

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный
архитектурно-строительный университет

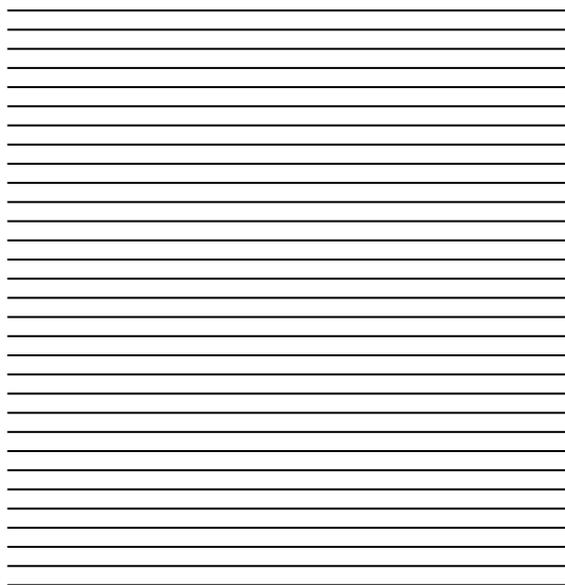
ВЕСТНИК

ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Том 26

№ 5 2024
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; 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; nitag@yandex.ru
Власов В.А., докт. физ.-мат. наук, профессор, советник РААСН, ректор ТГАСУ, г. Томск; rector@tsuab.ru
Волокитин Г.Г., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой прикладной механики и материаловедения ТГАСУ, г. Томск; vgg-tomsk@mail.ru
Волокитин О.Г., докт. техн. наук, профессор, советник РААСН, проректор по учебной работе ТГАСУ, г. Томск; study@tsuab.ru
Галютдинов З.Р., докт. техн. наук, доцент, зав. кафедрой железобетонных конструкций ТГАСУ, г. Томск; zgaluytdinov@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_gis@mail.ru
Есаулов Г.В., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, проректор по научной работе МАРХИ, г. Москва; gvesaulov@raasn.ru
Ефименко С.В., 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
Кудяков А.И., докт. техн. наук, советник РААСН, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ, г. Томск; kudyakov@tsuab.ru
Кумпяк 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; ovsnn@tsuab.ru
Орозбеков М.О., докт. техн. наук, профессор ОмГУ, г. Омь, Кыргызская Республика; oshsu@mail.ru
Поляков Е.Н., докт. искусствознания, канд. архитектуры, профессор кафедры теории и истории архитектуры ТГАСУ, член Союза архитекторов России, г. Томск; polyakov-en@ya.ru
Ситникова Е.В., канд. архитектуры, доцент кафедры реставрации и реконструкции архитектурного наследия ТГАСУ, г. Томск; elensi@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; bagdabtb@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; chupinvr@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 – 2024

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

Журнал зарегистрирован 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 21.10.2024. Формат 70×108/16. Гарнитура Таймс.

Дата выхода: 28.10.2024.

Уч.-изд. л. 17,46. Усл. печ. л. 20,74. Тираж 200 экз. Заказ № 86.

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, 2024

The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

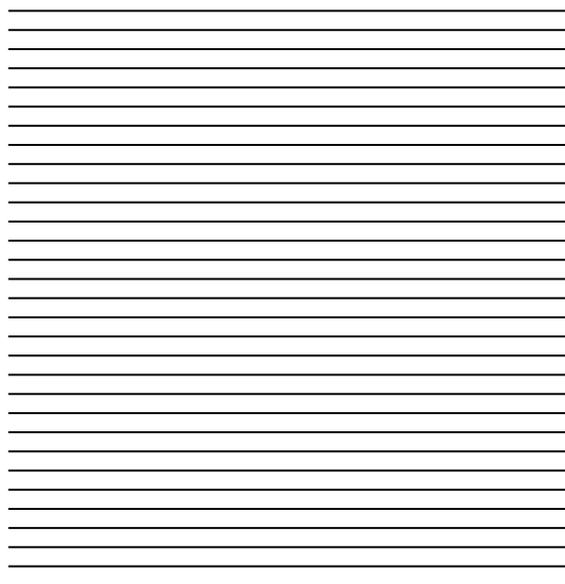
VESTNIK
TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO
ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA

JOURNAL
OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Volume 26

№ 5 2024
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.at@dfju.ru
Bondarenko I.A., DSc, Professor, RAACS Academician, Director Scientific Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning, Branch of the Central Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, Moscow, Russia; niitag@yandex.ru
Chupin V.R., DSc, Professor, Head of Urban Planning and Economy Dept., National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russia; chupinvr@ex.istu.edu
Degtyarev V.V., DSc, Professor, RAACS Adviser, Head of Hydraulic Engineering, Safety and Ecology Dept., Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russia; ngasu_gts@mail.ru
Efimenko V.N., DSc, Professor, Automobile Roads Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; svefimenko_80@mail.ru
Efimenko S.V., DSc, Vice-Rector for Research, TSUAB, Tomsk, Russia; svefimenko@tsuab.ru
Esaulov G.V., DSc, Professor, RAACS Academician, Vice-Rector for Research of Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia; esaulovgv@raasn.ru
Galyautdinov Z.R., DSc, A/Professor, Head of Reinforced Concrete Construction Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; zgalyautdinov@tsuab.ru
Gnyrya A.I., DSc, Professor, RAACS Adviser, Construction Engineering Technology Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; tsp_tgasu@mail.ru
Il'ichev V.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President, Moscow, Russia; ilyichev@raasn.ru
Kaprielov S.S., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Head of Laboratory at Gvozdev Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete, Moscow, Russia; kaprielov@masterbeton-mb.ru
Kopanitsa N.O., DSc, Professor, Building Materials and Technologies, TSUAB, Tomsk, Russia; kopanitsa@mail.ru
Kudryakov A.I., DSc, Professor, RAACS Adviser, Head of Construction Engineering Technology Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; kudryakov@tsuab.ru
Kumpyak O.G., DSc, Professor, RAACS Adviser, Reinforced Concrete and Masonry Structures Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; kumpyak@yandex.ru
Lotov V.A., DSc, Professor, Construction Engineering Technology Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; valotov@tpu.ru
Morozov V.I., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Head of Engineering Constructions Dept., SPSUACE, Saint-Petersburg, Russia; morozov@spbgasu.ru
Orozbekov M.O., DSc, Professor, Rector, Osh State University, Osh, Kyrgyz Republic; oshsu@mail.ru
Ovsyannikov S.N., DSc, Professor, RAACS Adviser, Head of Architecture of Civil and Industrial Buildings Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; ovssn@tsuab.ru
Polyakov E.N., DArts, Professor, Member of the Union of Architects of Russia; Theory and History of Architecture Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; polyakov-en@ya.ru
Skolubovich Yu.L., DSc, Professor, RAACS Correspondent Member, Rector, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russia; sjl1964@mail.ru
Sitnikova E.V., DArts, A/Professor, Restoration and Renovation of Architectural Heritage Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; eleni@vtomske.ru
Shubenkov M.V., DArts, Professor, Head of Urban Planning Dept., Moscow Architectural Institute (State Academy), RAACS Vice President, Moscow, Russia; shubenkov@gmail.com
Shubin I.L., DSc, RAACS Corresponding Member, Director Structural Physics Research Institute, RAACS, Moscow, Russia; niisf@niisf.ru
Teltaev B.B., DSc, Professor, Academician, National Academy of Engineering of Kazakhstan and International Academy of Transport, Almaty, Kazakhstan; bagdatbi@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 ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA
JOURNAL OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE № 5 – 2024
Print ISSN 1607-1859 Online ISSN 2310-0044

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: 21.10.2024. Paper size: 70×108/16. Typeface: Times New Roman Issue date: 28.10.2024.
Published sheets: 17,46. Conventional printed sheets: 20,74. Print run: 200 copies Price: free.
Order N 86.

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



© Tomsk State University
of Architecture and Building, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Поляков Е.Н., Полякова О.П. Культовые здания Ле Корбюзье. Капелла Нотр-Дам-дю-О в Роншане (1950–1955)	9
Мицаева Х.В., Поляков Е.Н. Особенности проектирования инклюзивных игровых площадок для детей-инвалидов.....	34
Монич Д.И., Монич Г.И., Литвинова О.Г. Градостроительные практики прошлого в условиях потенциальной угрозы с воздуха в период Второй мировой войны.....	45
Лейзерова А.В. Формально-композиционная устойчивость структурных элементов исторического центра города Екатеринбурга	53
Алексеева А.Ю. Ретроспективный архитектурно-градостроительный анализ развития исторического города Юрьевца на рубеже XVII–XVIII вв.	71
Каталевская Е.С., Ситникова Е.В. Малые архитектурные формы в деревянной усадебной застройке города Томска конца XIX – начала XX века	84
Маметова Т.А., Карелин Д.В. Нормативно-правовое обеспечение цифровой модели городской территории в РФ.....	99
Довбня Я.В., Астахова Е.С. Особенности архитектурной организации экологических туристических комплексов (на примере юга России)	113
Кутуков А.А., Романова Л.С., Колокольцева Е.Н. Конструкции каменных лестниц в исторической застройке на примере архитектуры Томска конца XIX – начала XX века.....	127

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Продоус О.А., Шлычков Д.И., Шестаков А.А., Челоненко А.Г. О необходимости разработки нормативных требований на вывод из эксплуатации изношенных водопроводных и канализационных трубопроводов с внутренними отложениями	151
---	-----

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Пипия В.Т. Стратегия выбора инновационных материалов в архитектуре и строительстве: магнетитовые плиты.....	163
---	-----

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

Алексиков С.В., Кандалов А.А. Методы оптимизации маршрутов объезда ремонтируемых городских путепроводов	173
Картопольцев А.В. О ресурсной надежности бистальных балок с резервированием	183
Герасимов С.И., Тихомиров В.М., Попов А.М. Анализ усталостной прочности подкладки рельсового скрепления	198
Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Бадина М.В., Баширова И.А. Назначение границ таксонов, объединяющих однородные территории по признакам геокомплекса при дорожно-климатическом районировании	212
Алексеев А.А. К вопросу ограниченной долговечности несущих балок металлических пролетных строений мостов	225

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

Ляхович Леонид Семёнович	236
--------------------------------	-----

C O N T E N T S

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Polyakov E.N., Polyakova O.P. Iconic Buildings of Le Corbusier. Chapel of Notre-Dame Du Haut in Ronchamp.....	9
Mitsaeva Kh.V., Polyakov E.N. Design of Inclusive Children's Playgrounds	34
Monich D.I., Monich G.I., Litvinova O.G. Urban Planning of the Past in the Face of Potential Airborne Threats During World War II.....	45
Leizerova A.V. Formal and Composition Stability of Ekaterinburg Historical Center	53
Alekseeva A.Yu. Retrospective Town-Planning Analysis of Yuryevets Historical Development at the Turn of 18th Century	71
Katalevskaya E.S., Sitnikova E.V. Small Architectural Forms in Tomsk Wooden Buildings in 19–20th Centuries	84
Mametova T.A., Karelin D.V. Regulatory Support of Digital Model of Urban Territory in the Russian Federation	99
Dovbnya Ya.V., Astakhova E.S. Architectural Organization of Ecological Tourist Complexes (The South Russia Case Studies)	113
Kutukov A.A., Romanova L.S., Kolokol'tseva E.N. Stone Staircase Design in Historical Buildings in Tomsk Late in 19th And Early 20th Centuries	127

