Можно заметить, что и границы, и средние значения J_C и K_{dp} практически совпадают, а неполное водонасыщение приводит к большим «ошибкам» и в отрицательной области.

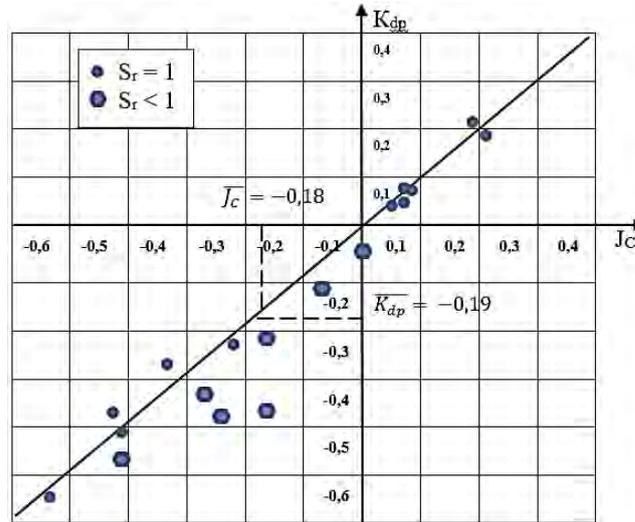


Рис. 3. К проверке равенства $K_{dp} = J_C$ для озерно-ледниковых суглинков и глин lgq_{III}

Fig. 3. Verification of the equality $K_{dp} = J_C$ for lake-glacial loams and clays

Некоторые представления о причине возможных больших «ошибок» при водонасыщенности, близкой к единице, но меньше ее, можно получить, рассмотрев формулы для абсолютной и относительной «ошибок»:

$$J_C - K_{dp} = \frac{w_L - w}{J_p} - \frac{w_L - \frac{w}{S_r}}{J_p} = \frac{w}{S_r} - w > 0; \quad (1)$$

$$\delta = \frac{J_C - K_{dp}}{J_C} = \frac{1 - S_r}{S_r} w_{от}, \quad (2)$$

где $w_{от} = w/w_L$ – относительная влажность.

Соотношение для абсолютной «ошибки» (1) показывает, что для неводонасыщенных грунтов $J_C > K_{dp}$. Обратное неравенство может быть следствием «ошибок» при определении показателей или связано с влиянием структуры и структурных связей. Соотношение (2) показывает существенное влияние относительной влажности; приближение последней к единице может дать ощутимую «ошибку» даже при $S_r = 0,99$.

Например, для «выброса» на рис. 1: $J_C = 0,38$; $K_{dp} = 0,28$; $S_r = 0,97$; $w_{от} = 0,90$. По (2) получаем: $\delta = (0,03/0,97)(0,90/0,10) = 0,278 = 27,8\%$. Расчет по

непосредственным данным дает близкую величину: $(0,38 - 0,28)/0,38 = 0,263 = 26,3\%$. Вообще расчет по формуле (2) несколько завышает «ошибку».

Для наиболее заметного «выброса» на рис. 3 имеем $J_C = -0,25$; $K_{dp} = -0,39$; $S_r = 0,94$; $w_{от} = 1,10$ и по (2) получаем $\delta = (0,06/0,94)(1,10/-0,10) = 0,702 = 70,2\%$. По непосредственному расчету $\delta = (-0,25 + 0,39)/0,25 = 0,560 = 56\%$. Таким образом, оценки (1) и (2) следует рассматривать как максимально возможные.

На рис. 4 показаны результаты, вполне аналогичные уже рассмотренным, но относящиеся к глинистым грунтам Западной Сибири – северо-запада Обь-Иртышского междуречья. Данные по показателю уплотненности взяты из статей А.И. Воробьева [8], где они приведены вместе с показателями состава и состояния грунтов, по которым нами рассчитаны показанные на рис. 4 значения S_r и J_C . В приведенном анализе при неполном водонасыщении точки располагаются ниже диагонали координатного угла, а полную водонасыщенность имеют три грунта: при $S_r = 1$ соответствующая точка – на диагонали; при $S_r = 1,05$ – ниже ее и при $S_r = 1,06$ – выше. Последняя точка относится к полутвердому валунному суглинку с показателями $J_C = 0,75$; $K_{dp} = 0,9$; $w_{от} = 0,71$. «Ошибка» δ равна $(0,75-0,90)/0,75 = -0,20 = -20\%$, а ее оценка по формуле (2) равна – 13,9 %.

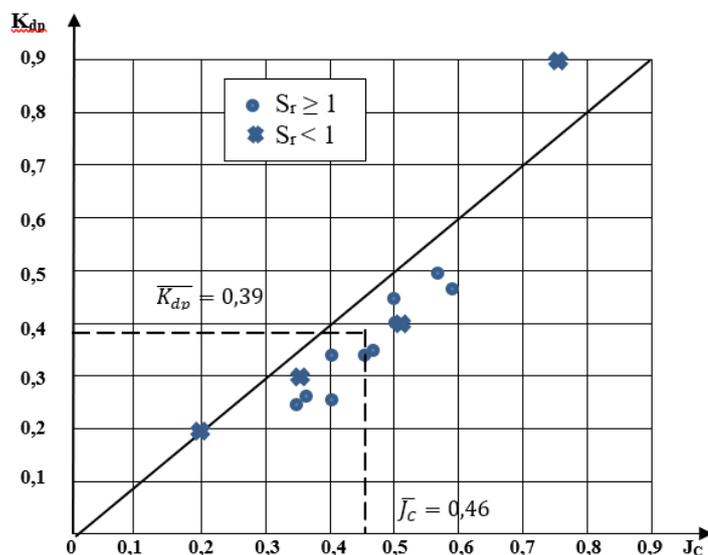


Рис. 4. К проверке равенства $K_{dp} = J_C$ для грунтов Западной Сибири
 Fig. 4. Verification of the equality $K_{dp} = J_C$ for soils of Western Siberia

Обычно значения $S_r > 1$ связывают с погрешностями определения влажности, плотности минеральных частиц и коэффициента пористости. Однако при высоких значениях относительной влажности такое «перенасыщение» представляется вполне вероятным. В приведенных на рис. 3 данных по озерно-ледниковым грунтам района СПб относительная влажность не превышает 1,21. В классификации иольдиевых глин для дорожного строительства выделен класс глин с $w_{от} > 2,5$ [9]. Возможно, в таких грунтах положение $S_r > 1$ окажется связанным не только со случайными погрешностями определения показателей.

Результаты анализа показали влияние степени водонасыщения глинистого грунта во взаимосвязи уплотненности и консистенции. Для дальнейшего изучения данного вопроса необходимо исследовать глинистые грунты разных генетических типов, что позволит более обоснованно подойти к вопросу об использовании показателя уплотнённости грунта в строительных классификациях грунтов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Денисов Н.Я.* О природе деформаций глинистых грунтов. Москва : Речиздат, 1951. 200 с.
2. *Дашко Р.Э.* Инженерно-геологический анализ и оценка водонасыщенных глинистых пород как основания сооружений. Санкт-Петербург : Геореконструкция, 2015. 282 с.
3. *Колмогоров С.Г., Клемяционок П.Л., Колмогорова С.С.* Физическая сущность прочности глинистых грунтов в зависимости от их состояния // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения : материалы Международной научно-практической конференции, 24–26 января 2019. Ч. II. Санкт-Петербург : СПбГАУ, 2019. С. 19–21.
4. *Лысенко М.П.* Глинистые грунты Русской платформы. Москва : Недра, 1986. 252 с.
5. *Технический отчет* об инженерно-геологических изысканиях / Ленинградский трест инженерно-строительных изысканий ЗАО ЛенТИСИЗ. Санкт-Петербург, 2004. 57 с.
6. *Приклонский В.А.* Грунтоведение. Ч. 1. 3-е изд., перераб. и доп. Москва : Госгеолтехиздат, 1955. 431 с.
7. *Трофимов В.Т., Королев В.Т., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зиангиров Р.С.* Грунтоведение. 6-е изд., перераб. и доп. Москва : МГУ, 2005. 1024 с.
8. *Воробьев А.И.* О формировании физико-механических свойств глинистых пород северо-запада Обь-Иртышского междуречья // Инженерно-геологические условия и особенности фундаментостроения в Сибири. Вып. 152. Новосибирск, 1974. С. 27–29.
9. *Евгеньев И.Е., Казарновский В.Д.* Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах. Москва : Транспорт, 1976. 271 с.

REFERENCES

1. *Denisov N.Ya.* On the nature of deformations of clay soils. Moscow: Rechizdat, 1951. 200 p. (In Russian)
2. *Dashko R.E.* Engineering-geological analysis and assessment of water-saturated clay rocks as structure foundations. Saint-Petersburg: Institute "Georeconstruction", 2015. 282 p. (In Russian)
3. *Kolmogorov S.G., Klemiyatsionok P.L., Kolmogorova S.S.* Physical essence of clay soil strength depending on their condition. In: *Proc. Int. Sci. Conf. 'Scientific Support of Agro-Industrial Complex Development in Conditions of Import Substitution'*, January 24–26, 2019, Part II. St. Petersburg, 2019. Pp. 19–21. (In Russian)
4. *Lysenko M.P.* Clay soils of the East European Craton. Moscow: Nedra, 1986. (In Russian)
5. Technical report on engineering-geological surveys. Leningrad Trust for Engineering and Construction Surveys ZAO LenTISIZ, Saint-Petersburg, 2004. 57 p. (In Russian)
6. *Prikloonsky V.A.* Ground science. Part 1. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1955. 431 p. (In Russian)
7. *Trofimov V.T., Korolev V.T., Voznesensky E.A., Golodkovskaya G.A., Vasilchuk Yu.K., Ziangirov R.S.* Soil science, 6th ed. Moscow, 2005. 1024 p. (In Russian)
8. *Vorobyov A.I.* Formation of physical and mechanical properties of clay rocks in the north-west of the Ob-Irtysh interfluvium. In: *Engineering-geological conditions and features of foundation construction in Siberia*. Novosibirsk, 1974. No. 152. Pp. 27–29. (In Russian)
9. *Evgeniev I.E., Kazarnovsky V.D.* Subgrades on soft soils. Moscow: Transport, 1976. 271 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Колмогоров Сергей Гаврилович, канд. техн. наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 196601, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское ш., 2, Kolmogorovsg@list.ru

Клемяционок Петр Леонидович, канд. техн. наук, доцент, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, Petr.1940@list.ru

Колмогорова Светлана Сергеевна, канд. техн. наук, доцент, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 9, Kolmogorovass@yandex.ru

Authors Details

Sergey G. Kolmogorov, PhD, A/Professor, Saint-Petersburg State Agrarian University, 2, Petersburgskoe Shosse, 196601, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia, Kolmogorovsg@list.ru

Petr L. Klemyatsionok, PhD, A/Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskii Ave., 190031, Saint-Petersburg, Russia, Petr.1940@list.ru

Svetlana S. Kolmogorova, PhD, A/Professor, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovskii Ave., 190031, Saint-Petersburg, Russia, Kolmogorovass@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 26.07.2023
Одобрена после рецензирования 19.09.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 26.07.2023
Approved after review 19.09.2023
Accepted for publication 21.09.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 164–178.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (5): 164–178.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 693.22:624.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-164-178

EDN: WZMFMVU

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАЗНОУРОВНЕВОГО ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТА МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО НА СКЛОНЕ

Сергей Васильевич Ющубе, Иван Иванович Подшивалов

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

Аннотация. *Актуальность.* При расчете многоэтажных зданий, относящихся к каркасным пространственным системам, необходим учет податливости фундаментов на естественном основании и выбор расчетной модели, наиболее полно отражающей конструктивную схему здания.

Приведены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния разноуровневого основания и фундамента – плитного и свайного – многоэтажного здания, расположенного на склоне.

Целью работы являлось расчетное обоснование корректности использования модели линейного и нелинейного деформирования разноуровневого основания в плитном фундаменте и критерии перехода к свайному фундаменту в многоэтажном здании, расположенном на склоне.

Моделирование напряженно-деформированного состояния плитного и свайного фундаментов на разноуровневом основании многоэтажного здания, расположенного на склоне, выполнено в системе «основание – фундамент – здание» *методом конечных элементов* с использованием верифицированного программного комплекса MicroFe.

Результаты. При расчете разноуровневого основания по нелинейной модели Кулона – Мора условия второй группы предельных состояний по вертикальным перемещениям и крену не выполняются и применять плитный фундамент не рекомендуется. Таким образом, расчет плитного фундамента с использованием модели только линейно деформируемого основания становится недостаточным.

Особенностью работы свай при наличии бокового давления грунта является то, что контурные сваи, расположенные с противоположной стороны от склона, значительно перегружены по сравнению с остальными. Кроме того, в линейной постановке расчета продольные усилия в контурных сваях превышают допустимую расчетную нагрузку на сваи, в результате чего не выполняется условие по первой группе предельных состояний.

Выводы. Использование конструктивно нелинейной работы свай, когда ограничивается продольное усилие в свае величиной, равной допустимой расчетной нагрузке, позволяет обеспечить для свайного фундамента выполнение условий по первой и по второй группам предельных состояний.

Ключевые слова: здание, разноуровневое основание, фундамент, моделирование, расчетная модель, напряженно-деформированное состояние

Для цитирования: Ющубе С.В., Подшивалов И.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния разноуровневого основания и фундамента многоэтажного здания, расположенного на склоне // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 164–178. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-164-178. EDN: WZMFVU

ORIGINAL ARTICLE

STRESS-STRAIN STATE MODEL OF SPLIT-LEVEL FOUNDATION OF MULTI-STOUREY BUILDING ON A SLOPE

Sergei V. Yushchube, Ivan I. Podshivalov

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. *Purpose:* The aim of the work is to provide a computational justification for the correct use of the linear/nonlinear deformation model of split-level foundation and criteria for transition to a pile foundation in a multi-storey building on a slope.

Methodology: The finite-element model of stress-strain state of slab and pile foundations of the multi-storey building on a slope is developed by using MicroFe software package.

Research findings: In calculating the split-level foundation using the Mohr-Coulomb criterion, the service limit state conditions in vertical displacements and slope are not satisfied, and it is not recommended to use the slab foundation. Thus, the slab foundation analysis with the use of only the linear deformable foundation model is insufficient. The pile operation in the presence of lateral earth pressure is characterized by the fact that the contour piles on the opposite slope side are significantly overloaded as compared with other piles. In addition, longitudinal forces of contour piles in the linear design, exceed the permissible calculated load on piles and the service limit state conditions are not thus satisfied.

Originality: The nonlinear pile operation, when the longitudinal force in the pile is limited by the value corresponding to the permissible design load, allows the pile foundation to meet the service limit state conditions.

Keywords: building, split-level foundation, modeling, design model, stress-strain state

For citation: Yushchube S.V., Podshivalov I.I. Stress-strain state model of split-level foundation of multi-storey building on a slope. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 164–178. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-164-178. EDN: WZMFVU

При расчете многоэтажных зданий, которые относятся по конструктивной схеме к каркасным пространственным системам, учет податливости фундаментов на естественном основании весьма актуален [1]. Выбор расчетной модели, которая может наиболее полно отразить конструктивную схему здания, является одним из важнейших факторов при определении напряженно-деформированного состояния строительных конструкций, фундаментов и оснований [2, 3, 4].

Модель линейно деформированного основания, в которой грунтовая среда представляется упругим материалом, основана на двух допущениях: осадка точки поверхности основания прямо пропорциональна величине нагрузки в этой точке; осадки распространяются за пределы площади нагружения [5, 6].

В соответствии с действующими нормами, предельное состояние по несущей способности свайных фундаментов наступает тогда, когда усилие хотя бы в одной свае превысит расчетную нагрузку, допускаемую на сваю [7]. При этом предельное состояние по деформациям еще, как правило, не наступило. В плитных фундаментах на естественном основании ситуация противоположная – допускается появление зон предельного состояния, в которых возникают упругопластические деформации [8]. При этом в целом необходимо обеспечить несущую способность основания по первой группе предельных состояний. В этом случае определяющим является выполнение условий по второй группе предельных состояний по деформациям и перемещениям основания.

Расчетным путем было установлено, что если в основании под фундаментной плитой нагрузка от здания соответствует вертикальным природным напряжениям на уровне подошвы фундаментной плиты, то развитие упругопластических деформаций в основании происходит в контурной зоне фундаментной плиты [9, 10].

Для более точного расчета деформаций оснований можно использовать модели, учитывающие нелинейную зависимость между напряжениями и деформациями, в которых при вводе физико-механических характеристик грунтов можно учесть нелинейный характер деформирования основания [11, 12]. В этом случае критерий предельного состояния может быть представлен в виде поверхности трех главных напряжений, например, предельная поверхность, определяемая критерием Кулона – Мора.

В многоэтажных зданиях использование плитного фундамента, как правило, приводит к невыполнению условий по второй группе предельных состояний по деформациям и перемещениям основания [13]. В этом случае целесообразно устраивать под плитой фундамента свайное основание – свайный или свайно-плитный фундамент [14].

Расчет свайного или свайно-плитного фундамента должен моделировать поведение каждой сваи [15]. Кроме того, необходимо учитывать взаимодействие свай между собой в свайном поле и с грунтом, перегруженность контурных свай относительно внутренних свай.

ПК MicroFe позволяет моделировать неупругие свойства грунта по теории прочности Кулона – Мора или по «шатровой» модели работы грунта Cam-Clay, учитывать конструктивно нелинейную работу перегруженных контурных свай, реализовать конечно-элементное моделирование системы «основание – фундамент – здание» в одной модели [16].

Рассматриваемая площадка строительства приурочена к пойме р. Томи с абсолютными отметками 77–79 м. В геологическом строении исследованной площадки до глубины 21,0–25,0 м принимают участие аллювиальные отложения верхне- и среднечетвертичного возраста. С поверхности аллювиальная грунтовая толща перекрыта современными насыпными грунтами.

В пределах исследованной площадки до изученной глубины 30 м пространственная модель грунтового основания «здание – геологическая среда» составлена (сверху вниз) в виде трех инженерно-геологических элементов (ИГЭ) – рис. 1, таблица:

– ИГЭ-304 – суглинок аллювиальный мягкопластичный;

- ИГЭ-406 – супесь аллювиальная пластичной консистенции;
- ИГЭ-656 – гравийный грунт аллювиальный с супесчаным заполнителем до 40 %.

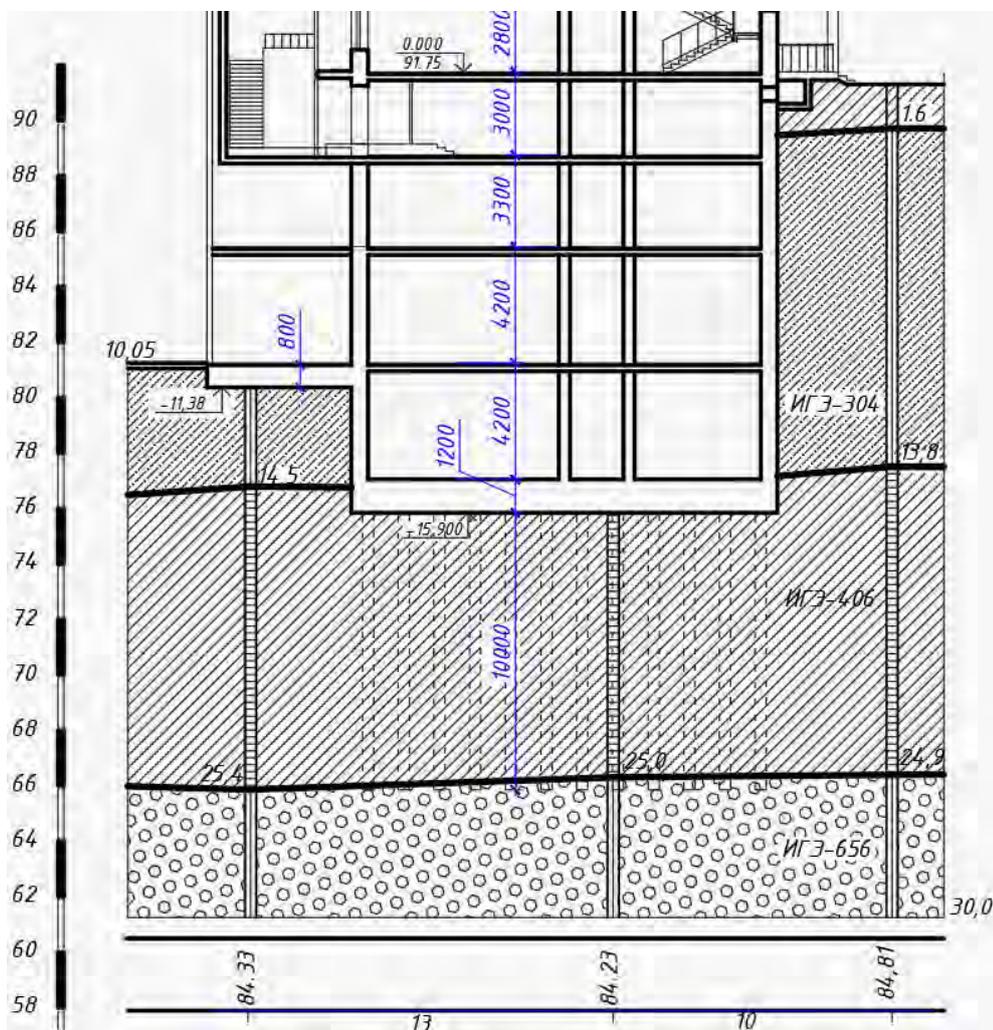


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез площадки здания с посадкой плитного и свайного (штрихпунктир) фундаментов

Fig. 1. Geotechnical cross-section of building site with slab and pile foundations (dashed lines)

Рассматриваемое 22-этажное каркасное здание прямоугольной формы в плане имеет размеры по габаритным осям $49,92 \times 14,48$ м, высоту 70,2 м, подвал, двухэтажную стилобатную часть под магазины и офисные помещения в цокольной части здания, систему монолитных железобетонных пилонов и диафрагм жесткости, а также лифтовых шахт и лестничных клеток, являющихся ядрами жесткости каркаса. Пилоны Т, Г-образного и прямоугольного сечений имеют различную длину при одной толщине – 250 мм.

Диафрагмы жесткости и плиты перекрытий устроены толщиной 250 и 200 мм соответственно. Фундамент – плоская монолитная фундаментная плита (МФП) толщиной 120 см на естественном основании в плитном фундаменте и на забивных железобетонных сваях сечением 40×40 см и длиной 10 м в свайном фундаменте. Сопряжение свай с МФП жесткое. Класс бетона монолитных железобетонных конструкций В30.

Основные физико-механические характеристики грунтов
Main physical and mechanical properties of soil

№ п/п	ИГЭ	Грунт	Мощность слоя, м	Характеристики грунтов			
				Плотность, г/см ³	Удельное сцепление, кПа	Угол внутреннего трения, град	Модуль деформации, МПа
1	ИГЭ-304	Суглинок аллювиальный мягкопластичный	4,5–12,2	2,01	22,0	20,0	13,0
2	ИГЭ-406	Супесь аллювиальная пластичной консистенции	9,9–11,1	1,84	14,0	24,0	21,0
3	ИГЭ-656	Гравийный грунт аллювиальный с супесчаным заполнителем до 40 %	Более 5,5	1,76	2,0	38,0	50,0

Наружные стены подземной части выполнены из монолитного железобетона толщиной 400 мм, наружные стены надземной части, самонесущие «на один этаж», устроены из газобетонных блоков толщиной 200 мм с утепленным вентилируемым фасадом.

В расчетной модели железобетонные монолитные стены, пилоны, диафрагмы жесткости, диски перекрытий и покрытия, МФП моделировались конечным элементом типа «плоский прямоугольный элемент оболочки», сваи – конечным элементом типа «стержень». Грунтовое основание под МФП принималось в виде трехслойного основания из объемных конечных элементов с послойным заданием модуля деформаций и коэффициента Пуассона при использовании линейной модели работы основания. При нелинейном расчете основания по модели Кулона – Мора задавались следующие параметры: модуль деформаций; коэффициент Пуассона; плотность; сцепление; угол внутреннего трения; угол дилатансии (принят равным 2°); коэффициент всестороннего сжатия (принят равным нулю). Расчетная модель и ее визуализация приведены на рис. 2. Горизонтальная составляющая давления грунта на боковую поверхность наружных продольных стен подземной части многоэтажного здания составила: со стороны склона $P_{x1} = 70192,5$ кН; с противоположной стороны на стену подвала $P_{x2} = 20055$ кН.

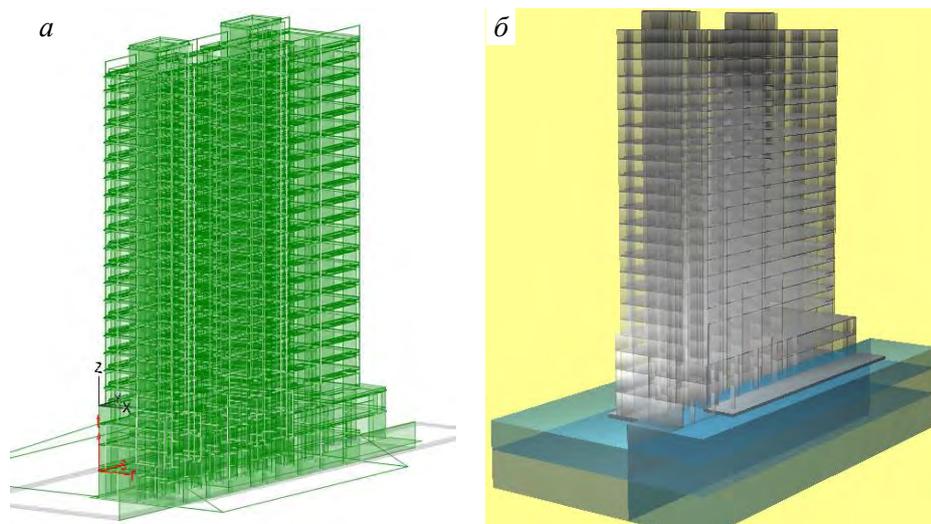


Рис. 2. Расчетная модель здания (а) и ее визуализация (б)
 Fig. 2. Design model of building (a) and its visualization (b)

Расчет выполнялся с использованием четырех расчетных схем:

- расчетная схема № 1 – с плитным фундаментом при линейной работе грунтового основания;

- расчетная схема № 2 – с плитным фундаментом при нелинейной работе грунтового основания по модели Кулона – Мора. При расчете с учетом неупругой работы грунта на первом этапе моделируется напряженно-деформированное состояние основания нагрузкой от собственного веса грунта, затем на втором этапе моделируется напряженно-деформированное состояние основания нагрузкой от здания;

- расчетная схема № 3 – со свайным фундаментом при линейной работе грунтового основания;

- расчетная схема № 4 – со свайным фундаментом при линейной работе грунтового основания и конструктивно нелинейной работе свай.

Напряженное состояние

Расчетная схема № 1. В плитном фундаменте при линейном деформировании основания получены следующие значения нормальных напряжений (далее – напряжения) в грунте по характерным сечениям (рис. 3):

- в горизонтальном сечении XU на уровне подошвы нижней МФП наибольшие сжимающие вертикальные напряжения возникли в угловых зонах $\sigma_z \text{ уг.} = -598 \dots -1128 \text{ кН/м}^2$ и в контурной зоне $\sigma_z \text{ кон.} = -333 \dots -598 \text{ кН/м}^2$. Внутри контура сжимающие вертикальные напряжения имеют меньшие значения и составляют $\sigma_z \text{ вн.} = -200 \dots -333 \text{ кН/м}^2$;

- в вертикальном сечении ZX с увеличением глубины сжимаемой толщи грунтового основания наблюдается перераспределение наибольших сжимающих напряжений с угловых и контурной зон внутрь грунтового массива до величины $\sigma_z \text{ вн. гл.} = -286 \text{ кН/м}^2$.

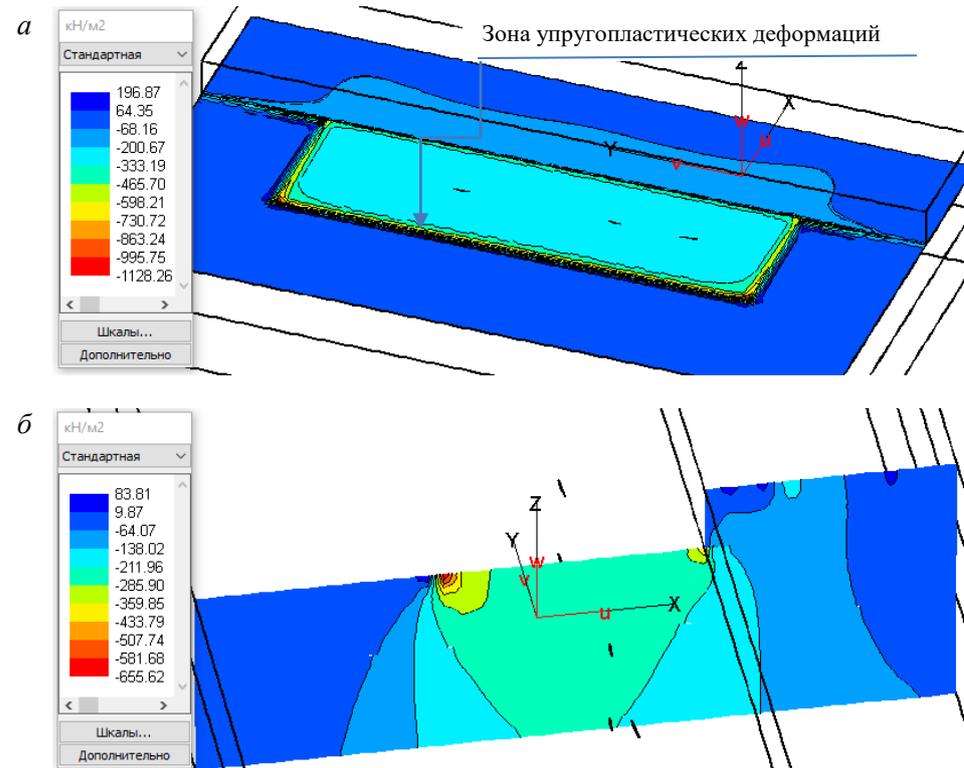


Рис. 3. Изополя вертикальных напряжений в грунте в расчетной схеме № 1:
 а – в горизонтальном сечении XY в уровне подошвы нижней МФП; б – в вертикальном сечении ZX

Fig. 3. Vertical stress isofields in soil in design model 1:
 а – horizontal section XY at the bottom level; б – vertical section ZX

Среднее значение отпора грунта под подошвой нижней МФП можно найти из отношения вертикальной нагрузки от здания, полученной в статическом расчете, к площади нижней МФП – $\sigma_z = P/S = 321308/723 = 444 \text{ кН/м}^2$. В подстилающем слое нижней МФП залегает ИГЭ-304 – суглинок аллювиальный мягкопластичный, у которого расчетное сопротивление равно $R = 433 \text{ кН/м}^2$. Так как $\sigma_z = 444 \text{ кН/м}^2 > R = 433 \text{ кН/м}^2$, то в угловых и в контурной зонах основания под нижней МФП появляются упругопластические деформации грунта.

Расчетная схема № 2. В плитном фундаменте при нелинейном деформировании основания по модели Кулона – Мора получены следующие значения напряжений в грунте по характерным сечениям (рис. 4):

– в горизонтальном сечении XY на уровне подошвы нижней МФП наибольшие сжимающие вертикальные напряжения возникли в угловых и в контурной зонах в вертикальном сечении, соединяющем разноуровневые основания, – σ_z уг. вн. = $-820 \dots -919 \text{ кН/м}^2$ и σ_z кон. нар. = $-524 \dots -820 \text{ кН/м}^2$, соответственно, в контурной зоне с противоположной стороны σ_z кон. вн. = $-326 \dots -524 \text{ кН/м}^2$. Внутри контура сжимающие вертикальные напряжения имеют меньшие значения σ_z вн. = $-129 \dots -326 \text{ кН/м}^2$. По сравнению с линейной

работой грунта пиковые сжимающие напряжения уменьшились в угловых зонах на 19 %, в контурной зоне – на 12 %. При этом внутри контура значения сжимающих вертикальных напряжений незначительно изменились;

– в вертикальном сечении ZX с увеличением глубины сжимаемой толщи основания также наблюдается перераспределение наибольших сжимающих напряжений с контурной зоны внутрь грунтового массива до величины σ_z вн. = -606 кН/м^2 , значения которых, по сравнению с линейно деформируемым грунтом, увеличились в 2,1 раза (в том числе и за счет учета собственного веса грунта в нелинейной модели Кулона – Мора).

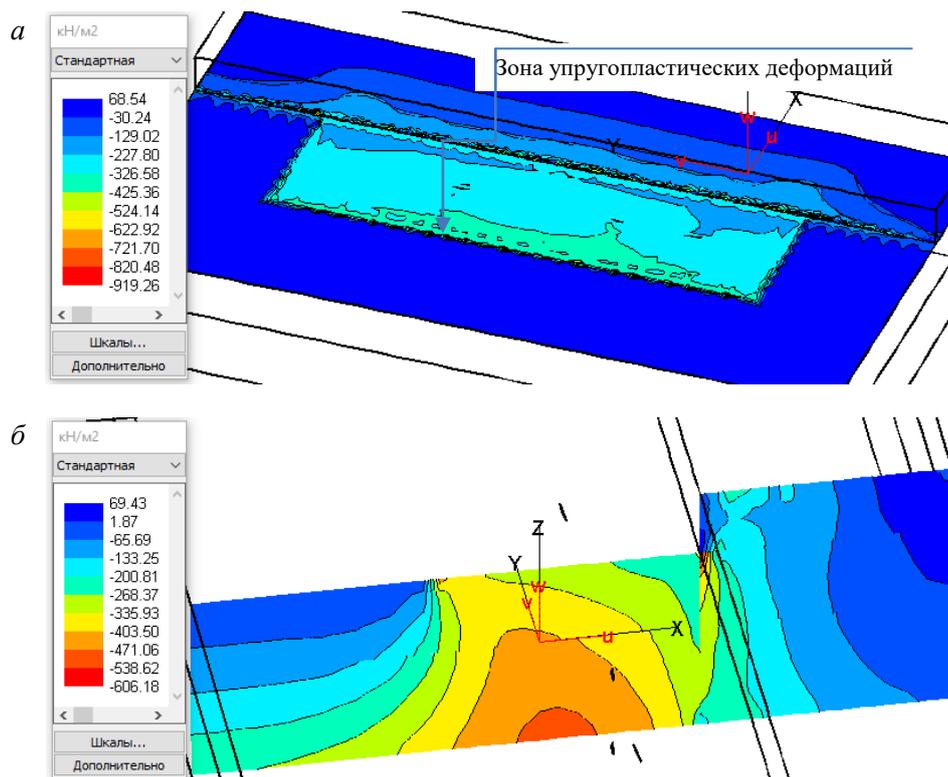


Рис. 4. Изополя вертикальных напряжений в грунте в расчетной схеме № 2:
 а – в горизонтальном сечении XY в уровне подошвы нижней МФП; б – в вертикальном сечении ZX

Fig. 4. Vertical stress isofields in soil in design model 2:
 а – horizontal section XY at the bottom level; б – vertical section ZX

Расчетная схема № 3. Для исключения упругопластических деформаций грунта в контурной зоне нижней МФП можно устроить свайное основание под нижней МФП из свай сечением 40×40 см и длиной 10 м, работающих в линейно деформируемом основании (рис. 5). Параметры свай обусловлены наличием больших горизонтальных сдвигающих сил, возникающих от давления грунта на поверхность наружных продольных стен, контактирующих с грунтом, и условием обеспечения прочности свай по материалу. В этом слу-

чае наибольшая поперечная сила в оголовках свай от давления грунта склона составила $Q_x = 16,2$ кН. Для сравнения наибольшая поперечная сила в оголовках свай с противоположной стороны от склона была равна $Q_y = 11,0$ кН.

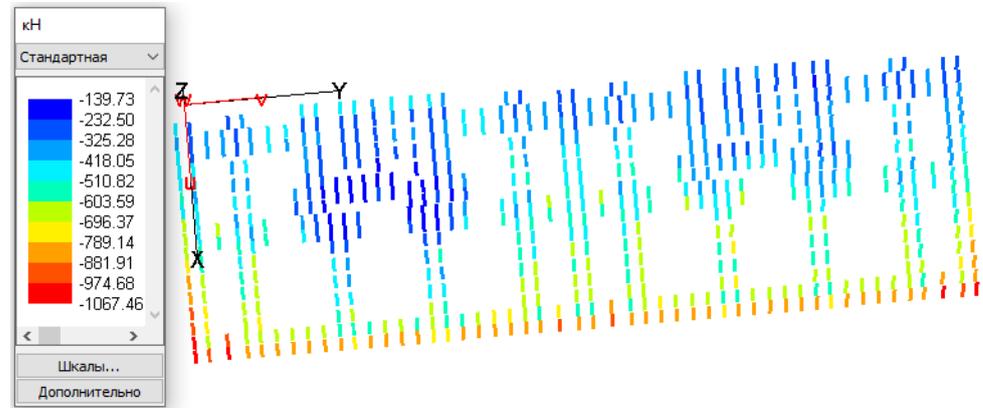


Рис. 5. Изополя продольных усилий в сваях в расчетной схеме № 3
Fig. 5. Longitudinal stress isofields in slabs in design model 3

Анализ полученных результатов позволил установить, что наибольшие значения продольных усилий появились в угловых сваях $N_{\text{уг.св}} = 1067$ кН и в контурных сваях $N_{\text{конт.св}} = 975$ кН с противоположной стороны от склона. При этом продольные усилия в угловых и контурных сваях превышают допустимую расчетную нагрузку на сваи $N_p = 844$ кН. Следует отметить, что в случае превышения допустимой расчетной нагрузки на сваю скорость осадки сваи увеличивается, свая становится более податливой и теряет способность воспринимать нагрузку, превышающую расчетную величину, в системе «плита – свая». В результате происходит перераспределение усилий между сваями.

Расчетная схема № 4. Поскольку продольные усилия в угловых и контурных сваях превысили допустимую расчетную нагрузку $N_p = 844$ кН, то за счет возможности проскальзывания свай в грунте происходит перераспределение усилий, и они работают по конструктивно нелинейной схеме, которая реализуется в программе с помощью двух опций:

- односторонние шарниры в виде связей обеспечивают совместную работу свай с грунтом по боковой поверхности и под пятой, допускают возможность проскальзывания свай в грунте;
- односторонние опоры передают нагрузку только на сваи.

Принятые односторонние связи допускают вертикальные перемещения свай только вниз. В случае превышения величины допустимой расчетной нагрузки на сваи меняется жесткость этих односторонних связей, после чего расчет проводится для новой схемы. По протоколу статического анализа было выполнено пять нелинейных итераций при точности 0,001.

При работе свай по конструктивно нелинейной схеме наибольшие значения продольных усилий во всех сваях не превысили величину допустимой расчетной нагрузки $N_p = 844$ кН (рис. 6).

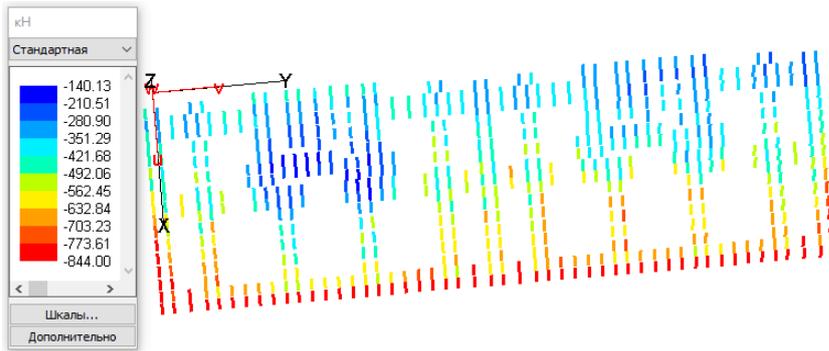


Рис. 6. Изополя продольных усилий в сваях в расчетной схеме № 4
 Fig. 6. Longitudinal stress isofields in slabs in design model 4

Деформированное состояние

Расчетная схема № 1. В плитном фундаменте при линейном деформировании основания максимальные вертикальные перемещения грунта на уровне подошвы нижней МФП составили $f_{\max} = 115$ мм (рис. 7, а), что меньше предельно допустимых значений осадок основания для рассматриваемого типа зданий $S_u^{\max} = 180$ мм.

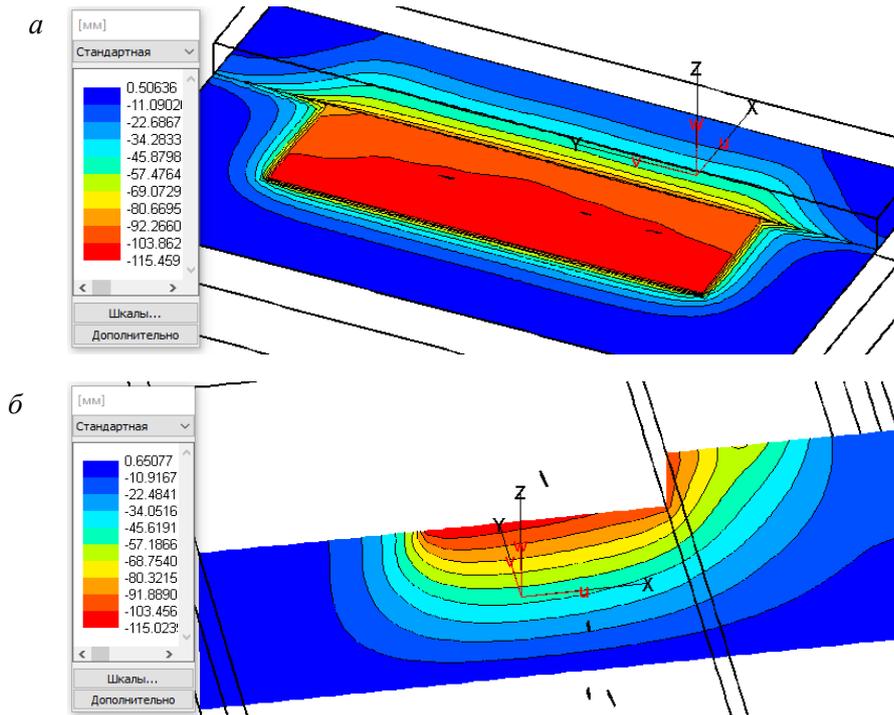


Рис. 7. Изополя вертикальных перемещений основания в расчетной схеме № 1:
 а – в сечении XY под подошвой нижней МФП; б – в сечении ZX
 Fig. 7. Vertical displacement isofields of foundation in design model 1:
 а – section XY under bottom slab sole; б – section ZX

В центральной части основания, в так называемой воронке оседания, с увеличением глубины сжимаемой толщи наибольшие вертикальные перемещения грунта под подошвой МФП с максимальных значений $f_{\max} = 115$ мм снижаются практически до нуля на отм. -25.000 (рис. 7, б).

Относительная разность вертикальных перемещений основания составила $(115,0-103,5)/9560 = 0,001$ и не превышает предельного значения разности осадок $(\Delta/L)_u = 0,003$.

Расчетная схема №2. В плитном фундаменте при нелинейном деформировании основания максимальные вертикальные перемещения грунта на уровне подошвы МФП увеличились до значения $f_{\max} = 295$ мм (рис. 8, а) и превысили предельные значения осадок основания $S_u^{\max} = 180$ мм.