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Prodous O.A., Shlychkov D.I., Shestakov A.A., Chelonenko A.G. Towards Regulations of Decommissioning Exhausted Water and Sewer Pipelines with Residues.....	151
--	-----

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Pipiia V.T. Innovative Materials in Architecture and Construction: Magnesite Panels.....	163
---	-----

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

Aleksikov S.V., Kandalov A.A. Methods of Diversion Road Improvement of Overpasses Under Repair	173
Kartopol'tsev A.V. Towards Durability of Redundant Composite Beams.....	183
Gerasimov S.I., Tikhomirov V.M., Popov A.M. Fatigue Strength Analysis of Rail Fastening Baseplate	198
Efimenko S.V., Efimenko V.N., Badina M.V., Bashirova I.A. Taxon Boundaries Unifying Homogeneous Territories by Geocomplex Features in Climatic Zonation	212
Alekseev A.A. Toward Limited Durability of Load-Bearing Beams of Metal Bridge Spans	225

WE HONOR OUR JUBILARIANS

Lyakhovich Leonid Semenovich	236
------------------------------------	-----

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 9–33.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 9–33.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 72.036

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-9-33

EDN: DVPCYU

КУЛЬТОВЫЕ ЗДАНИЯ ЛЕ КОРБЮЗЬЕ. КАПЕЛЛА НОТР-ДАМ-ДЮ-О В РОНШАНЕ (1950–1955)

Евгений Николаевич Поляков, Ольга Павловна Полякова

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

Аннотация. Настоящая статья посвящена капелле Нотр-Дам-дю-О – первому культовому зданию, спроектированному Шарлем-Эдуардом Жаннере-Гри (Ле Корбюзье) в рамках бионических традиций модернизма. При ее создании архитектор выразил стремление создать пространство, способствующее тишине, молитве, покою и внутренней радости.

В ходе исследования проанализированы ключевые архитектурно-дизайнерские концепции, заложенные Жаннере-Гри в ситуационный план, планировочную схему, фасадные решения, архитектурные детали и интерьер данного уникального здания. Особое внимание уделялось бионическим элементам, вдохновленным природными формами и процессами, что стало отличительной чертой модернистской архитектуры Ле Корбюзье.

Анализ позволил выявить взаимосвязь между архитектурными решениями и философскими взглядами Жаннере-Гри, а также оценить их влияние на формирование модернистской парадигмы в культовом зодчестве. Результаты исследования способствуют более глубокому пониманию вклада Ле Корбюзье в развитие современной архитектуры и его стремления к созданию гармоничного и функционально насыщенного пространства.

Ключевые слова: Франция, коммуна Роншан, Бельфор, Ш.-Э. Жаннере-Гри (Ле Корбюзье), капелла Нотр-Дам-дю-О, ситуационная схема, генеральный план, план, «пластичные» фасады, конструктивные решения, система естественного освещения

Для цитирования: Поляков Е.Н., Полякова О.П. Культовые здания Ле Корбюзье. Капелла Нотр-Дам-дю-О в Роншане (1950–1955) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 9–33. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-9-33. EDN: DVPCYU

ORIGINAL ARTICLE

ICONIC BUILDINGS OF LE CORBUSIER. CHAPEL OF NOTRE-DAME DU HAUT IN RONCHAMP (1950–1955)**Evgenii N. Polyakov, Ol'ga P. Polyakova***Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*

Abstract. This article is devoted to the Chapel of Notre Dame du Haut, the first iconic building designed by Charles-Edouard Jeanneret-Gris (Le Corbusier) within the bionic traditions of modernism. When creating it, the architect expressed his desire to create a space conducive to silence, prayer, peace and inner joy.

The study analyzes the key architectural and design concepts embedded by Jeanneret-Gris in the situational plan, planning scheme, facade solutions, architectural details and interior of this unique building. Special attention was paid to bionic elements inspired by natural forms and processes, which became a distinctive feature of Le Corbusier's modernist architecture.

The analysis made it possible to identify the relationship between architectural solutions and the philosophical views of Jeanneret-Gris, as well as to assess their influence on the formation of the modernist paradigm in cult architecture. The results of the study contribute to a deeper understanding of Le Corbusier's contribution to the development of modern architecture and his desire to create a harmonious and functionally saturated space.

Keywords: France, Ronchamp, Belfort, Jeanneret-Gris (Le Corbusier), Notre-Dame du Haut, layout schematic, master plan, soft facade, design solution, daylight system

For citation: Polyakov E.N., Polyakova O.P. Iconic Buildings of Le Corbusier. Chapel of Notre-Dame Du Haut in Ronchamp. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 9–33. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-9-33. EDN: DVPCYU

Капелла Нотр-Дам-дю-О возведена на территории коммуны Роншан, в 19 км к западу от г. Бельфора (восточная часть региона Бургундия, Франция). Здесь сходятся предгорья двух горных хребтов – Вогезы и Юра («Бургундские Ворота») (рис. 1).



Рис. 1. Горные хребты Вогезы (слева) и Юра (справа). Видовые точки¹

Fig. 1. Vosges (left) and Jura (right) Mountains

Характерной особенностью пейзажа, открывающегося при подъезде к этому храму, являются вертикали башен старинных замков, венчающих невысокие

¹ URL: https://apps.tourisme-alsace.info/photos/essais/photos/40100003_1.jpg; <https://i.ytimg.com/vi/ndsBhRYJGNY/maxresdefault.jpg>

вершины горных отрогов. Посетители подходят к капелле с юга, и их взорам открывается необычное здание: «Коричневая крыша в виде тента со вздутыми ветром краями, наклонные, искривленные в плане стены, острый угол у стыка южной и восточной стен, различные по величине оконные проемы, разбросанные по фасаду...» [1]. Три закругленных вверху белых полуцилиндра, органично вписанные в композицию капеллы, визуалью переключаются с башнями средневековых замков. Небольшая дверь в южной стене, выполненная по эскизам Ле Корбюзье, украшена цветной эмалью. Она доступна лишь пилигримам. Паломник может войти в капеллу только через дверь северной стены, расположенную между двумя световыми башнями. Огибая западный фасад, посетитель видит, что все три башни, казавшиеся ему издали цилиндрическими, разрезаны пополам по вертикальной оси (рис. 2).