В центральной части основания с увеличением глубины сжимаемой толщи наибольшие вертикальные перемещения грунта под подошвой МФП с максимальных значений $f_{\max} = 295$ мм снижаются до 27 мм на отм. -25.000 (рис. 8, б).

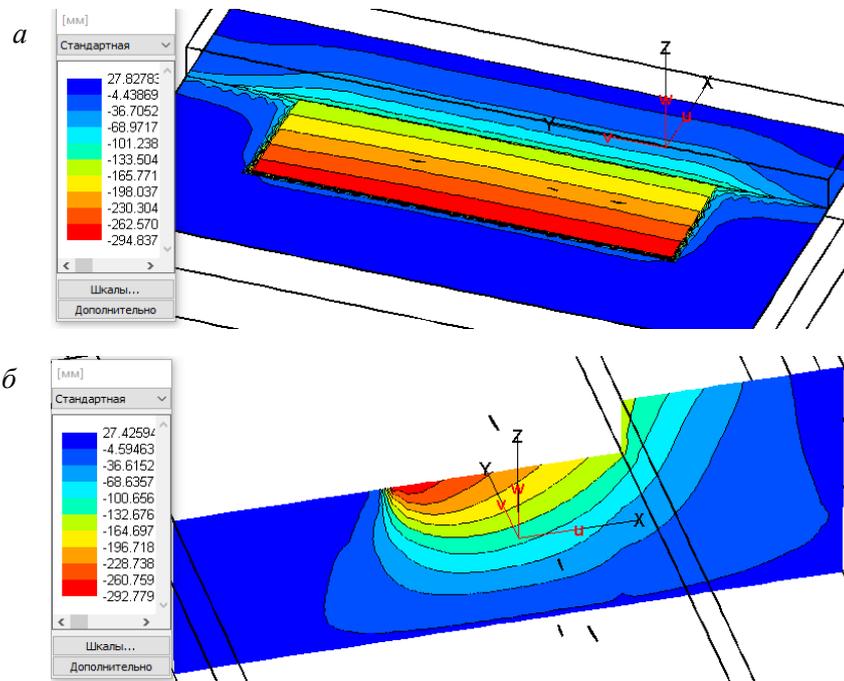


Рис. 8. Изополя вертикальных перемещений основания в расчетной схеме № 2:

а – в сечении XY под подошвой нижней МФП; б – в сечении ZX

Fig. 8. Vertical displacement isofields of foundation in design model 2:

а – section XY under bottom slab sole; б – section ZX

Относительная разность вертикальных перемещений основания составила $(292,7-132,6)/14480 = 0,01$ и более, что на порядок превышает предельное значение разности осадок $(\Delta/L)_u = 0,003$.

Расчетная схема № 3. В случае перехода от плитного фундамента к свайному при линейном деформировании основания максимальные вертикальные

перемещения свай значительно уменьшились и составили $f_{\max} = 48,4$ мм (рис. 9) и не превысили предельных значений осадок основания $S_u^{\max} = 180$ мм.

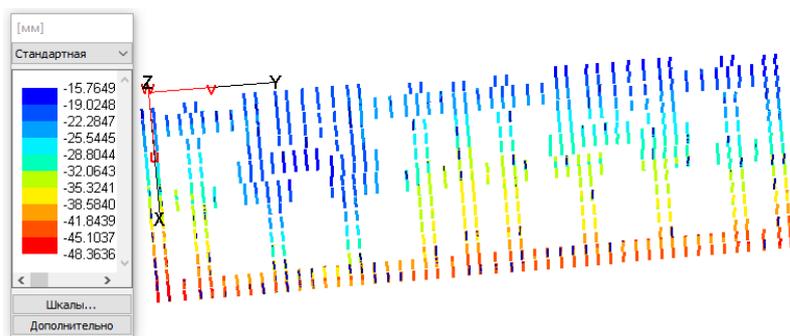


Рис. 9. Изополя вертикальных перемещений свай в расчетной схеме № 3
 Fig. 9. Vertical displacement isofields in slabs in design model 3

Относительная разность вертикальных перемещений свай составила $(48,4 - 22,2) / 14480 = 0,002$ и не превышает предельно допустимую разность осадок $(\Delta/L)_u = 0,003$.

Расчетная схема № 4. В свайном фундаменте при линейном деформировании основания и конструктивно нелинейной работе свай максимальные вертикальные перемещения свай немного увеличились и составили $f_{\max} = 49,1$ мм (рис. 10) и при этом также не превысили предельно допустимых значений осадок основания $S_u^{\max} = 180$ мм.

Относительная разность вертикальных перемещений свай составила $(49,1 - 19,0) / 14480 = 0,002$, что не превышает предельную величину разности осадок $(\Delta/L)_u = 0,003$.

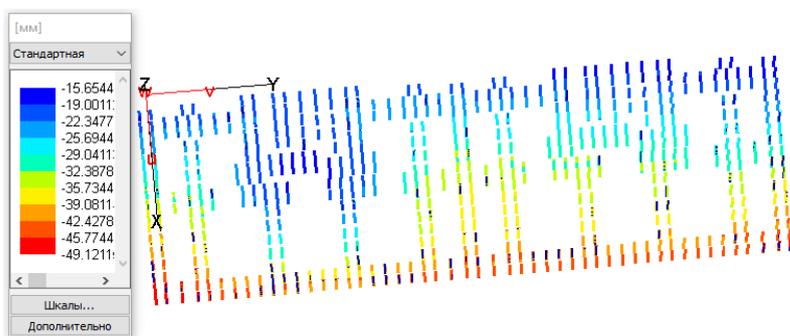


Рис. 10. Изополя вертикальных перемещений свай в расчетной схеме № 4
 Fig. 10. Vertical displacement isofields in slabs in design model 4

В заключение можно отметить, что при использовании плитного фундамента распределение нормальных напряжений при моделировании линейно/нелинейно деформируемого основания в целом показало качественное совпадение результатов, когда по контуру МФП возникла классическая зона упругопластического деформирования грунта.

Нормы проектирования допускают наличие в контурной области МФП зоны упругопластического состояния грунта при условии обеспечения несущей способности основания в целом. В этом случае определяющим является выполнение условий по второй группе предельных состояний по деформациям и перемещениям основания.

Расчеты показали, что в линейно деформируемом основании плитного фундамента значения абсолютных и относительной разности вертикальных перемещений соответствуют условиям по второй группе предельных состояний.

Однако при работе основания по нелинейной модели Кулона – Мора условия по второй группе предельных состояний – по вертикальным перемещениям и по крену – не выполняются, и применять плитный фундамент не рекомендуется. Таким образом, при расчете плитного фундамента использование модели только линейно деформируемого основания оказывается недостаточным.

Для исключения зон упругопластических деформаций грунта в контурной области МФП, приводящих к невыполнению условий по второй группе предельных состояний, рекомендуется перейти на свайный фундамент, когда основанием МФП служит свайное поле. Однако в этом случае в контурных сваях появляются большие усилия и необходимо обеспечить условие прочности свай по материалу.

Особенностью работы свай при давлении грунта со стороны склона является значительная перегрузка контурных свай, расположенных с противоположной стороны от склона, по сравнению с остальными сваями. Кроме того, продольные усилия в контурных сваях существенно превышают допускаемую расчетную нагрузку на сваи, в результате чего не выполняется условие по первой группе предельных состояний.

Использование конструктивно нелинейной работы свай, когда ограничивается продольное усилие в сваях величиной допускаемой расчетной нагрузки, позволяет обеспечить выполнение условий для свайного фундамента по первой и второй группам предельных состояний.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Шашкин К.Г.* Расчет напряженно-деформированного состояния основания фундаментов и здания с учетом их взаимодействия // Реконструкция городов и геотехническое строительство : Интернет-журнал. 2001. № 4 С. 6. URL: <http://georeconstruction.net/journals/04/19/19.htm> (дата обращения: 06.07.2023).
2. *Шулятьев О.А.* Основания и фундаменты высотных зданий : монография. Москва : Издательский дом «АСВ», 2016. 392 с. ISBN 978-54323-0163-5.
3. *Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Кузнецов Е.Н.* О современных проблемах расчета высотных зданий из монолитного железобетона // Бетон и железобетон – пути развития : научн. тр. II Всерос. (Междунар.) конф. В пяти книгах. Т. 1. Пленарные доклады. Москва, 2005. С. 149–166.
4. *Лушников В.В.* Использование мирового опыта при проектировании и строительстве фундаментов высотных зданий с учетом геологических условий Екатеринбурга // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2009. № 1. С. 76–82.
5. *Алексеев С.И., Камаев В.С.* Учет жесткостных параметров зданий при расчетах оснований и фундаментов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2007. № 3. С. 165–172.
6. *Михайлов В.С., Теплых А.В.* Учет характерных особенностей различных моделей основания при расчете взаимного влияния зданий на больших фундаментных плитах с ис-

- пользованием расчетно-аналитической системы SCAD Office // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений : VI Международный симпозиум. Владивосток, 2016. С. 133–134.
7. Шулятьев О.А. Геотехнические особенности проектирования высотных зданий в Москве // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 10. С. 17–25. EDN: WWMTJF
 8. Крыжановский А.Л., Рубцов О.И. Вопросы надежности проектного решения фундаментных плит высотных зданий // Вестник МГСУ. 2006. № 1. С. 191–198.
 9. Орехов В.В., Зарецкий Ю.К., Кельман М.И. Расчет взаимодействия плитного фундамента с грунтовым основанием с учетом жесткости верхнего строения // Вестник МГСУ. 2008. № 2. С. 15–17.
 10. Зарецкий Ю.К., Карабаев М.И. Влияние последовательности возведения близко расположенных высотных зданий на осадки и крен фундаментных плит // Вестник МГСУ. 2006. № 1. С. 50–56.
 11. Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Расчет фундаментных плит в пространственной постановке с учетом нелинейных деформаций основания // Реконструкция городов и геотехническое строительство : Интернет-журнал. 2000. № 3. URL : <http://georeconstruction.net/journals/03/20/20.htm> (дата обращения: 20.04.2023).
 12. Кудрявцев С.А., Склярова К.М. Натурные наблюдения и численное моделирование строительства высотного здания на плитном фундаменте в г. Хабаровске // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 2 (38). С. 86–91.
 13. Юцубе С.В., Подшивалов И.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния основания кирпичного здания повышенной этажности на монолитной фундаментной плите // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 2. С. 118–132. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-118-132. EDN: DIFUTE
 14. Катценбах Р., Шмитт А., Рамм Х. Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франфурта-на-Майне. Случаи из практики // Реконструкция городов и геотехническое строительство. 2005. № 9. С. 80–99.
 15. Шулятьев О.А. Фундаменты высотных зданий // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2014. № 4. С. 202–244.
 16. Юцубе С.В., Подшивалов И.И., Филиппович А.А., Тряпицин А.Е. Моделирование напряженно-деформированного состояния кирпичного здания повышенной этажности на свайном фундаменте // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4 (69). С. 72–77. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-4-72-77

REFERENCES

1. Shashkin K.G. Stress-strain state analysis of foundations and building interaction. 2001; (4): 6. Available: <http://georeconstruction.net/journals/04/19/19.htm> (accessed July 6, 2023). (In Russian)
2. Shulyatyev O.A. Foundations of high-rise buildings. Moscow, 2016. 392 p. (In Russian)
3. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Kuznetsov E.N. Modern problems of high-rise buildings made of monolithic reinforced concrete. In: *Proc. 2nd All-Russian Conf. "Concrete and Reinforced Concrete: Ways of Development"*, in 5 books. V. 1. Moscow, 2005. Pp. 149–166. (In Russian)
4. Lushnikov V.V. World experience in design and construction of high-rise building foundations with regard to geological conditions in Ekaterinburg. *Akademicheskii vestnik UralNIIProekt RAASN*. 2009; (1): 76–82. (In Russian)
5. Alekseev S.I., Kamayev V.S. Consideration of rigidity parameters of buildings in calculations of bases and foundations. *Vestnik of Tomsk state University of Architecture and Building*. 2007; (3): 165–172. (In Russian)
6. Mikhailov V.S., Teplykh A.V. Specific properties of various foundation models in calculating buildings effect on large foundation slabs in SCAD Office. In: *Proc. 4th Int. Symposium 'Relevant Problems of Computer Simulation of Structures'*, Vladivostok. 2016. Pp. 133–134. EDN: WWMTJF (In Russian)
7. Shulyatyev O.A. Geotechnical properties of high-rise buildings in Moscow. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016; (10): 17–25. (In Russian)

8. Kryzhanovskiy A.L., Rubtsov O.I. Reliability of design solutions of foundation slabs of high-rise buildings. *Vestnik MGSU*. 2006; (1): 191–198. (In Russian)
9. Orekhov V.V., Zaretskiy Yu.K., Kelman M.I. Interaction between slab and ground foundations with respect to upper structure rigidity. *Vestnik MGSU*. 2008; (2): 15–17. (In Russian)
10. Zaretskii Y.K., Karabaev M.I. Influence of sequence of closely erected high-rise buildings on settlement and foundation slabs. *Vestnik MGSU*. 2006; (1): 50–56. (In Russian)
11. Shashkin A.G., Shashkin K.G. Strength analysis of foundation plates at nonlinear deformation of foundations. *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2000; (3). Available: <http://georeconstruction.net/journals/03/20/20.htm> (accessed April 20, 2023). (In Russian)
12. Kudriavtsev S.A., Sklyarova K.M. Full-scale observations and numerical simulation of high-rise building on slab foundation in Khabarovsk. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie*. 2013; 2 (38): 86–91. (In Russian)
13. Yushchube S.V., Podshivalov I.I. Stress-strain state finite element modeling of concrete foundation of a multistory brick building. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021; 23 (1): 118–132. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-2-118-132. EDN: DIFUTE (In Russian)
14. Katzenbach R., Schmitt A., Ramm H. Basic principles of design and monitoring of high-rise buildings of Frankfurt am Main. *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*, 2005; (9): 80–99. (In Russian)
15. Shulyatyev O.A. Foundations of high-rise buildings. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2014; (4): 202–244. (In Russian)
16. Yushube S.V., Podshivalov I.I., Filippovich A.A., Tryapitsin A.E. Stress-strain state model of high-rise brick building on pile foundation. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018; 4 (69): 72–77. DOI: 10.23968/1999-5571-2018-15-4-72-77 (In Russian)

Сведения об авторах

Ющубе Сергей Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sv@tsuab.ru

Подшивалов Иван Иванович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ivanpodchivalov@list.ru

Authors Details

Sergei V. Yushchube, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; sv@tsuab.ru

Ivan I. Podshivalov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia; ivanpodchivalov@list.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 21.04.2023
Одобрена после рецензирования 15.05.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 21.04.2023
Approved after review 15.05.2023
Accepted for publication 21.09.2023

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

ENGINEERING AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRDROMES, AND TUNNELS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 179–197.

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; 25 (5): 179–197.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.168:625.861

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-179-197

EDN: ZHWVQF

КАЧЕСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ В КОНТЕКСТЕ УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Виктор Николаевич Лукашевич, Ольга Дмитриевна Лукашевич
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. Актуальность. Несмотря на положительные изменения в дорожном строительстве, связанные с реализацией нацпроектов, направленных на значительный рост качественных и количественных показателей дорожно-транспортной инфраструктуры страны, задачи ресурсосбережения, охраны окружающей среды и экологической безопасности остаются актуальными в силу недостаточного внимания к ним.

Цель исследования – проанализировать взаимосвязи между показателями качества и экологической безопасностью автомобильной дороги в контексте устойчивого развития.

Результаты. Рассмотрены вопросы баланса экологического, социального, экономического компонентов дорожно-транспортной инфраструктуры как системы. Комплексное развитие дорожного строительства должно быть функциональной основой этой системы на всех стадиях жизненного цикла: проектирования, строительства, эксплуатации автомобильной дороги. Дана оценка соответствия фактической ситуации в регионах современным реалиям нормативно-правовой базы и экономическим возможностям их реализации. В статье представлены основные факторы воздействия строительного и эксплу-

атационно-технологических средств на окружающую среду в течение жизненного цикла автомобильной дороги. Авторами показана необходимость разворота дорожного строительства в сторону активного использования инновационных разработок, повышающих качество и безопасность дорожно-транспортной инфраструктуры при одновременном решении вопросов ресурсосбережения и рационального природопользования.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожно-строительная отрасль, эколого ориентированная дорожная инфраструктура, экологическое качество

Для цитирования: Лукашевич В.Н., Лукашевич О.Д. Качество, эксплуатационные свойства и экологическая безопасность автомобильной дороги в контексте устойчивого экономического развития // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 179–197. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-179-197. EDN: ZHWVQF

ORIGINAL ARTICLE

QUALITY, OPERATING PROPERTIES AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF AUTOMOBILE ROAD IN SUSTAINABLE ECONOMIC DEVELOPMENT

Viktor N. Lukashevich, Olga D. Lukashevich

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Despite positive changes in the road construction associated with the implementation of national projects aimed at a significant increase in the qualitative and quantitative indicators of the road and transport infrastructure, the resource conservation, environmental protection and safety remain relevant due to insufficient attention to them.

Purpose: The analysis of the relationship between quality indicators and environmental safety of the road in the sustainable development.

Approach: Balance is considered between ecological, social, economic components of the road transport infrastructure. The integrated development of road construction should serve as a functional basis of this infrastructure at all stages of the life cycle: the road design, construction, operation.

Research findings: The correspondence of the actual situation in regions to modern regulatory and legal documents and economic possibilities of their implementation is considered herein. The impact of construction and operational and technological means on the environment is shown for the road life cycle. It is shown that the road construction must be oriented towards the use of innovative development that improves the quality and safety of the road transport infrastructure while addressing issues of resource conservation and environmental management.

Keywords: road, road construction industry, environmentally-oriented road infrastructure, ecological quality

For citation: Lukashevich V.N., Lukashevich O.D. Quality, operating properties and environmental safety of automobile road in sustainable economic development. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 179–197. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-179-197. EDN: ZHWVQF

Введение

Интенсивный рост дорожного строительства, стремительное увеличение парка легкового и грузового (особенно большегрузного) транспорта, его коли-

качественных и качественных показателей, критически важных для целостности и надежности дорожного полотна, значительное разрастание транспортно-технологической инфраструктуры, изменение под их влиянием ландшафтов и другие факторы напрямую и косвенно все сильнее обостряют проблему экологической дорожно-транспортной безопасности [1, 2, 3]. Экологические, технико-технологические, социальные, экономические аспекты качества автомобильных дорог в разное время рассматривались авторами работ [3, 4, 5, 6, 7]. Показатели и нормативы экологической безопасности автомобильной дороги регламентированы техническим законодательством. К ним относятся, например, следующие федеральные и ведомственные нормативно-правовые документы: ГОСТ Р 59205–2021 «Дороги автомобильные общего пользования. Охрана окружающей среды. Технические требования»; ГОСТ 17.5.3.02–90 «Охрана природы. Земли. Нормы выделения на землях государственного лесного фонда защитных полос лесов вдоль железных и автомобильных дорог»; ГОСТ 32957–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Экраны акустические. Технические требования»; СНиП 2.05.02–85 «Автомобильные дороги»; СП 78.13330–19 «Автомобильные дороги»; ОДМ 218.011-98 «Методические рекомендации по озеленению автомобильных дорог»; ОДН N OC-1181-р от 31.12. 2002 «Экологическая безопасность автомобильной дороги: понятие и количественная оценка»; ОДН 218.5.016-2002 «Показатели и нормы экологической безопасности автомобильной дороги»; ОДМ 218.4.005-2010 «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах»; ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам»; ОДМ 218.3.031-2013 «Методические рекомендации по охране окружающей среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог» и др. Однако, несмотря на серьезное внимание со стороны научно-исследовательских дорожно-строительных организаций, а также управляющих и контролирующих государственных экологических и медико-санитарных структур к совершенствованию природоохранной деятельности в транспортно-технологической инфраструктуре, многие проблемы остаются нерешенными ввиду их сложности, многозначности, межведомственного характера, необходимости применения системного подхода.

Целью исследования стало выявление и анализ взаимосвязи между показателями качества автомобильной дороги на разных стадиях жизненного цикла и ее экологической безопасностью в контексте устойчивого развития, рассматриваемого как баланс экологического, социального, экономического компонентов дорожно-транспортной инфраструктуры как системы; освещение инновационных эколого ориентированных направлений развития дорожного строительства.

Материалы и методы исследований

Авторами обобщены материалы, опубликованные в периодических изданиях, а также результаты лабораторных и эксплуатационных исследований ресурсосберегающей технологии дисперсного армирования асфальтобетона.

Результаты и обсуждение

Качество и безопасность дорожно-транспортной инфраструктуры

Эксплуатационные свойства автомобильной дороги, определяющие ее качество, безопасность, формируются в результате совместного воздействия следующих факторов:

- соблюдение экологических и нормативно-технических требований и стандартов при разработке проекта дороги;
- применение при строительстве наиболее эффективных/наилучших доступных/инновационных технологий и материалов, специальной техники и оборудования;
- обязательный производственный и экологический контроль за выполнением работ;
- эксплуатация/содержание объектов дорожной инфраструктуры в строгом соответствии с регламентом;
- осуществление органами управления дорожно-транспортной инфраструктурой круглосуточного наблюдения и контроля.

Важнейшие элементы, которые совокупно определяют качество дорожно-транспортной инфраструктуры как системы, представлены на рис. 1.

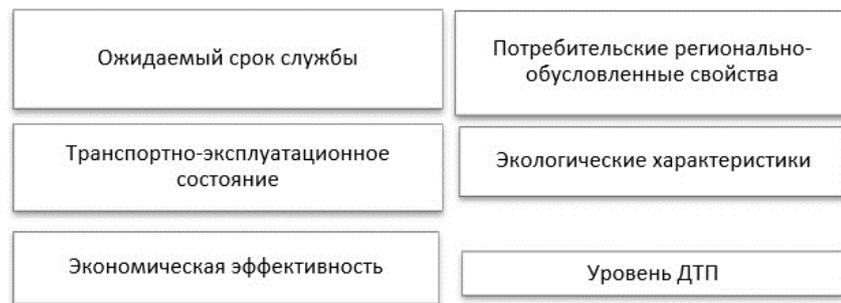


Рис. 1. Совокупность элементов, определяющих качество дорожно-транспортной инфраструктуры как системы

Fig. 1. A set of elements that determine the quality of road transport infrastructure

Каждый элемент системы является ее подсистемой, в которой также можно выделить составные элементы. К примеру, в составе экологических характеристик – степень загазованности; уровень пылевой нагрузки; вибрации, акустическое воздействие (включая ультра- и инфразвуковое воздействие на окружающую среду); загрязнение природных вод, зависящее от их локализации и эффективности отведения дождевых и снеготалых вод; чрезмерный перегрев дорожной одежды в жаркое время года, изменяющий микроклимат на прилегающей территории; санитарно-гигиеническое и фитоценотическое состояние придорожных полос, обусловленное интенсивностью замусоривания, реализацией озеленительных мероприятий; химическое загрязнение почвенного покрова с нарушением его важнейших биосферных функций; гибель и увечье диких и домашних животных, пересекающих автомагистраль, и др.

Серьезной проблемой является низкая эффективность мероприятий, которые призваны не допустить загрязнение природных вод сточными (преимущественно ливневыми) водами, поступающими с автодорог, мостовых сооружений и прилегающих к ним территорий. По данным ФАУ «РОСДОРНИИ» [8], на российских федеральных дорогах существует более 600 очистных сооружений, различающихся конструктивными решениями, эксплуатационными характеристиками, эффективностью. Среди них преобладают каскадные пруды-отстойники и гидробиологические площадки. Второе место занимают отстойники (бетонные, пластиковые, металлические), выполняющие задачу удаления грубо- и мелкодисперсных частиц (илистых осадков) и частично всплывающих нефтепродуктов. Доля высокотехнологичного оборудования с механической и физико-химической фильтрацией значительно ниже (около 30 %). Выполненные РОСДОРНИИ расчеты [8] позволили сделать вывод, что даже при исправной работе действующих очистных сооружений объем обработанных сточных вод с автодорог, находящихся в водоохраных зонах, составляет только 2,6 % от необходимого. Частично задача может быть решена путем повышения требований к проектированию и содержанию дороги (учет ландшафтных и гидрологических особенностей местности, близости к рыбохозяйственным водоемам и рекреационным объектам, своевременное восстановление нарушенного дорожного покрытия и др.), а также путем ужесточения контроля за техническим состоянием транспортных средств как источников загрязнения (утечки топлива и масел, загрязнители с колес и т. п.).

Автор работы [8] делает справедливые выводы о том, что необходимо на уровне федерального законодательства ввести понятие «экологические требования к линейным инженерным сооружениям» и учитывать специфику последних в экологических расчетах; ужесточить проведение ОВОС в рамках экологической экспертизы в отношении проектирования автотрассы; ввести в Водный кодекс РФ пункт, касающийся гармонизации требований к очистке загрязненного стока в зависимости от технической категории автомобильной дороги; установить на уровне Федерального дорожного агентства требования к проектированию и эксплуатации простых и эффективных очистных сооружений разных (в зависимости от конкретных дорожных условий) типов.

Борьба с зимней скользкостью, снижая показатель аварийности, одновременно имеет своим следствием накопление загрязнителей – противогололедных материалов (и продуктов их химического, физико-химического, фотохимического и биохимического превращения) на придорожной полосе.

Эксплуатационно-потребительские свойства автомобильной дороги имеют общие черты в разных странах, однако несут в себе и региональный оттенок, что проявляется как следствие различий в природно-климатических, геологических, социально-экономических, историко-культурных условиях.

На схеме (рис. 2) обобщены современные общественные требования, предъявляемые к качеству дорожно-транспортной инфраструктуры со стороны профессиональных водителей и автомобилистов, использующих личный транспорт, а также пассажиров. Эти требования формируются и видоизменяются по мере повышения интереса населения к росту уровня качества жизни, внимания к требованиям комфортных и безопасных условий перевозок.

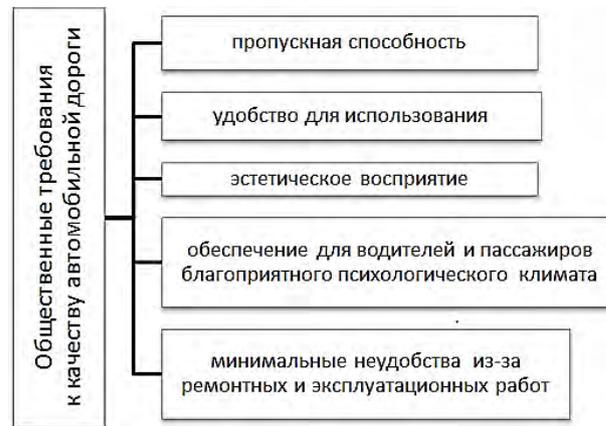


Рис. 2. Подсистема требований к качеству автомобильных дорог со стороны потребителей
 Fig. 2. Subsystem of consumer requirements for the road quality

Таким образом, очевидно, что экологические и общественные требования, с одной стороны, дополняют друг друга, с другой – вступают в противоречия. Так, уменьшение пропускной способности дороги (например, при ремонтных работах) приводит к повышению загазованности и замусоривания обочин пластиковой посудой и тарой. Строительство остановочных площадок и обустройство придорожных мест отдыха, питания, душевых и туалетных комнат без одновременной организации своевременного вывоза и утилизации сопровождающих отходов оборачивается ростом негативного антропогенного воздействия на участки природной среды.

Удобство и комфорт для пассажиров могут вступать в конфликт с техническими и технологическими условиями, обеспечивающими экологическую безопасность, в связи с необходимостью повышения материальных затрат на строительство, эксплуатацию, ремонт, модернизацию автомобильной дороги.

Круг аргументов, свидетельствующих о сложном системном характере концепта «качество дорожно-транспортной инфраструктуры», намного шире.

Анализ опубликованных работ по рассматриваемой проблематике позволил выявить несколько направлений исследований, в которых рассматриваются взаимосвязи качества и безопасности дорожной инфраструктуры с качеством проектирования дороги [9, 10, 11, 12, 13], эффективностью технического контроля [3, 14], соответствием нормативно-правовой базы строительства современным реалиям [15], инновациям в ресурсосбережении и техносферной безопасности [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22].

Ниже более детально рассмотрены только некоторые из работ, поскольку обстоятельные анализ и обобщение изученных материалов не вписываются в формат журнальной публикации.

Организационно-нормативное обеспечение экологической безопасности

Организационно-нормативное обеспечение экологической безопасности носит, на наш взгляд, не деятельностный, а информационный и рекомендательный характер. Поэтому, несмотря на внимание властных структур к реализации

Транспортной стратегии России с горизонтом планирования до 2030 г., положительные ее результаты ограничиваются тысячами километров нового дорожного полотна и миллиардами освоенных денежных средств, в то время как экологический ущерб накапливается для будущих поколений. Устойчивых тенденций в отношении повышения экологической безопасности дорожно-транспортного сектора экономики не наблюдается: по остаточному принципу проводятся ландшафтные работы, рекультивация земель, озеленение придорожных территорий, снижение пылеобразования на дорогах с жестким покрытием, шумовая защита, работы по отведению ливневых стоков с придорожной территории и их очистке.

Необходимо усиление роли контрольно-надзорных функций в субъектах дорожно-транспортной деятельности.

Реализация в стране нацпроекта «Безопасные и качественные дороги», сопровождающаяся значительными финансовыми вливаниями, имеет положительные результаты как в объемах строительных работ, так и в отношении снижения числа дорожно-транспортных происшествий.

По данным сайта ГИБДД РФ (stat.gibdd.ru), в 2022 г. число ДТП на дорогах общего пользования составило 126 705 случаев, погибло 14 172, ранено 159 635 человек. Это меньше, чем в предыдущие (2021 и 2020) годы (133 331 и 145 073 случая соответственно), однако немало. Статистические данные показывают, что тремя основными причинами гибели людей являются выезд на встречную полосу, наезд на пешехода, вождение в состоянии опьянения¹.

Вопрос о влиянии качества содержания автодорог на количество ДТП мало исследован специалистами, однако в СМИ, особенно в интернет-сфере, обсуждается достаточно активно. Рассматриваются юридические стороны этого вопроса для аварийных ситуаций, когда из-за дефектов дорожного покрытия (ямы), плохой видимости в поворотах, гололеда, скопления ливневых вод, недостаточной освещенности, отсутствия ограждений и других причин страдают люди, транспортные сооружения, автомобили.

На основании анализа отчетов о причинах аварийности в разных странах зарубежные ученые пришли к выводу, что 30 % случаев приходится на ошибки, допущенные при проектировании дорог и связанные с несовершенством норм проектирования дорог [13]. Для России подобные сведения в открытой печати отсутствуют, однако отмечается острая необходимость разработки и принятия новых норм проектирования автомобильных дорог, основанных на современных концептуальных подходах, что позволит при незначительных финансовых затратах значительно сократить уровень аварийности [13].

В какой степени ошибки в проектировании, нарушения при строительстве и халатность при эксплуатации автомобильных дорог влияют на число и тяжесть последствий ДТП? Значимость ответа на этот вопрос в последние годы инициирует обсуждения специалистов на производственных совещаниях и научно-практических конференциях разного уровня².

¹ С начала года на российских дорогах погибли 14 тысяч человек – это много или мало? // Реальное время: интернет-газета. URL: <https://realnoevremya.ru/news/269257-v-2022-godu-na-dorogah-rossii-pogibli-14-tysyach-chelovek>

² Ошибки при проектировании автодорог: их цена и последствия // ДорИнфо. URL: https://dorinfo.ru/99_detail.php?ELEMENT_ID=108358

Заместитель гендиректора ООО «Автобан» Н. Савенкова отмечает, что рост количества проектов, их сложность (комплексные проекты стали объединять в себе и новое строительство, и реконструкцию или капремонт уже существующих зданий) снижают рентабельность производства. «Чем крупнее и важнее проект, тем сложнее его возведение, а значит, и выше цена ошибок и просчетов, когда готовая проектная документация имеет серьезные ошибки и противоречия»³. Указывается, что «часто такое происходит при инженерно-геологических изысканиях и в сметных расчетах». Самые частые ошибки при проектировании дорог – «неправильная оценка пригодности грунтов основания и выемки; указание и расчет на карьеры каменных материалов, которые уже не действуют; неправильная оценка дальности транспортировки материалов на объект; неправильное указание на полигоны для утилизации строительных отходов»⁴.

Проблемы обеспечения качества и безопасности автодорог

В наиболее обобщенном виде трудности, влияющие на обеспечение качества и безопасности автодороги, можно представить совокупностью факторов: рост интенсивности и скорости дорожного движения; увеличение числа ДТП; повышение осевых нагрузок; рост структурных, эксплуатационных, ремонтных затрат; повышение требований потребителей к благоустройству; увеличение стоимости и сложности технического оснащения строительства, реконструкции, эксплуатации дорожной инфраструктуры.

В табл. 1 показана суть и предложены пути преодоления некоторых проблем экологической безопасности в России, проявляющих себя на федеральном и региональном уровнях.

Таблица 1

Актуальные проблемы экологической безопасности автомобильных дорог

Table 1

Relevant problems of road environmental safety

Выявленная проблема	Суть проблемы, причины и последствия	Пути решения проблемы
1. Рост стоимости строительства автодороги, особенно в азиатской части России	Короткий теплый период, требующий сжатых сроков строительства; сложность проведения земельных работ из-за продолжительных неблагоприятных погодных условий; высокая стоимость доставки строительных материалов	Изменить федеральную систему финансирования строительства, основанную на конкурсной основе, которая тормозит согласование документов и принятие своевременных решений по финансированию и закупкам, сдвигает сроки работ, не позволяет вовремя их завершать

³ Ошибки при проектировании автодорог: их цена и последствия // ДорИнфо. URL: https://dorinfo.ru/99_detail.php?ELEMENT_ID=108358.

⁴ Там же.

Продолжение табл. 1
Continuation

Выявленная проблема	Суть проблемы, причины и последствия	Пути решения проблемы
2. Несовершенная система выделения земельных участков под строительство	На выкуп земли из сметной стоимости часто тратятся финансовые средства, превышающие другие статьи расходов. Высокая цена строительства вынуждает заказчиков и исполнителей экономить на строительных материалах и технологиях	Использовать зарубежную практику, когда уже на стадии проектирования государство обеспечивает строителям участок, отведенный под дорогу, сопутствующие коммуникации и сооружения
3. Трудность использования для передвижения бесхозных дорог вблизи «умирающих» поселений, где отсутствуют муниципальные структуры	Плохая доступность тракторов, автомашин, комбайнов к сохранившимся сельхозугодьям; отсутствие служб, обеспечивающих безопасность транспорта, пешеходов, животных. Риски связаны с плохой видимостью дорожных знаков, ограниченным обзором на поворотах, выходом диких животных на проезжую часть	Устранить нормативно-правовые противоречия, например, ввести запрет на уничтожение древесной и кустарниковой растительности в пределах полосы отвода и придорожных полос, если это касается заброшенных дорожных участков
4. Юридическая коллизия: региональный оператор не может обеспечить сбор и вывоз ТКО в отсутствие мест накопления (госконтрактами эти функции возложены на Компанию – ДРСУ). Неясно, может ли ДРСУ собирать и транспортировать (в рамках лицензии) ТКО самостоятельно и передавать на существующие пункты приема ТКО (полигоны), при этом производить оплату региональному оператору	На ДРСУ, по законодательству РФ, возложено выполнение работ по содержанию автомобильных дорог регионального или межмуниципального значения и сооружений на них, включая комплекс работ по обращению с отходами производства и потребления, образующимися при работах на объектах. Компания выступает собственником и оператором отхода «мусор и смет уличный» (ТКО) и обязана заключить договор на оказание услуг по обращению с ТКО с региональным оператором, в зоне деятельности которого образуются ТКО и находятся места их накопления. Однако, по ФЗ № 89 «Об отходах...» (ст. 13.4.), накопление ТКО допускается только в местах (на площадках) накопления отходов, соответствующих требованиям законодательства в области санитарно-эпидемиологического благополучия	Необходимо более четко определить категорию отходов от уборки полосы отвода и придорожной полосы дорог и порядок их передачи на полигоны, обезвреживание или переработку

Окончание табл. 1
End of table

Выявленная проблема	Суть проблемы, причины и последствия	Пути решения проблемы
<p>5. Ненадлежащее состояние ливневой канализации: в период весеннего снеготаяния, во время обильных дождей дороги и тротуары в городах наполняются потоками воды</p>	<p>Причины неудовлетворительной работы водоотводных и дренажных сооружений (ВиДС):</p> <ul style="list-style-type: none"> ошибки при проектировании (например, по причине экономии средств при инженерных изысканиях) изменение рельефа в течение длительного времени эксплуатации объекта кольматация дренажных материалов разрушение элементов ВиДС при эксплуатации (коррозия арматуры, разрушение бордюрных блоков, прикромочных лотков и т. д.) искажение двускатного и односкатного поперечного профиля при некачественном ремонте участков АД отсутствие (разрушение) кюветов, нагорных и продольных водоотводных канав 	<p>Выделение адекватного финансирования на приобретение, изготовление, содержание ливневых лотков, смотровых колодцев,ждеприемников, песколовков, коллекторов, канализационных труб для сложной системы ливневой канализации.</p> <p>Строгий контроль за выполнением требований СТО НОСТРОЙ 2.25.103-2013 по устройству поверхностного водоотвода в условиях города и внегородских дорог, дренажных систем на автомобильных дорогах и мостовых сооружениях</p>
<p>6. Процессы эрозии и заболачивания, изменение микроклимата, проявление подвижек земляных масс; изменение эстетической и культурной ценности ландшафта</p>	<p>Возникновение и развитие гидрологически обусловленных изменений в результате строительства или функционирования дорожно-транспортных объектов</p>	<p>Сохранение (высадка) растительности, укрепление откосов, предупреждение подтопления лесонасаждений, строительство и содержание водопропускных сооружений в надлежащем состоянии</p>
<p>7. Повышение аварийности и травматизма в холодное время года; загрязнение придорожной полосы</p>	<p>Несвоевременная работа снегоуборочной техники; накопление снега с противогололедными материалами (ПГМ) на снегоотвалах</p>	<p>Контроль за соответствием ПГМ требованиям ГОСТ Р 59201. Создание новых экологически чистых противогололедных средств и разработка методик оценки экологической безопасности различных технологий борьбы с зимней скользкостью</p>

**Инновации дорожно-строительной отрасли,
повышающие качество и безопасность автомобильных дорог**

Инновационная деятельность предполагает создание новых и совершенствование уже существующих технологий и материалов.

Среди большого числа публикаций, посвященных разработкам новых дорожно-строительных материалов, в том числе с возможностью утилизации промышленных отходов, выделяется статья И. Вольфа «"Недоинновационная" дорожная отрасль, или В России опять строят незнамо что» в отраслевом журнале «Строительство» (№ 8, 2021 г.)⁵. Автор публикации, ссылаясь на отчет Счетной палаты, утверждает что «новые технологии – по факту старые», что новшества практически не внедряются в реальную практику дорожного строительства, а «закупки делаются с крупными нарушениями». Отмечается, что «цементобетонные дороги, проявляющие более высокую эффективность (долговечность, ремонтпригодность) не строятся, а основная деятельность по поиску инноваций направлена на разработку стандартов».

Особое внимание обращается на то, что многочисленные разработанные в Росавтодоре рекомендации «не содержат определений новых технологий и материалов, а также критериев отнесения их к новым, в результате фактически не используются... отсутствует единый документ стратегического планирования». Согласимся с автором, что в нормативных документах для транспортного строительства термины «новые технологии», «новые технологические решения (конструкции)» и «новые материалы» должны иметь однозначную трактовку, быть закреплены на федеральном уровне, что обеспечит для разработчиков и исполнителей среду, благоприятную для инновационной деятельности.

В табл. 2 на основе анализа и обобщения научных работ, освещающих результаты исследований в области эколого ориентированного дорожно-транспортного материаловедения и строительства, выделены приоритетные научно-практические направления.

Таблица 2

**Направления и примеры эколого ориентированных инноваций
в дорожном строительстве**

Table 2

**Directions and examples of environmentally orientated innovations
in road construction**

Научное направление инновации	Характеристика новшеств	Литературные источники
Повышение устойчивости асфальтобетонных покрытий дорожных одежд физическими методами и способами	Обработка (механическая, электроимпульсная и проч.)	23

⁵ Агентство новостей «Строительный бизнес». URL: <http://ancb.ru/publication/read/11725>

Окончание табл. 2
End of table

Научное направление инновации	Характеристика новшеств	Литературные источники
Повышение устойчивости асфальтобетонных покрытий дорожных одежд химическими методами	Модифицирование дорожных битумов (наноструктурирование, полимерные модификаторы и др.)	16, 22, 24–27
Применение технологий дисперсного армирования (комбинированное воздействие на свойства дорожной одежды)	Получение прочных, долговечных фиброасфальтобетона и фиброцементобетона армированием: минеральными волокнами (стекловолокно, металл, фибры из каменных материалов) синтетическими полимерными волокнами (резина, полиэтилен, полипропилен, ПЭТ) древесными волокнами	28–30 19, 31 32 18, 20, 33–35
Использование в качестве добавок к сырью отходов предпочтительно местных промышленных предприятий	Использование кубовых остатков химической отрасли Замена природных каменных материалов для верхнего и нижнего слоев покрытий АД на отходы камнедробления Применение отходов пластмасс вместо дорогостоящих полимерных модификаторов Использование рециклирата (крошки из старого асфальтобетона)	36 36–38 39, 40
Использование отходов, не содержащих канцерогенных веществ и радионуклидов, в основаниях дорожной одежды	Использование местных техногенных материалов и грунтов при устройстве земляного полотна автодорог и грунтовых оснований аэродромов	17, 38, 41

Предложенные в таблице направления инноваций нельзя рассматривать как единственно правильные, т. к. они тесно связаны и пересекаются. Так, механическая активация при подготовке сухих минеральных смесей сопровождается сложными физико-химическими взаимодействиями; химическое модифицирование органических вяжущих может происходить при использовании отходов (например, в композиционных битумно-полимерных материалах) и т. п.

Улучшение показателей физико-механических и реологических свойств асфальтобетонов из смесей, дисперсно-армированных химическими волокнами

Улучшение показателей свойств армированного асфальтобетона происходит за счет протекания сложных процессов.

Отличительной особенностью разработанного В.Н. Лукашевичем с соавторами способа дисперсного армирования асфальтобетонной смеси (патент РФ 2102353) является «решение задачи снижения затрат на приготовление асфальтобетонных смесей для улучшения прочностных, сдвиговых характеристик и трещиностойкости покрытия путем введения в АБС синтетических волокон горячими, сразу после их формирования из расплава» (рис. 3).