Рис. 2. Капелла Нотр-Дам-дю-О. Видовая точка южного фасада²
Fig. 2. Southern facade of Notre-Dame du Haut

Церковь стоит на вершине холма Бурлемон, ее паломникам полностью открыты все стороны горизонта. «Дословный перевод названия капеллы “Notre Dame du Haut” звучит как “Дева Мария на высотах”, что подчеркивает расположение здания на вершине холма...» [2].

Традиция размещения культовых зданий на возвышениях была присуща многим древним храмам и святилищам, в которых вершилось поклонение богам Солнца. Археологами установлено, что языческий «солнечный» храм функционировал на этом месте еще в годы правления древнеримского императора Константина I Великого (IV в. н. э.). В XIII в. на этом же месте была возведена христианская часовня, сгоревшая от удара молнии в 1913 г. Ее восстановленная версия (рис. 3) была разрушена в 1944 г. в результате налета немецкой авиации.

² URL: <https://www.camping-valdebonnal.com/cache/images/product/ronchamp-la-chapelle-notre--466.jpg>

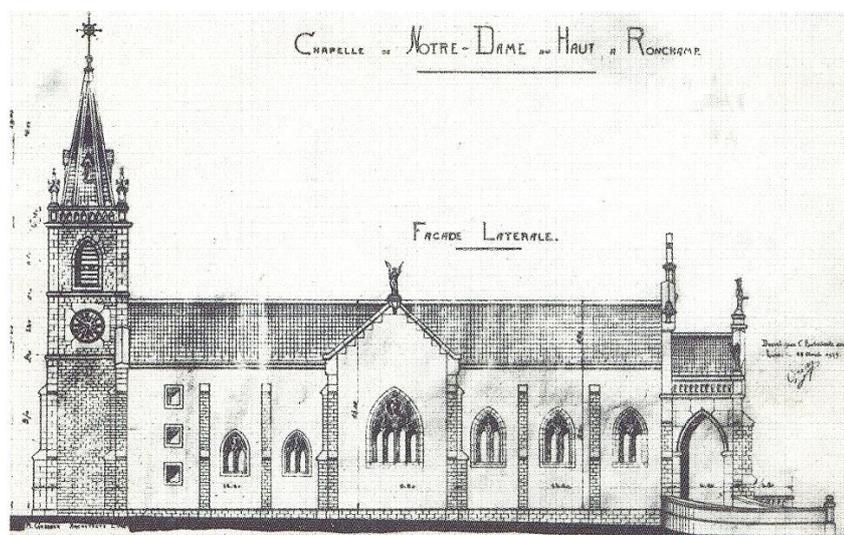


Рис. 3. Христианская часовня – предшественница постройки Корбюзье³
 Fig. 3. Christian chapel, predecessor of the Corbusier building

По окончании Второй мировой войны эту часовню было решено возродить. Предварительные расчеты показали, что дешевле будет построить новое здание, чем восстанавливать прежнее: «Идея возведения часовни принадлежит доминиканскому монаху, отцу Мари-Ален Кутюрье, ученику “Мастерских религиозного искусства” Мориса Дени...» [2]. «Два уроженца этих мест, входившие в комиссию, решили поручить строительство новой церкви самому знаменитому французскому архитектору того времени – Ле Корбюзье...» [3].

Священники натолкнулись на неожиданный отказ. Хотя зодчий был воспитан в протестантской семье, истинно религиозным человеком он никогда не был. Католическую церковь Шарль-Эдуард считал «мертвым институтом» и сотрудничать с нею не желал. Тем более что его творческая деятельность в то время в основном была связана с жилыми постройками. Перед Второй мировой войной он проектировал частные особняки (виллы) и поселки-«коммуны», а в послевоенный период – многоэтажные социальные жилые комплексы. Однако заказчики не отступили. У них уже был опыт сотрудничества с такими «нестандартными» мастерами, как Пьер Боннар, Марк Шагал, Фернан Леже и Анри Матисс. Они считали, что профессиональный талант художника гораздо важнее его религиозного благочестия. Кроме того, «после Второй мировой войны церковь захотела создать чистое пространство, лишённое, в отличие от своих предшественников, экстравагантных деталей и богато украшенных религиозных фигур...» [4].

Они уговорили Ле Корбюзье посетить Роншан, осмотреть строительный участок и пообещали предоставить ему полную свободу творчества: «Сопrotивляться такому предложению было невозможно, да и место оказалось довольно привлекательным. Архитектор согласился и в 1950 г. приступил к работе, продолжавшейся пять лет...» [3].

³ URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Riss_der_Notre_Dame_du_Haut_\(1922\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Riss_der_Notre_Dame_du_Haut_(1922).jpg)

Посетив Роншан и основательно изучив руины часовни, Ле Корбюзье приступил к проектированию «храма на высоте». Существует множество версий о вероятных источниках вдохновения французского мастера. Приведем лишь некоторые из них.