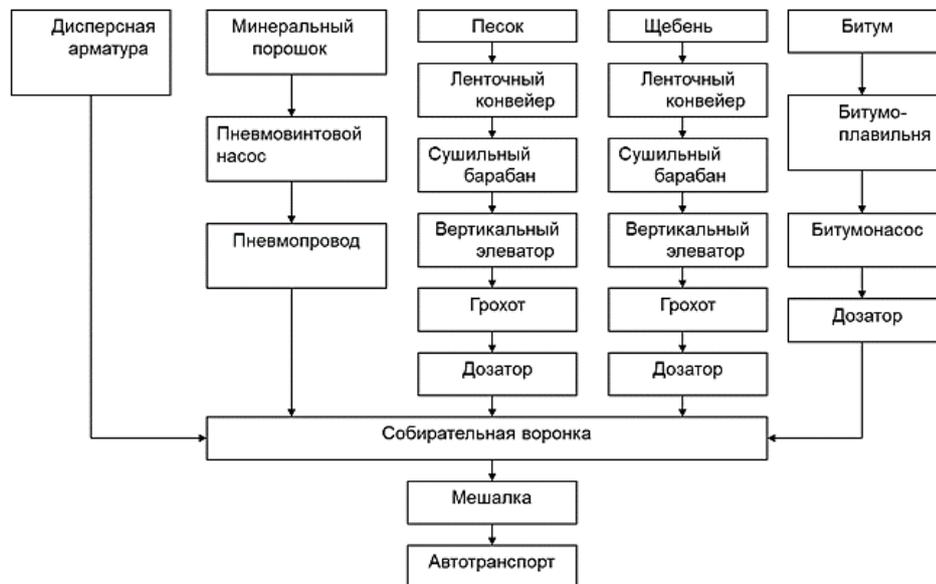


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема приготовления асфальтобетонных смесей, армированных дискретным методом

Fig. 3. Process flow diagram of preparation of asphalt concrete mixes reinforced by using a discrete method

Экспериментально установлено, что введение в асфальтобетонную смесь дисперсной арматуры в пределах 1 % от массы минеральной части повышает прочность асфальтобетона при сдвиге на 25–30 % при температуре 50 °С, прочность при растяжении при отрицательных температурах – на 40–80 %.

Дисперсное армирование улучшает деформируемость (до 90–200 %) при температурах ниже нуля, коррозионную устойчивость; снижает усталостную прочность (до 200–500 %), незначительно повышает водостойкость.

Опытно-производственное строительство и 5-летнее наблюдение за экспериментальным участком (Республика Алтай, Тогучаковский район) показали эффективность применения дисперсной арматуры для устройства асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог. Срок службы между ремонтами увеличился в 2 раза по сравнению с ранее наблюдавшимся сроками при тех же условиях эксплуатации дорожного участка.

Заключение

Качество и экологическая безопасность автомобильных дорог тесно связаны между собой через проявление условий и результата устойчивого

развития дорожно-транспортной инфраструктуры в виде баланса экологических, экономических, социальных интересов общества.

В связи с этим появляется необходимость использовать при проектировании дорожных и инфраструктурных объектов инновационных решений, направленных на снижение расхода материалов, энергии, труда на проведение строительства, модернизации, ремонтных и эксплуатационных работ, увеличение безремонтных сроков службы объектов.

Вслед за авторами работы [10] отметим, что главные мероприятия, обеспечивающие снижение негативного воздействия технических средств на человека и природную среду при строительстве и реконструкции автомобильной дороги, сводятся к повышению эффективности очистки сточных вод; обеспечению минимизации химического загрязнения; усилению работы контролирующих органов.

Добавим к этому борьбу с физическим загрязнением (шумовым, вибрационным, тепловым), переход на новый уровень мониторинга состояния окружающей среды, организационно-природоохранные инновации (например, развитие системных взаимодействий между организациями по цепочкам управления для предотвращения губительного влияния на природную среду всех этапов жизненного цикла автомобильной дороги).

Резюмируя сказанное и оценивая сегодняшнюю российскую ситуацию, следует признать, что только огромные средства и воля (а не желание, выраженное декларативно) со стороны государства и бизнес-сообщества необходимы для решения десятилетиями накопленных проблем дорожного сектора.

С целью выполнения этой работы перспективными являются следующие направления развития дорожно-транспортного строительства:

- повышение качества проектирования дорог;
- обеспечение эффективного производственно-технического и экологического контроля;
- совершенствование нормативной базы строительства для соответствия ее современным требованиям (техническим, экологическим) с переходом от рекомендательного уровня к обязательному для выполнения;
- стимулирование государством инноваций в области ресурсосбережения и техносферной безопасности.

Материалы статьи могут быть полезны специалистам в области транспортного строительства, строительной экологии, работникам муниципалитетов, преподавателям, магистрантам, студентам направлений подготовки «Строительство», «Экология и природопользование» и «Экономика». В дальнейших исследованиях авторы планируют рассмотреть концепт «Зеленая дорожно-строительная инфраструктура» и стратегический подход к решению экологических и социальных последствий роста дорожного строительства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лукашевич О.Д., Лукашевич В.Н. Пути повышения экологической безопасности при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 200–210. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-200-210

2. Лим Т.Е. Научно-методические основы гигиенической оценки влияния объездных и транзитных автомобильных дорог на окружающую среду и здоровье : специальность 14.02.01 : диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук. Санкт-Петербург, 2014. 270 с.
3. Wu P., Xia B., Zhao X., Pienaar J. Defining Green Road Infrastructure Projects – A Critical Review // Proceedings of the 19th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate. Springer, Berlin, Heidelberg, 2015. P 125–134. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-662-46994-1_11
4. Анталаев М.Н., Жалко М.Е. Влияние водно-теплового режима основания автомобильной дороги на состояние дорожной одежды // Транспортные сооружения : интернет-журнал. 2016. Т. 3. № 4. DOI: 10.15862/02TS416
5. Zapata P., Gambatese J.A. Energy consumption of asphalt and reinforced concrete pavement materials and construction // J. Infrastruct. Syst. 2005. № 11. P. 9–20.
6. Carpenter A.C., Gardner K.H., Fopian J., Benson C.H., Edil T.B. Life cycle based risk assessment of recycled materials in roadway construction // Waste Management. 2007. № 27. P. 1458–1464.
7. Kim S.B., Kwak H.J. A benchmarking study on green roads certification policies using case studies // J. Korean Soc. Civl. Engr. 2013. № 33. P. 1173–1180.
8. Бобков А.В. Почему малоэффективны очистные сооружения? // Автомобильные дороги. 2015. Вып. 1. С. 84–91.
9. Бершадский В.Я. Требования экологической безопасности при проектировании транспортно-дорожных комплексов. Ч. II. Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза проектов. Екатеринбург : Изд-во Ур-ГУПС, 2013. 257 с.
10. Дормидонтова Т.В., Солкарян Н.Г. Влияние показателей транспортных и внетранспортных эффектов на экологическую ситуацию // Природоохранные и гидротехнические сооружения: проблемы строительства, эксплуатации, экологии и подготовки специалистов : материалы Междунар. науч.-технич. конф. Самара, 2014. С. 248–254.
11. Дормидонтова Т.В., Филатова А.В. Анализ методов проектирования автомобильных дорог // Научное обозрение. 2015. № 7. С. 24–28.
12. Каменчиков А.В., Ярмолинский В.А., Кривко Е.В. Влияние исходной информации на качество проектирования строительства и ремонта автомобильных дорог. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 180 с.
13. Николаева Р.В., Галитов Т.И. Обеспечения безопасности дорожного движение на стадии проектирования автомобильных дорог // Техника и технология транспорта. 2019. № 1 (10). С. 8. URL: <http://transportkgasu.ru/files/N10-08BDD119.pdf>
14. Jae-Woo Park, Yong Han Ahn. Development of a green road rating system for South Korea // International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development. 2015. V. 6. № 4. P. 249–263, DOI: 10.1080/2093761X.2015.1117404
15. Кретов В.В. Административно-правовое регулирование дорожного хозяйства Российской Федерации: состояние, проблемы, перспективы развития : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата юридических наук. Тюмень, 2015. 26 с.
16. Евдокимова Н.Г., Лунева Н.Н. О направлениях использования добавок различной природы для модифицирования свойств битумов // Башкирский химический журнал. 2016. Т. 23. № 4. С. 49–62.
17. Modarres A. Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes // Materials and Design. 2014. № 61. P. 8–15.
18. Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А., Фролов В.А. Решение проблемы утилизации отходов резинотехнических изделий путем модификации дорожных вяжущих // Вестник ВГУИТ. 2014. № 2. С. 129–131.
19. Могнонов Д.М., Аюрова О.Ж., Ильина О.В., Шестаков Н.И., Мангутов А.Н., Буянтуев С.Л., Битыев А.В. Улучшение деформационно-прочностных свойств асфальтобетона базальтовыми волокнами // Строительные материалы. 2012. № 10. С. 28–31.
20. Беляев П.С., Маликов О.Г., Меркулов С.А., Полушкин Д.Л. и др. Модификация дорожного битума термоэластопластом ДСТ совместно с полиэтиленом // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2012. № 39. С. 184–189.

21. Буренин О.Н., Николаев Л.А., Копылов В.Е. Разработка модифицированных асфальтобетонных смесей для строительства автомобильных дорог в условиях Севера // Дороги и мосты. 2013. Т. 1. № 29. С. 205–211.
22. Тюкилина П.М., Поздняков В.В., Андреев А.А. и др. Комплексная физико-химическая модификация нефтяных дорожных битумов // Башкирский химический журнал. 2021. Т. 28. № 4. С. 44–55.
23. Ковалев Я.Н. Физико-химические основы технологии строительных материалов. Москва : Изд-во НИЦ ИНФРА-М, 2017. 285 с.
24. Нехорошев В.П., Нехорошев С.В., Нехорошева А.В., Тарасова О.И. Химическое модифицирование дорожных битумов атактическим полипропиленом // Нефтехимия. 2017. Т. 57. № 4. С. 380–385.
25. Евдокимова Н.Г., Егорова Н.А., Султанова Д.П., Кунаккулова Э.М., Серезкина Н.Г. Формирование золь-гелевой наноструктуры дорожных битумов методом подбора группового химического состава // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2019. Т. 11. № 5. С. 512–525.
26. Антонов С.А., Поздняков В.В., Фалина О.С., Матвеева А.И. и др. Оценка возможности получения окисленных дорожных битумов различных марок из гудронов тяжелой нефтено-ароматической нефти // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2023. № 1. С. 3–8.
27. Jahromi S.G. Effect of carbon nanofiber on mechanical behavior of asphalt concrete // International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology. 2015. № 6 (2). P. 57–66.
28. Чернов С.А., Каклюгин А.В., Никитина А.Н., Голубин К.Д. Влияние полимерно-дисперсно-армирующей добавки на эксплуатационные свойства асфальтобетона // Вестник МГСУ. 2017. Вып. 12. № 6 (105). С. 654–660. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.654-660
29. Пантелеев Д.А. Деформативные и прочностные характеристики полиармированного фибробетона // Известия КГАСУ. 2015. № 3 (33). С. 133–139.
30. Putman V.J. Effects of Fiber Finish on the Performance of Asphalt Binders and Mastics // Advances in Civil Engineering. 2011. P. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1155/2011/172634> (дата обращения: 02.06.2023).
31. Магдеев У.Х., Пухаренко Ю.В., Морозов В.И., Пантелеев Д.А., Жаворонков М.И. Исследование свойств сталефибробетона на основе аморфной металлической фибры // Вестник ВолГАСУ. Сер.: Строительство и архитектура. 2013. Вып. 31 (50). С. 132–135.
32. Николаева Л.А. Дорожный асфальтобетон на основе отходов базальтового волокна // Перспективы развития науки в современном мире : сб. статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции. 2018. С. 70–73.
33. Голиков И.В., Игнатьев А.А., Готовцев В.М., Калашян А.Р. Особенности модификации дорожного битума полиэтилентерефталатом // Дороги и мосты : сб. статей. Москва : РосдорНИИ, 2019. Вып. 42/2. С. 192–202.
34. Полякова С.В. Дисперсно-армированный асфальтобетон с применением синтетических волокон // Дороги и мосты. 2012. № 2 (28). С. 247–260.
35. Минхаирова А.И., Закирова Л.Ю., Вольфсон И.С., Аюпов Д.А. и др. Модификация дорожных битумов смесевыми термоэластопластами // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 17. С. 120–122.
36. Салихов М.Г., Малянова Л.И., Веюков Е.В., Вайнштейн В.М. Оценка сравнительной долговечности модифицированных асфальтобетонов с отходами дробления известняка методом искусственного старения при высокой температуре // Строительные материалы. 2020. № 4–5. С. 75–79. URL: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-75-79>
37. Солдатов А.А., Субботин А.Е., Цуканов Н.Н. Опыт применения некондиционных порошкообразных материалов и техногенных отходов промышленности в качестве минерального порошка для дорожных асфальтобетонов // Научно-практические исследования. 2019. № 7-4 (22). С. 88–90.
38. Левкович Т.И., Мевлидинов З.А., Сидорович А.С. Местные материалы и отходы промышленности, используемые для строительства оснований автомобильных дорог // Наука и инновации в XXI веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения : сб. статей V Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. Пенза : Наука и просвещение, 2017. С. 57–60.

39. Chakraborty A., Mehta S. Utilization & Minimization of Waste Plastic in Construction of Pavement: a Review // International Journal of Engineering Technology Science and Research. 2017. № 4 (8). P. 2394–3386.
40. Costa L.M.B., Silva H.M.R.D., Peralta J., Oliveira J.R.M. Using waste polymers as a reliable alternative for asphalt binder modification – Performance and morphological assessment // Construction and Building Materials. 2019. № 198. P. 237–244.
41. Соловьева В.Я., Сахарова А.С., Еремеев Е.Г. Инновационные способы подготовки основания транспортных магистралей с использованием техногенных образований металлургического производства // Инновационные транспортные системы и технологии. 2022. Т. 8. № 2. С. 28–42. DOI: 10.17816/transsyst20228228-42

REFERENCES

1. Lukashevich O.D., Lukashevich V.N. Improvement of environmental safety in construction and road service. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020; 22 (5): 200–210. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-5-200-210 (In Russian)
2. Lim T.E. Scientific and methodological basis for hygienic assessment of the impact of bypass and transit motorways on the environment and health. DSc Thesis. Saint-Petersburg, 2014. 270 p. (In Russian)
3. Wu P., Xia B., Zhao X., Pienaar J. Defining green road infrastructure projects – A critical review. In: *Proc. 19th Int. Symp. on Advancement of Construction Management and Real Estate*. Berlin: Springer, 2015 Pp. 125–134. https://doi.org/10.1007/978-3-662-46994-1_11
4. Aptalaev M.N., Zhalko M.E. Influence of water and heat regime of subgrade on pavement. *Transportnye sooruzheniya*. 2016; 3(4). DOI: 10.15862/02TS416. Available: <http://t-s.today/PDF/02TS416.pdf> (In Russian)
5. Zapata P., Gambatese J.A. Energy consumption of asphalt and reinforced concrete pavement materials and construction. *Journal of Infrastructure Systems*. 2005; (11): 9–20. (In Russian)
6. Carpenter A.C., Gardner K.H., Fopian J., Benson C.H., Edil T.B. Life cycle based risk assessment of recycled materials in roadway construction. *Waste Management*. 2007; 27: 1458–1464.
7. Kim S.B., Kwak H.J. A benchmarking study on green roads certification policies using case studies. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*. 2013; 33: 1173–1180.
8. Bobkov A.V. Why wastewater treatment plants are inefficient? *Avtomobil'nye dorogi*. 2015; (1): 45–49. (In Russian)
9. Bershadskij V.Ya. Environmental safety requirements for design of transport and road complexes. Part II: Environmental impact assessment and environmental expertise of projects. Ekaterinburg, 2013. 257 p. (In Russian)
10. Dormidontova T.V., Solkaryan N.G. Influence of transport and non-transport effect indicators on the environment. In: *Proc. Int. Sci. Conf. 'Environmental and Hydraulic Structures: Problems of Construction, Operation, Ecology and Specialist Training'*. Samara, 2014. Pp. 248–254. (In Russian)
11. Dormidontova T.V., Filatova A.V. Analysis of road design methods. *Nauchnoe obozrenie*. 2015; (7): 24–28. (In Russian)
12. Kamenchukov A.V., Yarmolinskii V.A., Krivko E.V. Influence of baseline information on design quality of road construction and repair. Khabarovsk, 2016. 180 p. (In Russian)
13. Nikolaeva R.V., Talipov T.I. Ensuring road safety at the road design stage. *Tekhnika i tekhnologiya transporta*. 2019; 1 (10): 8. Available: <http://transportkgasu.ru/files/N10-08BDD119.pdf> (In Russian)
14. Jae-Woo Park, Yong Han Ahn. Development of a green road rating system for South Korea. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. 2015; 6 (4): 249–263. DOI: 10.1080/2093761X.2015.1117404
15. Kretov V.V. Administrative and legal regulation of the road sector in the Russian Federation: Status, problems, development prospects. PhD Abstract. Tyumen. 2015. 26 p. (In Russian)
16. Evdokimova N.G., Luneva N.N. Different additives for modification of bitumen properties. *Bashkirskij khimicheskij zhurnal*. 2016; 23 (4): 49–62. (In Russian)

17. Modarres A. Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixes. *Materials and Design*. 2014; (61): 8–15. (In Russian)
18. Belyaev P.S., Malikov O.G., Merkulov S.A., Frolov V.A. Solving the problem of utilisation of waste rubber products by road binder modification. *Vestnik VGUIT*. 2014; (2): 129–131. (In Russian)
19. Mogonov D.M., Ayurova O.Zh., Il'ina O.V., Shestakov N.I., Mangutov A.N., Buyantuev S.L., Bituev A.V. Improvement of deformation and strength properties of asphalt concrete with basalt fiber. *Stroitel'nye materialy*. 2012; (10): 28–31. (In Russian)
20. Belyaev P.S., Malikov O.G., Merkulov S.A., Polushkin D.L., et al. Modification of road bitumen with thermoelastoplast and polyethylene. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki*. 2012; (39): 184–189. (In Russian)
21. Burenin O.N., Nikolaev L.A., Kopylov V.E. Development of modified asphalt-concrete mixes for road construction in Northern conditions. *Dorogi i mosty*. 2013; 1(29): 205–211. (In Russian)
22. Tyukilina P.M., Pozdnyakov V.V., Andreev A.A., et al. Physicochemical modification of petroleum road bitumen. *Bashkirskij khimicheskij zhurnal*. 2021; 28 (4): 44–55. (In Russian)
23. Kovalev Ya.N. Physicochemical fundamentals of building materials technology. Moscow: NITS INFRA-M, 2017. 285 p. (In Russian)
24. Nekhoroshev V.P., Nekhoroshev S.V., Nekhorosheva A.V., Tarasova O.I. Chemical modification of road bitumen with atactic polypropylene. *Neftekhimiya*. 2017; 57(4): 380–385. (In Russian)
25. Evdokimova N.G., Egorova N.A., Sultanova D.P., Kunakkulova Eh.M., Serezhkina N.G. Sol-gel nanostructure formation of road bitumen based on selection of chemical composition. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2019; 11 (5): 512–525. (In Russian)
26. Antonov S.A., Pozdnyakov V.V., Falina O.S., Matveeva A.I., et al. Possibility assessment of oxidized road bitumen production from heavy naphthenic-aromatic oil tar sand. *Neftepererabotka i neftekhimiya. Nauchno-tehnicheskie dostizheniya i peredovoj opyt*. 2023; (1): 3–8. (In Russian)
27. Jahromi S.G. Effect of carbon nanofiber on mechanical behavior of asphalt concrete. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*. 2015; 6 (2): 57–66. (In Russian)
28. Chernov S.A., Kaklyugin A.V., Nikitina A.N., Golyubin K.D. Influence of polymer-disperse reinforcing additive on asphalt concrete properties. *Vestnik MGSU*. 2017; 12 (6 (105)): 654–660. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.6.654-660 (In Russian)
29. Pantelev D.A. Deformation and strength characteristics of fibrous concrete. *Izvestiya KGASU*. 2015; 3 (33): 133–139. (In Russian)
30. Putman B.J. Effects of fiber finish on the performance of asphalt binders and mastics. *Advances in Civil Engineering*. 2011; 1–11. <https://doi.org/10.1155/2011/172634>
31. Magdeev U.Kh., Pukharensko Yu.V., Morozov V.I., Pantelev D.A., Zhavoronkov M.I. Properties of steel concrete based on amorphous metal fiber. *Vestnik VolgGASU. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2013; 31 (50): 132–135. (In Russian)
32. Nikolaeva L.A. Asphalt concrete based on basalt fiber waste. In: *Proc. 13th Int. Sci. Conf. 'Prospects of Science Development in the Modern World'*. 2018. Pp. 70–73. (In Russian)
33. Golikov I.V., Ignat'ev A.A., Gotovtsev V.M., Kalashyan A.R. Road bitumen modification by polyethylene terephthalate. *Dorogi i mosty*. 2019; 42 (2): 192–202. (In Russian)
34. Polyakova S.V. Dispersed asphalt concrete reinforced by synthetic fiber. *Dorogi i mosty*. 2012; 2 (28): 247–260. (In Russian)
35. Minkhairova A.I., Zakirova L.Yu., Vol'fon I.S., Ayupov D.A., et al. Modification of road bitumen by blended thermoplastic elastomers. *Vestnik Kazanskogo tekhnologi-cheskogo universiteta*. 2012; 15 (17): 120–122. (In Russian)
36. Salikhov M.G., Malyanova L.I., Veyukov E.V., Vajnshtejn V.M. Assessment of comparative durability of asphalt concrete with limestone crushing wastes modified by artificial ageing at high temperature. *Stroitel'nye materialy*. 2020; (4–5): 75–79. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-780-4-5-75-79> (In Russian)
37. Soldatov A.A., Subbotin A.E., Tsukanov N.N. Experience in using substandard powdered materials and industrial waste as mineral powder for road asphalt concrete. *Nauchno-prakticheskie issledovaniya*. 2019; 7-4 (22): 88–90. (In Russian)
38. Levkovich T.I., Mevlidinov Z.A., Sidorovich A.S. Local materials and industrial waste for road base construction. In: *Proc. 5th Int. Sci. Conf. 'Science and Innovations in the 21st*

- Century: Relevant Problems, Discoveries and Achievements*’, Pt. 1. Penza, 2017. Pp. 57–60. (In Russian)
39. *Chakraborty A., Mehta S.* Utilization and minimization of waste plastic in construction of pavement: A review. *International Journal of Engineering Technology Science and Research.* 2017; 4 (8): 2394–3386.
 40. *Costa L.M.B., Silva H.M.R.D., Peralta J., Oliveira J.R.M.* Using waste polymers as a reliable alternative for asphalt binder modification – Performance and morphological assessment. *Construction and Building Materials.* 2019; 198: 237–244.
 41. *Solov'eva V.Ya., Sakharova A.S., Eremeev E.G.* Innovative ways of subgrade preparation using metallurgy waste. *Innovatsionnye transportnye sistemy i tekhnologii.* 2022; 8 (2): 28–42. DOI: 10.17816/transsyst20228228-42 (In Russian)

Сведения об авторах

Лукашевич Виктор Николаевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vnLuc@yandex.ru

Лукашевич Ольга Дмитриевна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, odluk@yandex.ru.