«Ле Корбюзье построил ее, полный впечатлений от афинского Парфенона, виллы Адриана в Тиволи, Большой мечети в Алжире и церкви Богоявления с Запсковья в России... От каждого ранее впечатлившего его воображение объекта Ле Корбюзье взял самое важное, самое восхитительное. По мнению французских искусствоведов, изучавших жизнь и деятельность архитектора, главным ориентиром его воображения при строительстве капеллы Нотр-Дам-дю-О стал афинский храм Парфенон, который он посетил в 1911 г. А вот псковскую церковь Богоявления архитектор смог увидеть уже во время своего пребывания в Советском Союзе... Элементы псковского храма, действительно, читаются в творении француза и когда просто видишь капеллу на холме, и когдаходишь в нее и начинаешь знакомиться с постройкой изнутри...» [5] (рис. 4).

Интересную версию на эту тему высказал академик И.Г. Лежава: «Это оружие удивительно что-то напоминает. Не остроумные семиотические интерпретации Дженкса, и даже не аналогии с псковскими церквями, на которых настаивает А. Меерсон, а что-то совсем иное... В архитектуре Роншана есть что-то от первобытных дольменов, которые поражают самым чудом своего существования где-то на грани между делом человеческих рук и волшебством природы. Их много в Бретани. Вертикально стоящие огромные камни, перекрытые гигантскими плитами. Иногда круглый вход. Верхний камень лежит неровно – один край выше другого... Дольмен чаще всего связывают с гробницей. Но некоторые, наиболее крупные, служили жилищем или капищем. Дольмен волнует, поскольку это – исток монументальной архитектуры. Он вне моды... вне времени. Он – древнейший акт человеческой воли. Очень подходящий образец для “вечного” творения амбициознейшего зодчего двадцатого века...» [6] (рис. 5).

Рассмотрим загадочные особенности ситуационной схемы часовни Нотр-Дам-дю-О.

Как известно, традиция вознесения языческих святилищ на вершины гор и холмов зародилась еще в первобытную эпоху. Подъем наверх реально приближал паломников к небожителям, в какой-то мере отрешая их от земных забот и проблем. В небесных пейзажах, составленных из перистых, слоистых и кучевых облаков, они видели причудливые силуэты гор, морей и лесов, дворцов и городов, облики антропоморфных и зооморфных божеств. Их «божественные послания» материализовались в громовых раскатах, ураганах (торнадо), молниях и ливнях. Эта традиция получила дальнейшее развитие во многих древневосточных и античных культовых комплексах. Верующие поднимались вверх по каменным лестницам или по более пологим извилистым пандусам. Аналогичная лестница была устроена и на южном склоне холма Бурлемон: «В результате использования этого места был создан архитектурный ансамбль, имеющий много общего с Акрополем – начиная с подъема у подножия холма и заканчивая архитектурными и ландшафтными мероприятиями по пути, прежде чем, наконец, завершиться у самой Святыни – часовни. Вы не сможете увидеть здание, пока не достигнете вершины холма...» [8].



Рис. 4. Вероятные прообразы капеллы в Роншане:

a – Афинский акрополь, Парфенон (447–434 гг. до н. э.)⁴; *б* – вилла Адриана в Тибуре (Тиволи, 118–134 гг.)⁵; *в* – Большая мечеть в районе Касба (Алжир, 1097 г.)⁶; *г* – церковь Богоявления с Запсковья (Россия, кон. XV – нач. XVI в.)⁷

Fig. 4. Possible prototypes of the chapel in Ronchamp:

a – Acropolis of Athens, the Parthenon (447–434 BC); *b* – Hadrian's Villa in Tibur (Tivoli, 118–134); *c* – Grand Mosque in the Kasbah area (Algeria, 1097); *d* – Church of the Epiphany from the Pskov region (Russia, late 15th and early 16th centuries)



Рис. 5. Дольмен на берегу р. Пшады (Краснодарский край)⁸

Fig. 5. Dolmen on the bank of the Pshada River (Krasnodar Krai)

⁴ URL: <https://cvam.ru/wp-content/uploads/2023/10/akropol-afiny-gretsia-4.webp>

⁵ URL: https://www.grandigiardini.it/_giardini/271_1-7_4-01_villaadrianagrandigiardiniitaliani.jpg

⁶ URL: <https://dynamic-media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-o/0a/35/f4/c6/jamaa-jdid-yas-hasra.jpg?w=1200&h=1200&s=1>

⁷ URL: https://avatars.mds.yandex.net/i?id=ac41e8c9db00efef9a9632f51fdb693d_1-5342217-images-thumbs&ref=rim&n=13&w=1200&h=804

⁸ URL: https://avatars.mds.Yan-dex.net/i?id=a38c9fdbcb869a77744f8778fc31aff7c_1-5179158-images-thumbs&ref=rim&n=13&w=1024&h=768

Как известно, разрушенная часовня Святой Девы Марии на этом холме изначально имела облик базиликального «корабля», «плывущего» на восток, навстречу восходящему солнцу. Шарль-Эдуард превратил ее в белый «корабль-ковчег» на вершине зеленого холма в окружении синего неба. С вершины холма на все стороны горизонта открываются великолепные пейзажи: «Истинное чудо “зрительной акустики”! Формы как бы излучают звуки или тишину; одни говорят, другие слушают...» [7]. Эстетические качества местной природы вдохновили автора капеллы. Будучи убежденным сторонником «органичности» в архитектуре, он считал местность исходной базой для любых зданий и умело включал их в природный пейзаж: «Ле Корбюзье также почувствовал священную связь со своим окружением – горами Юра вдалеке и самим холмом, доминирующим в пейзаже...» [8]. Поэтому он заявил в 1950 г.: «Здесь мы построим памятник, посвященный природе, и сделаем это целью нашей жизни...» [8]. Позднее зодчий постарался сделать все возможное, чтобы его капелла стала «прозрачной» со всех сторон. Паломники, находящиеся внутри, могли видеть проявления воли Вездесущего Бога в любой точке небесного свода и земного горизонта. Да и сама часовня стала составной частью и визуальным центром природного пейзажа: «Если смотреть с поля под Роншаном, то формально часовню определяют изогнутые стены и крыша. Кажется, что она растет прямо из самого холма, поскольку изгиб крыши, кажется, отражает изгиб, на котором стоит часовня. Однако... изогнутые стены и крыша больше не определяют чистую суть проекта. Свет – это то, что определяет часовню и придает ей смысл...» [4].

«Внутри церкви царит пещерный полумрак. Неровный пол повторяет поверхность холма; слегка провисающий потолок напоминает свод пещеры. Ощущение пещеры усиливается, когда обращаешь внимание на исповедальни: они словно вырублены в скале. Свет проходит внутрь через окна-отверстия. Они немного напоминают бойницы, но это усиливает ощущение защищенности...» [9].

«Все в этом небольшом здании спроектировано так, чтобы подчеркнуть его религиозные аспекты. Совершенно белые стены позволяют свету преломляться, когда он проникает в часовню, придавая церкви почти неземное сияние. Пространство не такое квадратное, как у других зданий Корбюзье, но вместо этого подчеркивает его религиозное назначение, поднимаясь к небесам, как красивая скульптура...» [10].

Если вспомнить о негативном отношении атеиста Ле Корбюзье к католической церкви, то капелла предстает его мечтой о «божьем доме» – простом и уютном убежище: «Никакой лишней символики, даже креста в плане нет, все максимально просто: ты, алтарь и Богородица. Получилась церковь, развернутая изнутри в мир, и когда число паломников велико, то богослужения действительно проводятся на открытом воздухе. И всё здание целиком становится своеобразным алтарем...» [3].

Интересна еще одна из композиционных новаций французского зодчего, органично связавшая интерьер церкви с внешним пространством: «Алтарь расположен у восточной стены не только внутри, но и снаружи... Статуя (Девы Марии) в окне прекрасно видна и изнутри, и извне. В сиянии божественного света она стоит в сквозной нише (квадратном окне) алтарной стены, оттого окружена солнечным ореолом, который царящий в помещении полумрак делает особенно ярким...» [3] (рис. 6).

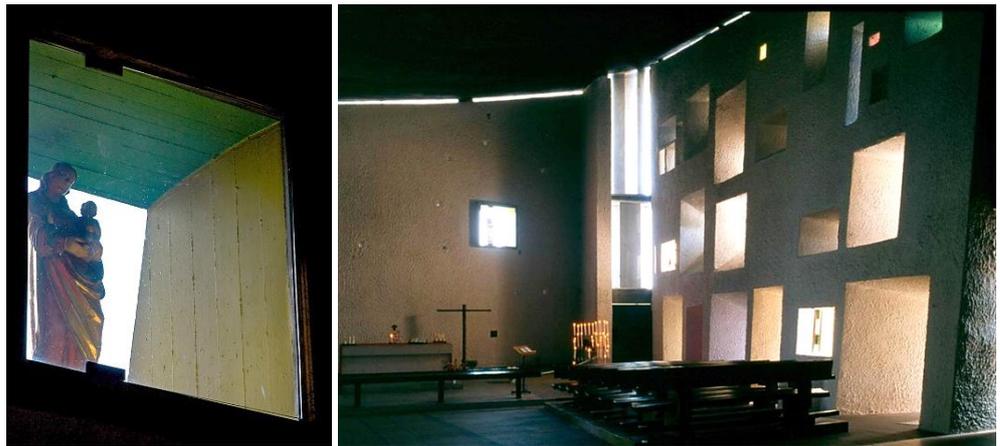


Рис. 6. Статуя Девы Марии в квадратном окне на алтарной стене капеллы (слева) [3]; фрагмент алтарной стены капеллы, в которой размещена статуя (справа)⁹
Fig. 6. Statue of the Virgin Mary in square window on the altar wall of the chapel (left) [3]; fragment of the altar wall of the chapel, which houses the statue (right)

«Усиливая связь с окружающим пространством, архитектор расширяет небольшой объем капеллы, оборудуя дополнительный алтарь с внешней стороны сооружения. В средние века святой римско-католической церкви Франциск Ассизский (118–1226 гг.) часто проповедовал под открытым небом. Бог повсюду и вне стен храма... Можно молиться среди деревьев и птиц...» [11].

Оценим довольно необычную функционально-планировочную схему данной капеллы. В очертаниях ее несущих стен и перегородок нет прямых линий и углов, которые доминировали в проектах жилых зданий Ле Корбюзье: «Архитектор отказывается от “поэзии прямого угла”, потому что она слишком определена, чересчур однозначна. Она хороша для здания, где занимаются практической работой, а не отвлеченными философскими размышлениями. Архитектура геометрических форм, как и человек, в ней находящийся, утверждает себя противопоставлением природному окружению. Капелла в Роншане, наоборот, способствует ощущению единства мироздания, ощущению того, что человек – это часть природы. И с этой точки зрения ее архитектура не противоречит тому, что было создано Корбюзье раньше, а дополняет его...» [7].

«Здание раскрывается в природу плавно, с той мягкостью, которая придает ему естественность живого организма. Помещение церкви расширяется по направлению к востоку. Это движение подхвачено и усилено пластикой криволинейной в плане южной стены, которая в своем начале, в западной части, имеет значительную толщину и постепенно суживается, как бы сходит на нет благодаря завершающему ее острию среза. Стена выходит за границы восточного фасада и отклоняется в сторону, раздвигая пределы церкви так, что весь пологий склон холма перед восточной стеной с алтарем под нависающей крышей... включается в архитектуру здания...» [7] (рис. 7).