Authors Details

Viktor N. Lukashovich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 664003, Tomsk, Russia, vnLuc@yandex.ru

Olga D. Lukashovich, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 664003, Tomsk, Russia, odluk@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 01.08.2023
Одобрена после рецензирования 19.09.2023
Принята к публикации 21.09.2023

Submitted for publication 01.08.2023
Approved after review 19.09.2023
Accepted for publication 21.09.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 5. С. 198–223.

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; 25 (5): 198–223.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 332.142.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-5-198-223

EDN: SNDIBO

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ПЕРЕКРЕСТКАХ КРУПНЫХ ГОРОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ТОМСКА)

Галина Вениаминовна Пушкарева, Денис Дмитриевич Халтурин
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Улично-дорожная сеть крупных городов, геометрия которых проектировалась на перспективную автомобилизацию 180–200 автомобилей на 1000 человек населения, не удовлетворяет современным требованиям удобства и безопасности движения транспортных потоков и пешеходов. Данная проблема особенно актуальна для местной улично-дорожной сети, поскольку именно здесь на нерегулируемых перекрестках наблюдается аварийность с особо тяжелыми последствиями.

Цель работы. Повышение эффективности организации дорожного движения на нерегулируемых пересечениях местной улично-дорожной сети с применением современных методов успокоения движения.

Методы исследования. Статистическая обработка результатов дорожно-транспортных происшествий в г. Томске за последние 6 лет.

Результаты работы. Статистическая обработка данных дорожно-транспортных происшествий по районам г. Томска показала, что наибольшее число аварий с тяжелыми последствиями характерно для территорий города с сохранившейся исторической застройкой, где имеется большое количество улиц со значительной степенью извилистости и ограниченной видимостью на нерегулируемых перекрестках.

Решение проблемы безопасности движения на нерегулируемых перекрестках без значительных затрат возможно с применением методов успокоения движения, широко применяемых по всему миру. Средства успокоения движения предназначены для снижения скорости движения транспорта как на нерегулируемых перекрестках, так и на подходах к пешеходным переходам, к школам и детским учреждениям. Эффект от применения метода достигается за счет визуального и физического препятствования езде на большой скорости в требуемых местах. Для снижения аварийности непосредственно на перекрестках хорошо работают приемы, предусматривающие изменение схемы движения на перекрестке, в частности, применение мини-колец, диаметр которых не превышает 4 м. Зарубежный опыт внедрения мини-кольцевых пересечений убедительно доказывает их высокую эффективность как средства повышения безопасности движения.

Выводы. В работе выполнен краткий обзор применения мини-кольцевых пересечений в мировой практике. Проанализированы существующие теоретические модели расчета пропускной способности нерегулируемых пересечений и мини-колец. Даны рекомендации по применению методов успокоения движения и устройства мини-кольцевых пересечений в г. Томске.

Ключевые слова: местная улично-дорожная сеть, нерегулируемый перекресток, интенсивность движения, дорожно-транспортное происшествие, успокоение движения, мини-кольцевые пересечения

Для цитирования: Пушкарева Г.В., Халтурин Д.Д. Анализ методов повышения безопасности движения на нерегулируемых перекрестках крупных городов (на примере города Томска) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 5. С. 198–223. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-198-223. EDN: SNDIBO

ORIGINAL ARTICLE

**ANALYSIS OF TRAFFIC CALMING TECHNIQUES
AT UNSIGNALIZED INTERSECTIONS IN LARGE CITIES****Galina V. Pushkareva, Denis D. Khalturin***Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*

Abstract. The street and road network of large cities designed for 180–200 cars per 1000 people, does not meet modern requirements of convenience and safety of traffic flows and pedestrians. This problem is especially urgent for the local street-road network, since accidents occur at unregulated intersections.

Purpose: The aim of the paper is to improve the traffic efficiency at unsignalized intersections of the local street-road network with the use of modern traffic calming methods.

Methodology/approach: Statistical processing of the data on traffic accidents in Tomsk for the last 6 years. Brief description of mini-ring intersections in the world practice.

Research findings: Statistical processing of data on traffic accidents in Tomsk shows that the greatest number of accidents with severe consequences is characteristic to the regions with historical buildings, large number of streets with significant tortuosity and limited visibility at unsignalized intersections. Traffic safety at unsignalized intersections can be addressed at no significant cost by using traffic calming techniques that are widely used around the world. Traffic calming measures reduce traffic speeds both at unsignalized intersections and crosswalks, schools and child care facilities. The effect of the method is achieved by visually and physically discouraging high speed driving at the required locations. In order to reduce the accident rate directly at intersections, the traffic pattern must be changed at the intersection, in particular, the diameter of mini-rings must be not over 4 m. The foreign experience in implementing mini-ring intersections convincingly proves their high efficiency as a means of improving traffic safety.

Value: Calculation models for the capacity of unregulated intersections and mini-rings are analyzed. Recommendations are given to the application of traffic calming methods and mini-ring intersections in Tomsk.

Keywords: local street network, unsignalized intersection, traffic volume, road vehicle accident, traffic calming, mini-roundabouts

For citation: Pushkareva G.V., Khalturin D.D. Analysis of traffic calming techniques at unsignalized intersections in large cities. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (5): 198–223. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-4-198-223. EDN: SNDIBO

Введение

Обеспечение безопасности дорожного движения является составной частью национальных задач гарантии личной безопасности, решения демографических, социальных и экономических проблем, повышения качества жизни, содействия региональному развитию [1]. Однако неуклонный рост автомобилизации, достигающий более 300 автомобилей на 1000 человек, характерный

для всех крупных городов, формирует ряд серьезных проблем, прежде всего связанных с невозможностью обеспечения требуемого уровня удобства и безопасности движения. Совершенно справедливо, что при расстановке приоритетов развития улично-дорожных сетей (УДС) упор ставится именно на сеть магистральных улиц, что обусловлено их ключевой ролью в транспортной системе города. В то же время эффективное обслуживание населения города невозможно без улиц местного значения. С ростом интенсивности транспортного потока на магистральных улицах возможности проезда перекрестка с второстепенных направлений ухудшаются. В ожидании приемлемого интервала водители вынуждены простаивать значительное время и нередко принимать интервалы меньшие, чем необходимо по условиям безопасности движения (БД), что в результате приводит к увеличению количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Особо концентрация ДТП отмечается на нерегулируемых перекрестках, составляющих значительную долю всех пересечений городских улично-дорожных сетей. Традиционный подход для решения вопроса безопасности на нерегулируемых перекрестках – установка светофора. Он снизит количество аварий, но те, которые произойдут, напротив, будут очень серьезными. Кроме того, установка светофора на перекрестке вызывает транспортные задержки на главной улице.

Опыт современной зарубежной практики организации дорожного движения (ОДД) доказал, что существует эффективное средство повышения безопасности на УДС – успокоение движения. Успокоение движения – это «методы создания физических и визуальных препятствий движению на большой скорости на требуемых участках» УДС [9, 10]. Арсенал различных средств успокоения движения достаточно разнообразен, и их выбор осуществляется исходя из конкретных условий движения. Непосредственно на перекрестках вместо обычных нерегулируемых пересечений за рубежом успешно применяются кольца малого диаметра и мини-кольца как одно из средств успокоения движения.

В соответствии с данными международной статистики переоборудование нерегулируемых пересечений в кольцевые пересечения малого диаметра позволяет снизить аварийность на 40–80 % [7]. Это обусловило широкое распространение в мировой практике пересечений, обозначаемых термином «современные кольцевые пересечения». Данным термином обозначаются кольцевые пересечения малого диаметра, имеющие приоритет движения по кольцевой проезжей части и целый ряд особенностей проектирования геометрических элементов, обеспечивающих проезд длинномерных транспортных средств, а также безопасное движение пешеходов [11]. В российской практике ОДД методы успокоения движения на УДС, а также мини-кольцевые пересечения еще не получили широкого распространения.

Состояние аварийности на улично-дорожной сети г. Томска и методы ее снижения

Проблема аварийности преимущественно городская. В стране на протяжении ряда лет более 70 % всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП) регистрируется в населенных пунктах, большинство – в крупных городах [3, 4]. Причина этого заключается в более плотных транспортных потоках

и интенсивном движении пешеходов, которые практически отсутствуют на загородных дорогах. На рис. 1 приведена статистика ДТП по России в целом с 2015 г. по 1-й квартал 2023 г., включая общее количество ДТП, число пострадавших и погибших. Статистические данные отражают снижение общего числа ДТП по годам, однако количество погибших и получивших тяжёлые ранения практически не меняется, что свидетельствует об увеличении смертельных случаев по отношению к общему количеству ДТП.



Рис. 1. Статистика количества ДТП, раненых, погибших за 2015 г. – 1-й квартал 2023 г. в России
Fig. 1. Road accident statistics: injured, killed in 2015. The 1st quarter of 2023 in Russia

Следует отметить, что наиболее многочисленной и самой уязвимой группой участников дорожного движения являются пешеходы. За последние 8 лет количество пешеходов, погибших в результате дорожно-транспортных происшествий, увеличилось на треть. Всего за этот период погибло свыше 100 тыс. и ранено свыше 500 тыс. человек [4].

Проблема аварийности на дорогах Томской области также весьма актуальна. Несмотря на значительное снижение количества ДТП по области за последние шесть лет, количество погибших и пострадавших, как и в целом по России, не уменьшается (рис. 2). С января по декабрь 2022 г. в Томской области произошло 470 ДТП, в которых 87 чел. погибли, 542 получили травмы [3]. По сравнению с 2015 г. число погибших по отношению к общему числу ДТП увеличилось на 7 %.

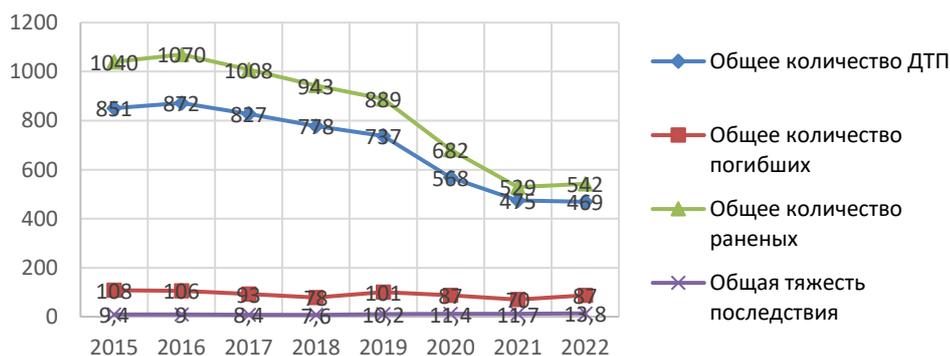


Рис. 2. Статистика ДТП за период 2015–2022 гг. в Томской области (по данным ГИБДД по Томской области)

Fig. 2. Traffic accident statistics for the period 2015–2022 in the Tomsk region (according to the data of the State Traffic Safety Inspectorate of the Tomsk region)

Сложная обстановка с аварийностью и наличие тенденций к дальнейшему ухудшению ситуации во многом объясняются следующими причинами:

- постоянно возрастающей мобильностью населения;
- уменьшением объема перевозок общественного транспорта;
- нарастающей диспропорцией между увеличением количества автомобилей и протяженностью улично-дорожной сети, не рассчитанной на современные транспортные потоки.

Современный уровень обеспечения населения автомобилями в городах превышает 300 автомобилей на тысячу жителей, тогда как дорожно-транспортная инфраструктура соответствует уровню 180–200 автомобилей на тысячу жителей [3, 4]. Как следствие, происходит ухудшение условий дорожного движения, нарушение экологической обстановки, увеличение количества заторов, расхода топлива, а также рост количества дорожно-транспортных происшествий с тяжелыми последствиями.

Смертность в ДТП – глобальная проблема, с которой сталкиваются как передовые, так и развивающиеся страны. Однако северным государствам удается увеличить показатели надежности дорожно-транспортной системы. В конце 1990-х гг. Швеция приняла программу «принципа нулевой терпимости», цель которой – «устранить смертность и травматизм в дорожных авариях». Суть программы заключается в принятии ответственности за создание транспортных сетей и разработке системы, сводящей на нет ошибки участников движения [2]. Шведская программа получила широкий отклик в странах Европы. К сожалению, в российских городах темпы увеличения количества лиц, пострадавших в результате дорожно-транспортных происшествий, опережают темпы увеличения общего количества ДТП. При этом почти 60 % ДТП с тяжелыми последствиями приходится на столицы и административные центры субъектов Российской Федерации [4].

Рассмотрим проблемы аварийности в Томске. Томск состоит из четырех крупных административных районов (рис. 3, а). Общая протяженность улично-дорожной сети г. Томска составляет 272 км. Средняя плотность – 1,6 км/км², в центре – около 4 км/км², в целом по застроенной правобережной части города – 2,1 км/км². Для более удаленных от центра территорий характерно снижение уровня развития улично-дорожной сети. Активное строительство новых крупных жилых микрорайонов с плотностью улично-дорожной сети от 1,0 до 1,5 км/км² также требует организации движения транспорта, причем как на местной внутриквартальной сети, так и на выходах на опорную магистральную сеть города (рис. 3, б) [5].

Совместно с многоэтажным строительством идет развитие поселков индивидуального жилищного строительства с плотностью улично-дорожной сети менее 1,0 км/км², где также необходима организация местного движения, поскольку в часы пик наблюдаются значительные задержки на нерегулируемых перекрестках.

Результаты статистической обработки данных по общему количеству ДТП в Томске и по районам города, а также по степени их тяжести за последние 6 лет приведены на рис. 4. По данным карты (рис. 3) можно судить, что Октябрьский район – самый крупный в городе, кроме того, он расположен на

исторической территории с сохранением большого количества извилистых улиц и переулков. Данные статистики ДТП с 2017 по 2022 г. показывают, что именно в этом районе на протяжении последних 5 лет наблюдалось наибольшее количество ДТП с тяжелыми последствиями (рис. 4).

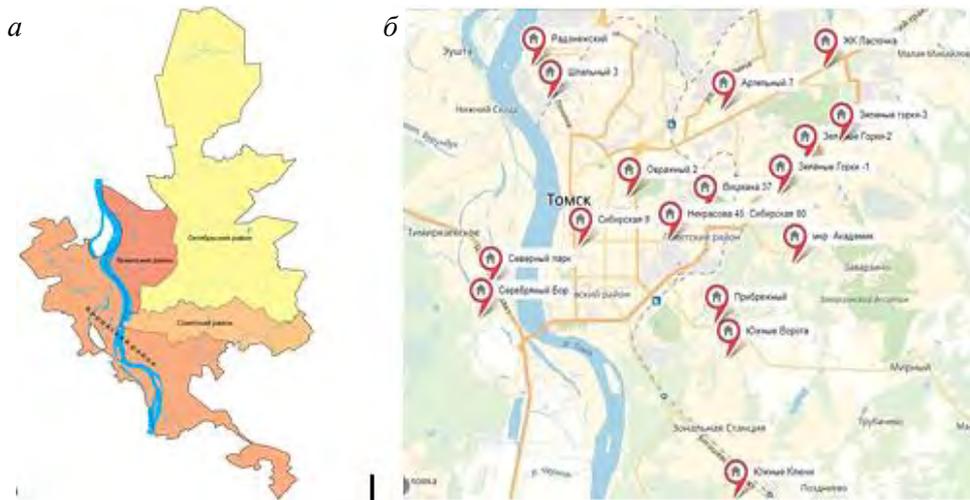


Рис. 3. Карта административных районов г. Томска (а); микрорайоны активного многоэтажного жилищного строительства (б)
 Fig. 3. Map of administrative districts in Tomsk (a); regions with active multi-storey housing (b)



Рис. 4. Статистика ДТП в Томске и по районам города
 Fig. 4. Traffic accident statistics in Tomsk and its districts

Сравнение статистических данных изменения ДТП за последние 6 лет по России, Томской области и г. Томску (рис. 1, 2, 4), по данным службы ГИБДД, свидетельствует о том, что основными причинами ДТП с тяжелыми последствиями являются нарушения скоростного режима, правил проезда пешеходных переходов и несоблюдение очередности проезда на нерегулируемых перекрестках [3, 4]. Так, за 12 месяцев 2022 г. на территории Томской области было зарегистрировано 466 ДТП, в результате которых 81 человек погиб и 533 получили ранения. Как сообщили интернет-редакции «Вести.Томск» в ответ на за-

прос в пресс-службе регионального УМВД, число погибших в ДТП в сравнении с 2021 г. увеличилось на 15,7 %. Кроме того, отмечаются сопутствующие причины неудовлетворительного состояния улично-дорожной сети, среди них: отсутствие и плохая различимость дорожной разметки; отсутствие, неправильное применение либо плохая видимость дорожных знаков; недостатки зимнего содержания дорог; отсутствие (несоответствие) дорожных или пешеходных ограждений; отсутствие тротуаров/пешеходных дорожек; отсутствие или неисправное/недостаточное освещение. Из общей статистики следует выделить ДТП на нерегулируемых перекрестках, поскольку именно на них наблюдаются аварии с тяжелыми последствиями. Нерегулируемые перекрестки, как правило, расположены в жилых районах, где интенсивность движения не столь велика, но из-за ошибок и выбора неправильных действий водители часто нарушают правила проезда (рис. 5, 6).



Рис. 5. Столкновение автомобилей на нерегулируемом перекрестке улиц Яковлева и Средне-Кирпичной. Жертвами столкновения стали 4 человека

Fig. 5. Car collision at unregulated intersection of Yakovleva and Sredne-Kirpichnaya Streets. 4 victims in this collision



Рис. 6. На нерегулируемом перекрестке улиц Сибирской и Жуковского произошло столкновение двух легковых автомобилей. Четырехлетний ребенок доставлен в больницу

Fig. 6. Two passenger cars collided at unregulated intersection of Sibirskaaya and Zhukovsky Streets. A four-year-old child was taken to hospital

Интенсивное строительство жилых районов создало дисбаланс между ростом автомобильного парка и уровнем развития улично-дорожной сети города и населенных пунктов, который привел к ухудшению условий движения, заторам, росту задержек и увеличению расхода топлива, ухудшению экологической обстановки, росту количества ДТП (рис. 7). Кроме того, при строительстве жилых комплексов внутриквартальные проезды, непосредственно влияющие на безопасность движения, в целях снижения стоимости строительства часто не соответствуют требованиям действующих нормативных документов¹.

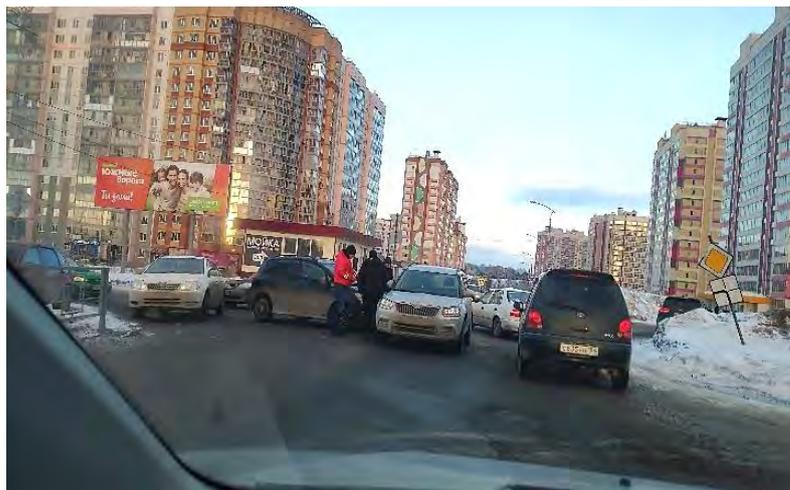


Рис. 7. ДТП на нерегулируемом перекрестке улиц Степановской и Виталия Грачева из-за невнимательности в час пик. Микрорайон Южные Ворота

Fig. 7. Accident at unregulated intersection of Stepanovskaya and Vitaly Grachev Streets due to inattention in rush hour. Yuzhnye Vorota microdistrict

Статистика ДТП и данные наблюдений за режимами движения свидетельствуют, что количество аварий на нерегулируемых перекрестках в немалой степени зависит от обеспечения видимости поверхности дороги непосредственно на кривых в плане (на повороте). Водитель должен видеть других участников дорожного движения либо препятствия, расположенные на проезжей части и вблизи от неё. Для этого радиусы кривых в плане и продольном профиле должны соответствовать нормативным документам². Следует отметить, что расстояние видимости на улице или дороге – это один из важнейших параметров, определяющих безопасность дорожного движения³. Гарантированная видимость на всем пути дает возможность водителю при возникновении экстренной ситуации совершить безопасный маневр и избежать ДТП. Для этого на нерегулируемых перекрестках должен быть обеспечен так называемый

¹ СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка сельских поселений (Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89*). СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования. Москва: Стандартинформ, 2019. 64 с.

² Там же.

³ Там же.