⁹ URL: http://corbusier.totalarch.com/chapelle_ronchamp

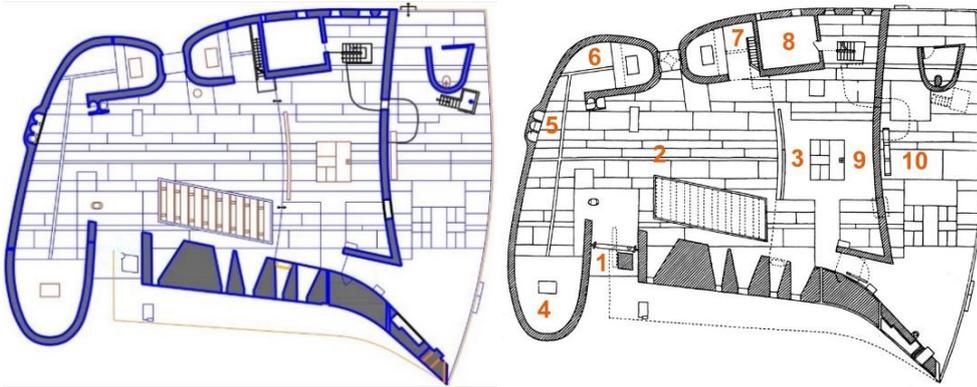


Рис. 7. План капеллы Нотр-Дам-дю-О в Роншане¹⁰
 Fig. 7. Layout of the Chapel of Notre Dame du Haut in Ronchamp

Имеется еще одно объяснение данной особенности проекта. Криволинейные стены, произвольно меняющие свое сечение, превратили католическую капеллу в своеобразный «бионический рупор», обращенный своим «раструбом» на восток: «Храм очень невелик – внутри он вмещает около 50 человек. Однако он может обслужить 10–12 тыс. молящихся...» [1]. «Это совсем небольшая часовня, которая вмещает немного людей – верующих местных жителей самого Роншана. Но, зная о многолюдных праздничных паломничествах в этих местах, Ле Корбюзье придумал уникальный элемент – алтарь под открытым небом, расположенный под выступающей волной крыши с восточной стороны здания. В праздники здесь собираются сотни верующих, которые располагаются просто в поле, и службы проходят на улице...» [11] (рис. 8).

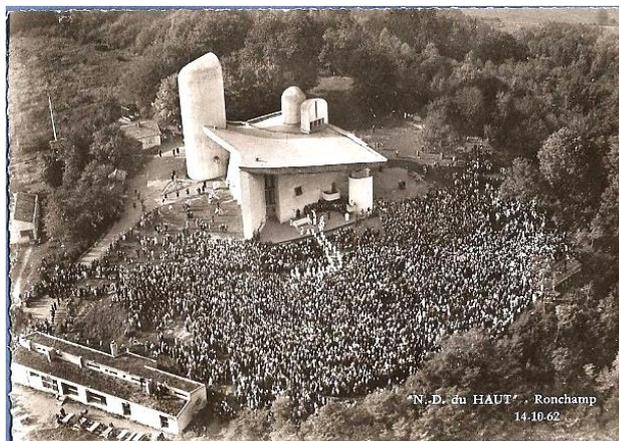


Рис. 8. Внешний алтарь («бионический рупор») капеллы в Роншане. Фотография 1962 г. [1]
 Fig. 8. External altar ("bionic mouthpiece") of the chapel in Ronchamp, 1962 [1]

¹⁰ URL: <https://i0.wp.com/archeyes.com/wp-content/uploads/2021/05/Le-Corbusier-Floor-plan-Drawing-of-Ronchamp-chapelle-notre-dame-du-haut.jpg?ssl=1>; <https://i.pinimg.com/originals/4d/51/75/4d5175c7396fb5fe8476b37300f80f40.png>

В то же время в конструктивном решении данного культового здания явно прослеживаются элементы «Дома-Ино», ставшего концептуальным ядром всех довоенных жилых построек Шарля-Эдуарда. Именно эта модель, включающая тонкие вертикальные колонны, плоские кровли и междуэтажные перекрытия, связанные между собой лестницами, позднее легла в основу пяти «основных принципов современной архитектуры» Ле Корбюзье (рис. 9).



Рис. 9. Принципиальная модель «Дома-Ино» Ле Корбюзье, 1914 г.¹¹
Fig. 9. The model of the House-Eno by Le Corbusier, 1914

В проекте капеллы он постарался сохранить эту конструктивную модель, заменив регулярную сетку несущих конструкций криволинейной («природной»), которая, по его мнению, более подходила для культовых зданий (рис. 10).

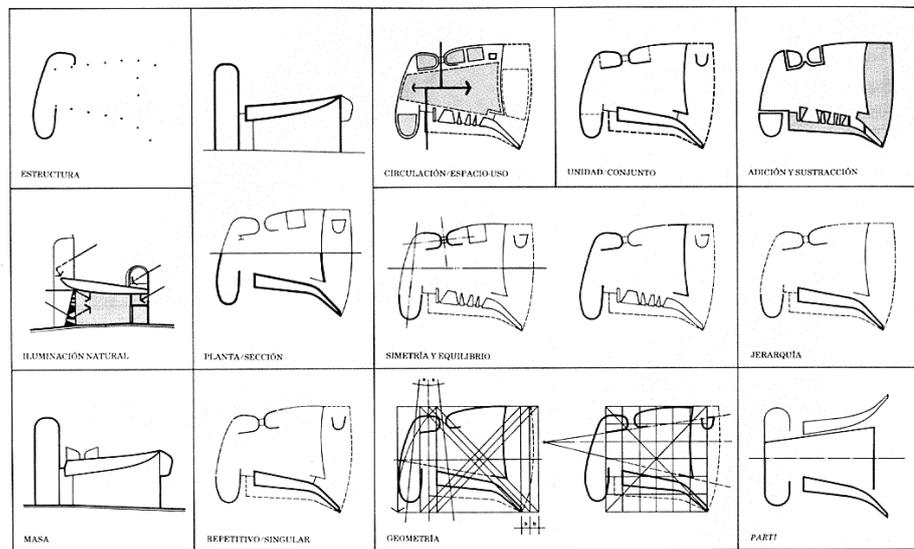


Рис. 10. Формирование конструктивной схемы капеллы Нотр-Дам-дю-О в Роншане¹²
Fig. 10. Layout schematic of the Chapel of Notre-Dame du Haut in Ronchamp