мый треугольник видимости, т. е. участок прилегающей к перекрестку территории должен быть очищен от растительности, построек, парковок и т. д. водители автомобилей, входящих на перекресток со всех сторон, должны видеть друг друга. Однако в Томске существует множество перекрестков с ограниченной видимостью. Данная ситуация характерна для улично-дорожной сети старой застройки. В качестве примера на рис. 8, 9 приведены конкретные участки с необеспеченной видимостью на улицах местного значения в Октябрьском районе города [6].



Рис. 8. Пересечение пер. Макушина с ул. Пушкина
Fig. 8. Intersection of Makushin and Pushkin Streets



Рис. 9. Пересечение улиц Октябрьской и Средне-Кирпичной
Fig. 9. Intersection of Oktyabrskaya and Sredne-Kirpichnaya Streets

На рассматриваемом участке видимость ограничивает парковка вдоль дома по ул. Пушкина, 14, а также растительность на треугольниках видимости. При повороте, а также при движении прямо с пер. Макушина на ул. Пушкина видимость автомобиля, движущегося по полосе прямого движения, ограничена.

В качестве рекомендаций для обеспечения видимости необходимы следующие мероприятия:

- освободить треугольники видимости на пер. Макушина от растительности, а в зимний период от складирования снега. Срезка насаждений должна начинаться на расстоянии видимости от начала или конца кривой. По условиям обеспечения боковой видимости и требуемого режима движения не разрешается посадка деревьев ближе 5 м от кромки проезжей части;

- запретить парковку автомобилей по ул. Пушкина вдоль дома № 14 либо установить знак парковки за 5 м до перекрестка⁴.

⁴ СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка сельских поселений (Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89*).

Ситуация на пересечении улиц Октябрьской и Средне-Кирпичной сложилась таким образом, что перекресток оказался в выемке. При выезде с ул. Октябрьской затруднена видимость потока машин, выезжающих с ул. Средне-Кирпичной. Водитель непроизвольно выезжает на полосу параллельно движущегося автомобиля, чтобы убедиться, что движение может быть продолжено, тем самым нарушая безопасность движения.

В качестве рекомендаций можно предложить установить зеркало и ограничить скоростной режим для большей безопасности участников дорожного движения, согласно рекомендациям⁵.

На участках с ограниченной видимостью на пересечении равнозначных улиц должна быть расстановка предупреждающих знаков по ГОСТ Р 52289–2019 (рис. 10).

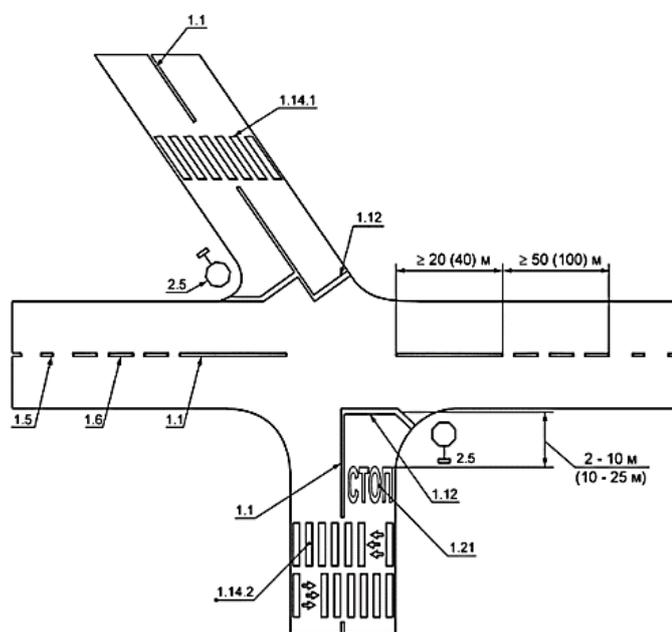


Рис. 10. Пример нанесения разметки перед нерегулируемым перекрестком с ограниченной видимостью

Fig. 10. Markings in front of unregulated intersection with limited visibility

Особенности организации движения на нерегулируемых перекрестках

Применение современных технических средств и систем организации движения поможет сократить общее количество и тяжесть ДТП. Их устройство должно быть связано в первую очередь с местами расположения школьных и детских учреждений, а также с местами концентрации ДТП. К сожалению, уровень оснащённости дорожной сети Томска техническими средствами организации дорожного движения остается недостаточным. Эксплуатацион-

⁵ СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования. Москва: Стандартинформ, 2019. 64 с.

ное состояние светофоров, присутствие информационных и предупреждающих дорожных знаков, разметки не везде удовлетворяют современным требованиям ГОСТ Р 52289–2019⁶. Безусловно, решение транспортных проблем возможно в первую очередь путем строительства и реконструкции УДС, транспортных сооружений, т. к. именно они обеспечивают перераспределение транспортных потоков, повышение пропускной способности на основных магистралях, уменьшая простои транспортных средств на перекрестках. Однако подобное строительство требует длительного времени, значительных финансовых вложений и связано с отчуждением территорий.

Резервом влияния на ситуацию служат мероприятия по совершенствованию организации движения транспорта и пешеходов на нерегулируемых перекрестках. Их реализация позволит улучшить ситуацию в перегруженных районах, обеспечить повышение пропускной способности без серьезных реконструктивных мероприятий. Подобные мероприятия называются средствами «успокоения движения», которые с большим успехом используются в наше время по всему миру [7].

Цель применения методов успокоения движения – снижение числа конфликтных ситуаций, предотвращение ДТП и снижение тяжести их последствий [10]. Методы успокоения движения предназначены для снижения скорости движения транспорта, в частности, в жилых районах города (на улицах низких категорий) [9]. Мировая практика использования методов успокоения движения показала, что их применение даёт положительный эффект именно в жилых районах [9, 10, 11]. Положительный эффект применения методов успокоения движения разные авторы оценивают следующим образом:

– Tim Pharoah и John Rüssel определяют как «усилия по достижению спокойной, безопасной и улучшенной ситуации на дорогах» [9];

– доктор Dr. Carmen Hass-Klau отмечает «сочетание стратегий, служащих для снижения вредного влияния на окружающую среду, повышения безопасности и разделения влияния транспортных средств для оценки воздействия на индивидуума и общество в целом» [10].

– Ian M. Lockwood (The Institute of Transportation Engineers (ITE), Traffic Calming Definition Subcommittee and) в успокоении движения видит «комбинацию преимущественно физических мероприятий, которые снижают негативный эффект от использования автомобильных транспортных средств, корректируют манеру вождения и улучшают условия для остальных участников движения, таких как пешеходы и велосипедисты» [11].

В России в 2017 г. были изданы методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения «Методы успокоения движения» [8], в основу которых заложен европейский и американский опыт. В этом документе собраны все возможные способы снижения скорости движения транспорта. Мероприятия по успокоению движения можно условно разделить на мероприятия, предусматривающие при-

⁶ ГОСТ Р 52289–2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. Москва: Стандартинформ, 2020. 134 с.

менение управляющих средств, и на мероприятия по перепланировке улиц [8]. Цель применения мероприятий заключается в повышении безопасности движения за счет повышения внимательности водителей и снижения скорости движения потока. Данный эффект достигается за счет визуального и физического препятствования езде на большой скорости в требуемых местах. Физическое препятствование – это изменение параметров дороги, которые приводят к психологическим изменениям в ощущениях водителем окружающей его дорожной сети, вследствие чего снижается скорость потока, что, в свою очередь, способствует снижению количества ДТП и их тяжести, загрязнения воздуха, дорожных заторов и уровня шумов.

Анализ литературных источников [9, 10, 11] показал, что мероприятия по успокоению движения классифицированы в 13 широких категорий и могут принимать форму разнообразных чередований или дополнительных применений к сложившейся улично-дорожной сети. Классификация средств успокоения движения приведена в работе [8]. Нужно отметить, что каждое средство решает конкретную задачу и применять его следует, исходя из конкретных целей и условий движения. Например, на участках УДС, где отсутствует движение тяжелого габаритного транспорта, перед пешеходными переходами в местах расположения школ, детских садов, детских площадок и т. д. для снижения скорости на двухполосных улицах целесообразно применение сужения проезжей части. При этом выбор варианта сужения определяется интенсивностью движения транспорта и пешеходов (рис. 11).

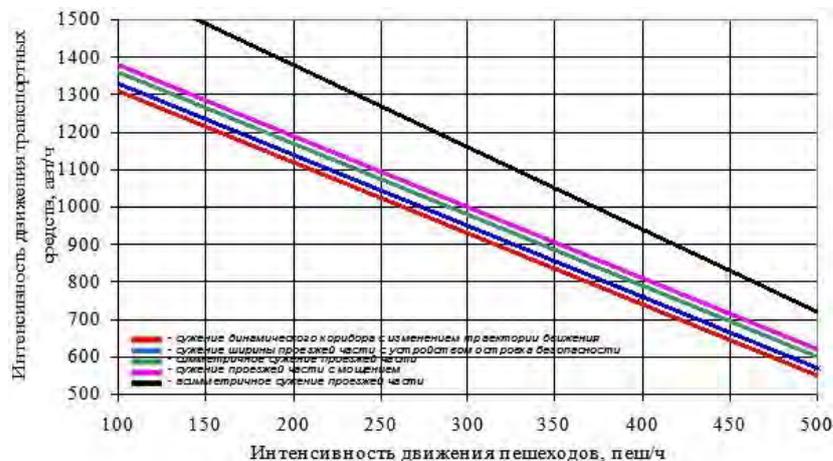


Рис. 11. Область применения методов сужения ширины проезжей части УДС для достижения ограничения скорости движения до 20 км/ч [8]

Fig. 11. Scope of application of carriageway width narrowing to achieve a 20 km/h speed limit [8]

Важнейшим требованием ОДД в тёмное время суток является равномерное распределения яркости освещения участков УДС с измененной геометрией ширины проезжей части. На рис. 12–14 приведены возможные варианты изменения ширины проезжей части.

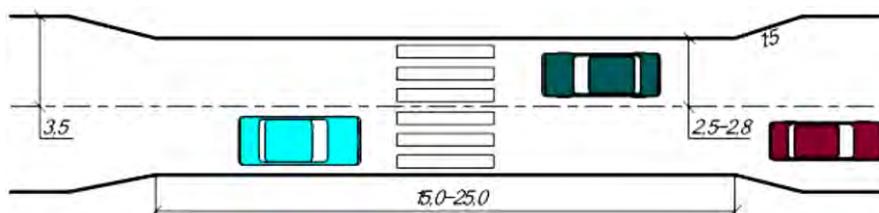


Рис. 12. Симметричное сужение проезжей части с внешней стороны улично-дорожной сети
Fig. 12. Symmetrical carriageway narrowing on street outside and road network

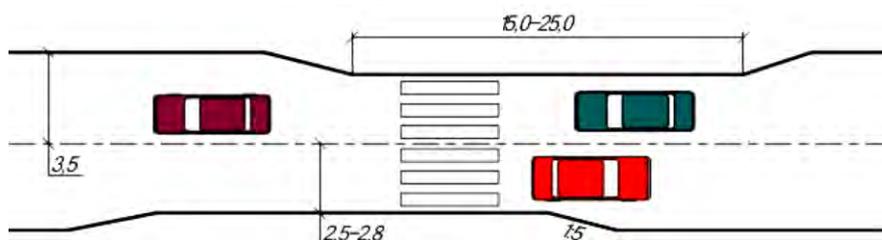


Рис. 13. Асимметричное сужение проезжей части с внешней стороны улично-дорожной сети
Fig. 13. Asymmetrical carriageway narrowing on street outside and road network

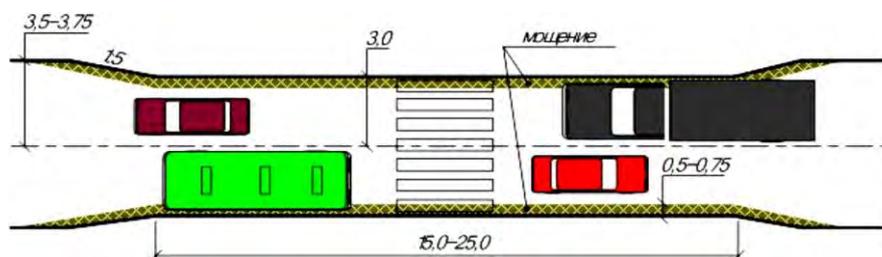


Рис. 14. Сужение ширины проезжей части с мощением краевых полос
Fig. 14. Narrowing roadway width with edge strip paving

Для снижения скорости возможно применение мощения участка проезжей части вдоль бортового камня шириной 0,35–0,75 м из брусчатки, булыжного или колотого камня (рис. 13). Такого рода решения по успокоению движения могут применяться и на многополосных проезжих частях перед саморегулируемыми пешеходными переходами.

Информационное обеспечение и инженерное обустройство участков дорог с измененной шириной проезжей части должно осуществляться в соответствии с требованиями действующих нормативных документов (ГОСТ Р 52289–2019).

В Томске активно применяются так называемые лежащие полицейские, по геометрии и материалу исполнения не соответствующие требованиям ГОСТ Р 52605–2006⁷. Хорошей заменой «лежащим полицейским» послужит

⁷ ГОСТ Р 52605–2006. Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические требования. Правила применения. Москва: Стандартинформ, 2007. 7 с.

нанесение поперечных светозумовых полос, которые представляют собой комбинацию световых и шумовых полос. Шумовые полосы выполняются либо при помощи поверхностной обработки покрытий, либо путем наклейки поперечных линий из пластичных материалов или нарезки поперечных канавок в покрытиях и другими способами изменения ровности. Световые полосы выполняются дорожной разметкой белого цвета. В качестве материала используют современные эмали, термопластики, пластики холодного формования, штучные формы, которые наносят поверх шумовых полос или параллельно им в непосредственной близости. Визуальный эффект от световых полос усиливается вибрацией от шумовых полос. Шумовые полосы, устанавливаемые перед пешеходными переходами, могут быть либо вырезаны в покрытии проезжей части (рис. 15, а), либо нанесены на проезжую часть (рис. 15, б). Расстояния между шумовыми полосами сокращаются по мере приближения к пешеходному переходу.

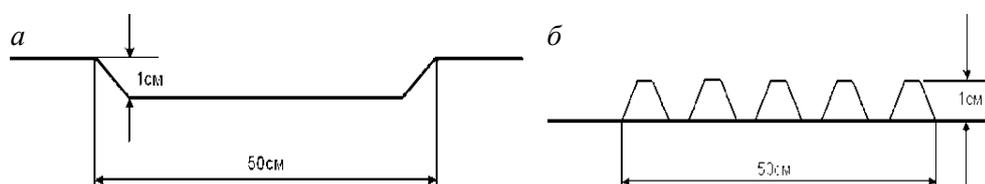


Рис. 15. Шумовые полосы:

а – вырезанные на проезжей части; б – из пластичных материалов

Fig. 15. Noise strips:

a – cut on the roadway; b – cut from plastic materials

Требования к геометрическим параметрам шумовых полос представлены в табл. 1. Глубина первых трех полос составляет 2,5–3,0 см, последующих – 1,5–2,0 см. Шумовая полоса может состоять из отдельных полос шириной от 0,05 до 0,2 м с промежутками между ними такой же ширины.

Таблица 1

Параметры шумовых полос

Table 1

Noise strip parameters

Требуемое снижение скорости, %	Необходимое количество полос, шт.	Расстояние от начала опасного участка до первой полосы, м	Расстояние между полосами, м
20	4	10	10, 15, 20
25	5	6	6, 10, 15, 20
30	6	6	6, 6, 15, 20
40	8	3	3, 3, 6, 10, 15, 20

Типовые схемы устройства светозумовых полос на поверхности проезжей части приведены на рис. 16.

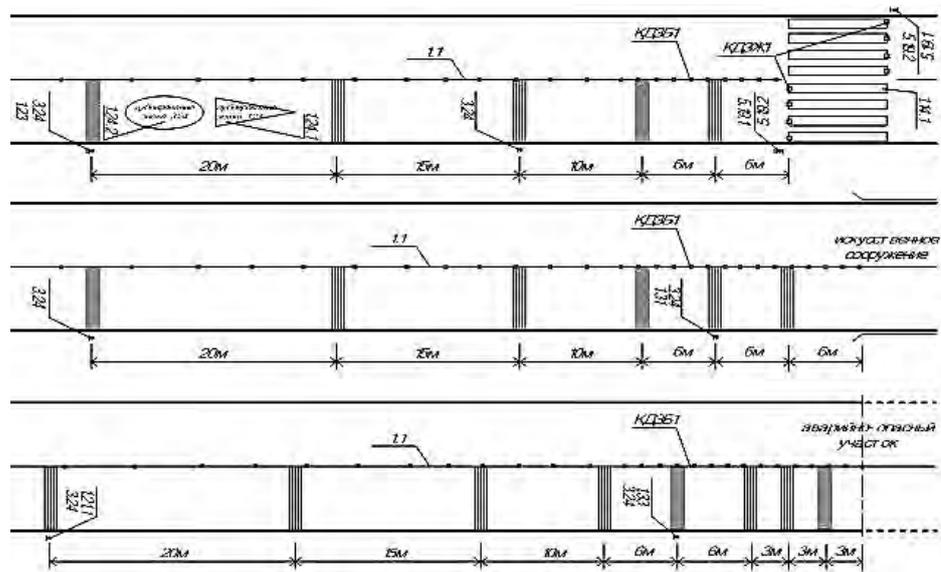


Рис. 16. Обустройство участков с поперечными световыми и светозумовыми полосами
 Fig. 16. Site development with transverse light and light-noise strips

Дополнительный тактильный эффект воздействия светозумовых полос достигается применением рельефной разметки, достаточно эффективной при выпадении осадков и при движении в темное время суток.

Как было отмечено выше, для г. Томска характерно интенсивное строительство многоэтажных жилых массивов и поселков индивидуального строительства. Для принудительного снижения скорости движения транспортных средств в жилой зоне рекомендуется использовать планировочные и инженерные методы, например, изменение траектории движения транспортных средств (рис. 17) [8].

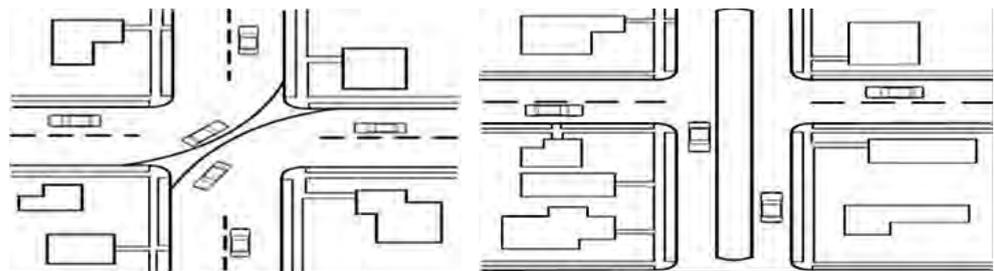


Рис. 17. Варианты исключения сквозных проездов в зоне жилой застройки
 Fig. 17. Options for avoiding through passages in residential housing

Связь жилых зон с магистральными улицами осуществляется пересечениями и примыканиями внутриквартальных проездов к магистралям. Большое количество выездов ведет к увеличению конфликтных ситуаций с транспортным потоком, движущимся по магистрали при въезде и выезде из проезда.

Особое значение имеет доля транспортных средств, выезжающих из жилой зоны и поворачивающих налево, когда на выезжающей улице отсутствуют разделительные полосы или разметка. При высокой интенсивности транспортного потока, движущегося по магистрали, и доли транспортных средств, поворачивающих налево, поворот может быть затруднен и на проезде возможно образование заторов. В этом случае для снижения аварийности непосредственно на перекрестках хорошо работают приемы, предусматривающие изменение схемы движения, в частности, достаточно эффективным приемом является применение мини- и компактных колец.

В соответствии с данными международной статистики переоборудование нерегулируемых пересечений в кольцевые пересечения малого и среднего диаметра позволяет снизить аварийность на 40–80 % [7]. Это обусловило широкое распространение в мировой практике пересечений, обозначаемых термином «современные кольцевые пересечения» [12, 14, 15]. Данным термином обозначаются кольца малого и среднего диаметра, имеющие приоритет движения по кольцевой проезжей части и целый ряд особенностей проектирования геометрических элементов, обеспечивающих проезд длинномерных транспортных средств, а также безопасное движение пешеходов.

Современная концепция мини-колец была впервые представлена в Великобритании в 1970 г. как способ увеличения пропускной способности и снижения транспортных задержек на существующих пересечениях, где другие формы организации движения на перекрестке не применимы или не рациональны [7]. Департамент Транспорта Великобритании дает следующее определение термина «мини-кольцо»: «...мини-кольцо является типом организации движения на пересечении, на котором транспортные средства движутся вокруг белой круговой разметки (центрального островка), имеющей диаметр от 1 до 4 м...» [8, 11].

Транспортные средства, движущиеся по мини-кольцу, имеют приоритет движения. На кольцевой проезжей части наносятся три белых стрелки, указывающих направление движения (рис. 18). Центральный островок может возвышаться над проезжей частью, но не более чем на 125 мм. Этим обеспечивается возможность движения длинных грузовых транспортных средств через островок (рис. 19). Дорожные знаки «круговое движение» устанавливаются на каждом из подходов к мини-кольцу. Максимальный внешний диаметр (диаметр вписывания в перекресток) не должен превышать 28 м.

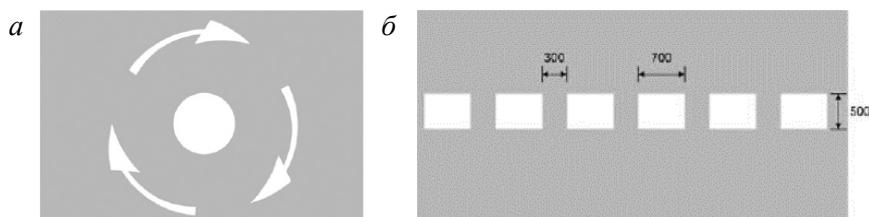


Рис. 18. Дорожная разметка, применяемая в Великобритании на мини-кольцах:

a – центральный островок и направление движения; *b* – стоп-линия

Fig. 18. Road markings in Great Britain on mini-rings:

a – center island and traffic direction; *b* – stop line



Рис. 19. Допускаемое движение крупных транспортных средств через островок на мини-кольцах [8]

Fig. 19. Allowable movement of large vehicles through the island on mini-rings [8]

Первоначально мини-кольца применялись лишь как метод повышения безопасности дорожного движения, как альтернатива другим типам пересечений, где существуют ограничения на размеры пересечения и сложности с финансированием реконструкции существующего перекрестка. В дальнейшем на них возложили задачи успокоения движения транспортного потока и снижения числа дорожно-транспортных происшествий на перекрестке [7].

В Германии мини-кольца применяются в основном в условиях стесненной застройки. Ширина полосы на кольце принимается 3,75 м, внешний диаметр – до 26 м. В центральной части пересечения обустраивается полусферическое возвышение (островок) высотой до 20 см. При необходимости автобусам и длинномерным грузовым автомобилям разрешается въезд на центральный островок (рис. 20) [16, 17].



Рис. 20. Мини-кольцо диаметром 4 м с шириной полосы на кольце 3,75 м и с возвышением (до 20 см) в центре в виде полусферы. Краевая полоса шириной 1,5 м

Fig. 20. Mini-ring with a diameter 4 m with band width of 3.75 m and hemispherical elevation (up to 20 cm) at the center. Edge strip width: 1.5 m

В США рекомендации по разработке и проектированию мини-колец основаны на методах, разработанных в Германии, и главным образом в Великобритании. Их применяют в местах, где отсутствует необходимость обеспечивать пропускную способность, и в местах движения преимущественно легкового автомобильного транспорта. Имея маленькие габариты, мини-кольца значительно повышают безопасность движения пешеходов за счет небольшой длины пешеходных переходов и низкой скорости движения. Для обеспечения низкой скорости движение через центральный островок запрещено для легковых автомобилей, однако допустимо для движения длинномерных транспортных средств, движущихся прямо или совершающих поворот (рис. 21) [7, 15].



Рис. 21. США. Пример мини-кольцевого пересечения, применяемого для успокоения движения на местных улицах жилых территорий

Fig. 21. Mini-roundabout intersection for traffic calming on residential streets, USA

В России первое мини-кольцо появилось в 2014 г. Его обустроили в Перми на перекрестке ул. Советской и Куйбышева (рис. 22). Опыт оказался успешным – количество аварий сократилось в 6 раз. После круговое движение с устройством мини-колец было организовано еще на десятке перекрестков. К сожалению, практика не нашла широкого применения, несмотря на высокие оценки экспертов в области транспорта и урбанистики. Сейчас кольца малого диаметра применяют в Москве и на Сахалине.



Рис. 22. Внешний вид первого мини-кольца в г. Перми

Fig. 22. First mini-ring in the city of Perm

В 2021 г. мини-кольцевое пересечение появилось в Южно-Сахалинске. Изначально развязка состояла только из столбиков, наличие которых несколько раз игнорировалось со стороны водителей. Следующим этапом становления круговой развязки стала замена столбиков на модульный бордюр (рис. 23).



Рис. 23. «Зеленая» кольцевая развязка в Южно-Сахалинске
Fig. 23. Green traffic circle in Yuzhno-Sakhalinsk

Теоретические основы оценки пропускной способности мини-кольцевых пересечений и задержек на них

Особенность нерегулируемых транспортных пересечений заключается в случайном прибытии автомобилей. Пропускная способность нерегулируемых пересечений определяется интенсивностью второстепенных потоков, выбирающих интервалы главного направления. Поэтому распределение интервалов между транспортными средствами в потоках оказывает существенное влияние на функционирование нерегулируемого пересечения. Наиболее важно изучение распределений достаточно длительных интервалов, т. к. именно они принимаются водителями второстепенных направлений для выполнения различных маневров. Моделью, характеризующей распределение интервалов в транспортном потоке, принимают отрицательное экспоненциальное распределение, которое предполагает, что все транспортные средства прибывают случайно, без какой-либо зависимости от предыдущего. Плотность распределения интервалов в потоке $f(t)$ имеет вид

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t},$$

где λ – параметр распределения, авт./с; $\lambda = q / 3600$; q – интенсивность движения, авт./ч.

Кумулятивное распределение (т. е. функция распределения) вероятностей появления интервала h , не превышающего заданное t , имеет следующий вид:

$$P(h \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}.$$

Единственное преимущество экспоненциального распределения – простота его применения: необходимо определить только один параметр – интенсивность движения q .

Недостаток экспоненциального распределения заключается в том, что оно не совсем точно аппроксимирует распределение интервалов при высоких значениях интенсивности. В этой связи применяется смещенное экспоненциальное распределение [16, 17].

Смещенное экспоненциальное распределение учитывает, что интервалы между транспортными средствами в потоке не могут быть менее некоторого значения $t(m)$. Величина минимального интервала $t(m)$ может интерпретироваться как расстояние вокруг автомобиля, которое не может использовать никакой другой водитель, находящийся в этом же потоке, деленное на скорость потока. Предполагается, что интервалы в потоке имеют величину более t_m , но при этом подчиняются экспоненциальному распределению. Соответственно $f(t)$ рассматриваются как

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < t_m; \\ \lambda e^{-\lambda(t-t_m)}, & \text{если } t \geq t_m, \end{cases}$$

где λ – параметр распределения, $\lambda = \frac{q}{1-t_m q}$; t_m – параметр смещения распределения (величина минимального интервала в потоке), с.

Кумулятивное распределение вероятностей появления интервала заданного размера имеет вид

$$F(h) = 1 - e^{-\lambda(h-t_m)}.$$

Смещенное экспоненциальное распределение значительно лучше аппроксимирует, чем отрицательное экспоненциальное распределение, но не учитывает, что в некоторых случаях, например при высоких интенсивностях, транспортные средства поступают так называемыми пачками.

В городских условиях в потоке движения появляются «пачки», т. е. группы, внутри которых расстояния между автомобилями, движущимися друг за другом, небольшие (например, влияет светофорное регулирование), и поэтому поток следует рассматривать состоящим из двух частей – связанной и свободной. К первой части относят те транспортные средства, которые движутся в «пачках». Ко второй части потока относят те транспортные средства, на скорость движения которых не оказывает влияния транспортное средство, движущееся впереди. Анализ специальной литературы показал, что существует ряд дихотомических распределений [7, 13], однако наиболее используемой в теории принятия интервалов является модель Cowan МЗ [18]. Данная модель наиболее точно описывает распределение «больших» интервалов, применяемых для выполнения маневров на нерегулируемых пересечениях водителями второстепенных направлений движения.

Плотность этого распределения имеет следующий вид:

$$f(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } t < t_m; \\ \alpha \lambda e^{-\lambda(t-t_m)}, & \text{если } t \geq t_m, \end{cases}$$

где α – доля свободной части транспортного потока; λ – параметр распределения, определяемый формулой

$$\lambda = \frac{\alpha q}{(1 - t_m q)}.$$

Модели оценки пропускной способности можно разделить на два класса:
 – регрессионные модели, в которых пропускная способность определяется как статистическая функция независимых переменных, включающих интенсивность главного потока и характеристики кольцевого пересечения;

– модели, основанные на «теории принятия интервалов» – т. е. на оценке взаимодействия главного и второстепенных потоков, при этом второстепенным потоком используются интервалы главного потока, превышающие некоторое значение (критический интервал).

Регрессионные модели более просты и удобны для практического использования и применяются в Великобритании и ФРГ [16, 17, 18, 19]. Недостаток этих моделей заключается в том, что они применимы только для дорожных условий с полученными регрессионными зависимостями.

Ряд стран (например, Австралия, США, Финляндия) используют методики, основанные на модели принятия интервалов [20, 21]. Такие модели сложнее для практического применения, но имеют определенные достоинства. Признано, что они более подходят для расчетов мини-колец.

В модели принятия интервалов принято, что транспортное средство второстепенного направления пересекает перекресток или совершает маневр слияния с главным потоком, если интервал в потоке главного направления превышает граничный, или критический, интервал t_c . Из образовавшейся на второстепенном направлении очереди транспортные средства могут двигаться с интервалом t_f (интервал следования из очереди).

При интервале в главном потоке $0 < t < t_c$ транспортные средства второстепенного направления не пересекают перекресток. В случае если интервал в главном потоке t_c , то перекресток пересекает одно транспортное средство второстепенного направления. Если интервал в главном потоке удовлетворяет условию $t_c + t_f \leq t < t_c + 2t_f$, то перекресток пересекают два транспортных средства второстепенного направления. Соответственно вероятность того, что за момент времени t перекресток пересекут i транспортных средств второстепенного направления, имеет следующий вид:

$$p_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t < t_m; \\ 0, & \text{в другом случае.} \end{cases}$$

Функция принятия интервалов имеет вид

$$\alpha(t) = \left[\frac{t - t_c + t_f}{t_f} \right] = \begin{cases} 0, & \text{если } t < t_c; \\ \left[\frac{t - t_c + t_f}{t_f} \right], & \text{если } t \geq t_c. \end{cases}$$

Пропускная способность второстепенного направления C_p определяется как произведение среднего количества транспортных средств, пересекающих перекресток за один интервал в главном потоке, на количество этих интерва-

лов за единицу времени. В соответствии с этим при интенсивности главного потока, равной 0, максимальная интенсивность движения автомобилей из очереди второстепенного направления достигнет

$$t_f^{-1} \text{ (авт./с) и } 3600t_f^{-1} \text{ (авт./ч)}.$$

Для описания распределения интервалов в транспортном потоке используют разновидности экспоненциального распределения.

Если интервалы главного потока подчиняются экспоненциальному распределению, получаем уравнение пропускной способности

$$C = \frac{\lambda e^{-\lambda t_c}}{1 - e^{-\lambda t_f}},$$

где λ – параметр распределения (т. е. интенсивность движения главного потока, авт./с); t_{cf} – интервал следования из очереди второстепенного направления, с.

В случае применения смещенного экспоненциального распределения пропускная способность равна:

$$C = \frac{\lambda e^{-\lambda(t_c - t_p)}}{1 - e^{-\lambda t_f}}.$$

В руководстве HCM 2000 рассмотрен случай кольцевого пересечения с однополосными подходами (т. е. с улицами, имеющими по две полосы движения) (рис. 24). При этом указывается, что в США еще не накоплен достаточный опыт эксплуатации кольцевых пересечений с несколькими полосами движения на подходах, что пока не позволяет создать практическое руководство. К разработке данного раздела привлекался исследователь R.J. Troutbeck [19, 20].

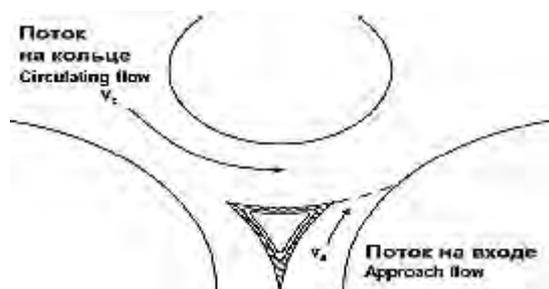


Рис. 24. Исходная схема к расчету пропускной способности входа на кольцевое пересечение в руководстве HCM 2000:

v_a – интенсивность движения на входе на кольцевое пересечение, авт./ч; V_c – интенсивность движения на кольце, авт./ч

Fig. 24. Initial scheme for calculating the capacity of traffic circle entrance:

v_a – traffic intensity at the roundabout entrance, vehicles per hour; V_c – traffic intensity at the ring, vehicles per hour

В соответствии с приведенной выше схемой пропускная способность входа на пересечение c_a (прив. авт./ч) рассчитывается как

$$c_a = \frac{v_c e^{v_c t_c / 3600}}{1 - e^{v_c t_f / 3600}},$$

где v_c – интенсивность движения на кольце, прив. авт./ч; t_c – критический интервал, с; t_f – интервал следования из очереди второстепенного потока (на входе на кольцо), с.

Диапазон значений критических интервалов и интервалов следования из очереди, используемых в расчетах кольцевых пересечений, указан в табл. 2. Влияние данных параметров на величину получаемой расчетной пропускной способности входа на кольцевое пересечение представлено на рис. 25.

Таблица 2

Значения критических интервалов и интервалов следования из очереди

Table 2

Critical intervals and motion from queue

Границы диапазона значений	Критические интервалы, с	Интервалы следования из очереди второстепенного потока t , с
Нижняя	4,1	2,6
Верхняя	4,6	3,1

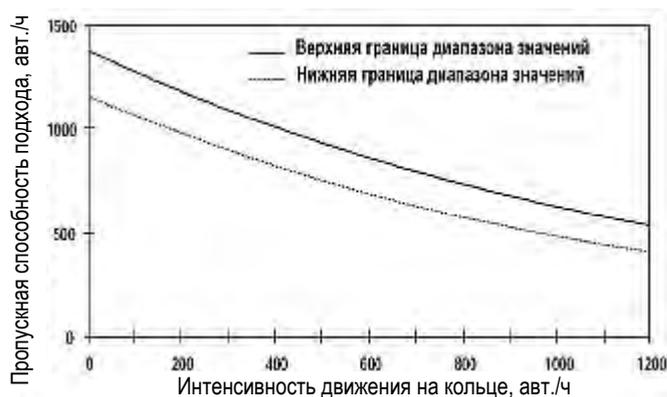


Рис. 25. Влияние принимаемых значений параметров на расчетную пропускную способность входа на кольцевое пересечение HCM 2000 [21]

Fig. 25. Effect of assumed parameter values on design capacity of traffic performance [21]

Таким образом, для снижения числа конфликтных ситуаций, предотвращения ДТП и уменьшения тяжести их последствий рекомендовано:

1. По результатам анализа причин ДТП на нерегулируемых перекрестках УДС Томска предоставить в соответствующие службы города рекомендации конкретных методов успокоения движения в районах тяготения школ, детских учреждений, нерегулируемых пешеходных переходах.

2. В микрорайонах активной жилой застройки для успокоения движения при въезде и выезде на магистральные улицы для уменьшения скорости

транспорта рекомендуется устройство мини-колец с диаметром центрального островка 4–6 м, приподнятым на 10 см, с устройством краевых полос, ширина которых может колебаться от метра и выше в зависимости от территории.

3. Продолжить обследование нерегулируемых пересечений в Томске, на которых, по данным ГИБДД, наблюдались особо тяжелые последствия ДТП, для принятия решений по применению методов успокоения движения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Стратегия социально-экономического развития* муниципального образования «Город Томск» до 2030 года // Администрация города Томска : [официальный сайт]. URL: <http://www.admin.tomsk.ru/pgs/2ph> (дата обращения: 25.09.2023).
2. *Логинава М.* Почему шведские дороги самые безопасные // TravelAsk : интернет-журнал. URL: <https://travelask.ru/blog/posts/31122-pochemu-shvedskie-dorogi-samye-bezopasnye> (дата обращения: 05.10.2023).
3. *Госавтоинспекция Томской области* : [официальный сайт]. URL: <http://www.gibdd.ru> (дата обращения: 25.09.2023).
4. *Госавтоинспекция Иркутской области* : [официальный сайт]. URL: <http://38.gibdd.ru/> (дата обращения: 25.09.2023).
5. *Скубиева О.М., Пушкарева Г.В.* Обоснование единой базы нормативных документов, регламентирующих строительство и эксплуатацию городских улиц и автомобильных дорог (на примере города Томска) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 3 (62). С. 183–193.
6. *Чистяков А.С., Пушкарева Г.В., Бурлуцкий А.А.* Проблемы обеспечения видимости в условиях города // Избранные доклады 65-й юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2019. С. 294–296.
7. *Михайлов А.Ю., Лагерев Р.Ю., Шаров М.И., Зедгенизов А.В., Левашев А.Г., Липницкий А.С.* Современные кольцевые пересечения. Иркутск : Транспортная лаборатория ИрГТУ, 2009. 103 с. URL: <http://goo.gl/jhdao> (дата обращения: 25.09.2023).
8. *Методические рекомендации* по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Методы успокоения движения. Москва : НИИАТ, 2017. 74 с.
9. *Institute of Transportation Engineers* : [сайт]. URL: <http://www.ite.org/traffic/tcstate.htm> (дата обращения: 06.09.2023).
10. *ТС* : [сайт]. URL: <http://www.trafficcalming.org> (дата обращения: 06.09.2023).
11. *City of Winston-Salem Traffic calming policy*. May 2005. URL: <http://www.ci.winston-salem.nc.us/DOT/trafficcalming.html> (дата обращения: 06.09.2023).
12. *Mini roundabouts*. Good practices guidance. UK Department for transport. 27 November 2006. 53 p.
13. *Липницкий А.С.* Повышение эффективности дорожного движения на основе применения компактных кольцевых пересечений : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Иркутск, 2010. 233 с.
14. *TD 16/07*. Geometric Design of Roundabouts. Design Manual for Roads and bridges. Road geometry. 2007. Volume 6. Section 2. Junctions. 51 p.
15. *TD 54/07*. Design of Mini-roundabouts. Design Manual for Roads and bridges. Road geometry. 2007. Volume 6. Section 2. Junctions. 31 p.
16. *Brilon W.* Roundabouts: a state of the art in Germany // Paper presented at the National Roundabout conference. Vail, Colorado, 2005, May 22–25. 16 p.
17. *Brilon W., Vendhey M.* Roundabouts – The State of the Art in Germany // ITE Journal. 1998. November. P. 48–54.
18. *Cowan R.J.* Adams' formula revised // Traffic Engineering and Control. 1984. V. 25. № 5. P. 272–274.
19. *Troutbeck R.J.* A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters // Traffic Engineering and Control. 1997. V. 38. № 11. P. 600–603.

20. Troutbeck R. Background for HCM Section on Analysis of Performance of Roundabouts // Transportation Research Record 1646. 1998. P. 54–62.
21. Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) // Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., U.S.A, 2000. 1134 p.

REFERENCES

1. Strategy of socio-economic development of the municipal formation "Tomsk City" until 2030. Available: www.admin.tomsk.ru/pgs/2ph (accessed September 25, 2023). (In Russian)
2. Loginova M. Why Swedish roads are the safest. Available: <https://travelask.ru/blog/posts/31122-pochemu-shvedskie-dorogi-samye-bezopasnye> (accessed October 5, 2023). (In Russian)
3. State Automobile Inspection of the Tomsk Region. Available: www.gibdd.ru (accessed September 25, 2023). (In Russian)
4. State Automobile Inspection of the Irkutsk Region. Available: <http://38.gibdd.ru/> (accessed September 25, 2023). (In Russian)
5. Skubieva O.M., Pushkareva G.V. Rationale for regulatory documents on street and road usage and construction (a Tomsk case study). *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017; 3 (62): 183–193. (In Russian)
6. Chistyakov A.S., Pushkareva G.V., Burlutskii A.A. Challenges of visibility in urban environment. In: *Proc. 65th Sci. Conf. of Students and Young Scientists*. Tomsk: TSUAB, 2019. Pp. 294–296. (In Russian)
7. Mikhailov A.Yu., Lagerev R.Yu., Sharov M.I., Zedgenizov A.V., Levashev A.G., Lipnitskii A.S. Modern traffic circles. Irkutsk, 2009. 103 p. Available: <http://goo.gl/jhdao> (data obrashcheniya: 25.09.2023). (In Russian)
8. Methodological recommendations for development and implementation of measures to organize road traffic. Moscow, 2017. 74 p. (In Russian)
9. Institute of Transportation Engineers. Available: www.ite.org/traffic/tcstate.htm (accessed September 6, 2023).
10. Traffic calming. Available: www.trafficcalming.org (accessed September 6, 2023).
11. City of Winston-Salem Traffic calming policy. May 2005. Available: www.ci.winston-salem.nc.us/DOT/trafficcalming.html (accessed September 6, 2023).
12. Mini roundabouts. Good practices guidance. UK Department for transport. 27 November 2006. 53 p.
13. Lipnitskii A.S. Improving traffic efficiency through the use of compact traffic circles. PhD Thesis. Irkutsk, 2010. 233 p. (In Russian)
14. TD 16/07. Geometric design of roundabouts. Design manual for roads and bridges. Road geometry. 2007. Vol. 6. Section 2. Junctions 51 p.
15. TD 54/07. Design of mini-roundabouts. Design manual for roads and bridges. Road geometry. 2007. Vol. 6. Section 2. Junctions 31 p.
16. Brilon W. Roundabouts: A state of the art in Germany. Paper presented at the National Roundabout Conference. Vail, Colorado, 2005, May 22–25. 16 p.
17. Brilon W., Vendhey M. Roundabouts – The state of the art in Germany. *ITE Journal*. 1998; 48–54.
18. Cowan R.J. Adams' formula revised. *Traffic Engineering and Control*. 1984; 25 (5): 272–274.
19. Troutbeck R.J. A review on the process to estimate the Cowan M3 headway distribution parameters. *Traffic Engineering and Control*. 1997; 38 (11): 600–603.
20. Troutbeck R. Background for HCM section on analysis of performance of roundabouts. Transportation Research Record 1646. 1998. Pp. 54–62.
21. Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000). Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C., U.S.A., 2000. 1134 p.

Сведения об авторах

Пушкарева Галина Вениаминовна, канд. физ.-мат. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kedrik42@mail.ru

Халтурин Денис Дмитриевич, студент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, deniskhalturin@mail.ru

Authors Details

Galina V. Pushkareva, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kedrik42@mail.ru

Denis D. Khalturin, Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, deniskhalturin@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 29.09.2023
Одобрена после рецензирования 06.10.2023
Принята к публикации 09.10.2023

Submitted for publication 29.09.2023
Approved after review 06.10.2023
Accepted for publication 09.10.2023