¹¹ URL: <https://cdn.archilovers.com/projects/fec3c57f-c4f7-4290-8b00-fbc6cb2a048c.jpg>

¹² URL: <https://i.pinimg.com/originals/7c/de/cd/7cdec2fd85a4d37f87018727d7a95e8.jpg>

В этой схеме криволинейная кровля, напоминающая раковину моллюска, опирается на два «веера» из 14 железобетонных колонн круглого сечения. Еще две колонны встроены в алтарную стену восточного фасада. С целью уменьшения распора все колонны вставлены между двумя железобетонными оболочками несущих стен северного и южного фасадов. Эти две стены выполняют функции готических контрфорсов (рис. 11).

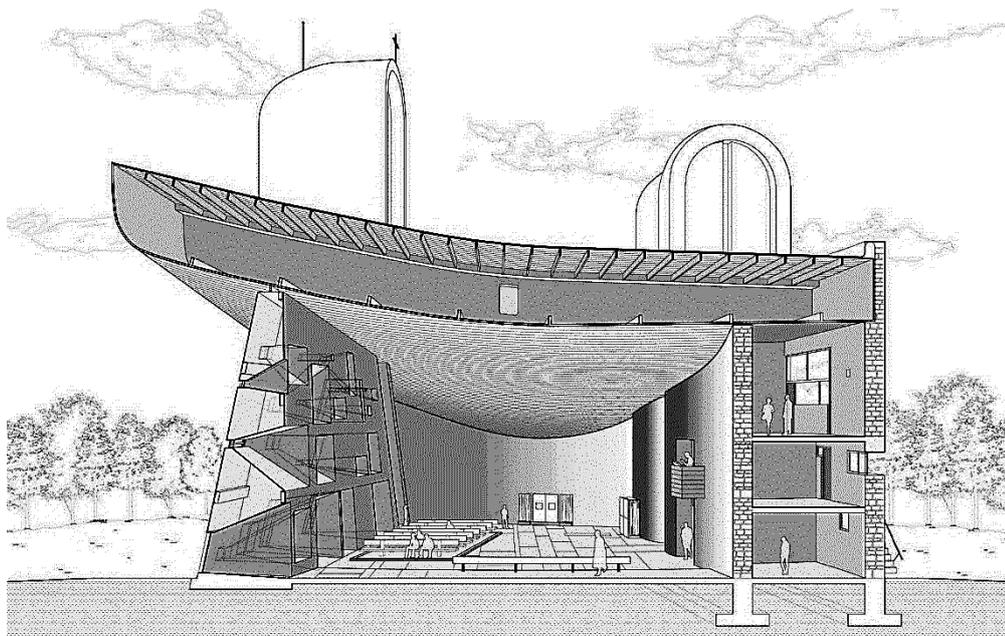


Рис. 11. Версия поперечного разреза капеллы в Роншане¹³
Fig. 11. Version of the cross section of the chapel in Ronchamp

«Изящная криволинейная кровля опирается на встроенные в стены колонны, похожие на парус, колышущийся в ветреных потоках на вершине холма... Эти стены, не имеющие контрфорсов, в плане повторяют криволинейные формы, рассчитанные на обеспечение устойчивости этой грубой каменной кладки из бетона, покрытого “ганитом”, и которые, кроме того, подпирают стены из старого вогезского камня, оставшегося от бывшей часовни, разрушенной взрывами... Оболочка была нанесена на стены, которые абсурдно, но практически толстые. Однако внутри них находятся железобетонные колонны. Оболочка будет опираться на эти колонны, но не будет касаться стены... Крышу поддерживают лишь маленькие отрезки круглых стержней. Впечатление тента, которое создает крыша снаружи, этим приемом сохранено и внутри. Корбюзье хотел придать кровле символический смысл, напоминающий о древнейшем типе молельни...» [8]. «Самая поразительная часть Роншана – это изогнутая крыша, устремляющаяся к небесам. Кажется, что она “парит” над зданием, поскольку ее поддерживают встроенные в стены колонны, что создает 10-санти-

¹³ URL: <https://i.pining.com/originals/6b/e9/da/6be9dae1278cceb60a6234b5e6047af.jpg>

метровый зазор между крышей и стенами, который пропускает немного дневного света...» [4].

Криволинейная кровля состоит из двух железобетонных мембран, каждая из которых имеет толщину 6 см. Мембраны отстоят друг от друга на 2,26 м (6 футов 11 дюймов). «Относительно легкая и прочная оболочка плюс семь поперечных стен, прикрепленных к столбам, прочно удерживают их вместе... Целая сеть из балок пересекают эту оболочку...» [5]. «Известно, что Ле Корбюзье “моделировал” будущую постройку из песка на пляже. Простая раковина подсказала ему криволинейную форму крыши часовни. Свойство моллюска приоткрывать свою створку объективировалось в размыкании горизонтального угла покрытия и стены светом... Но в ней (также) видят разные символы и образы: нос корабля, парус, капюшон монаха, перевернутый зонт. Прототипы такого архитектурного хода отыскивают в древних сакральных постройках и гробницах... Ле Корбюзье удалось создать сооружение, по монументальности и мощности форм соперничающее с загадочными каменными сооружениями прошлого...» [11].

Строительные работы начались в 1953 г.: «Проходили они в довольно сложных условиях – бетон смешивали в одном месте и ведрами доставляли в точку заливки. Учитывая мощь и высоту бетонных стен, можно понять, насколько это был тяжёлый, изнурительный и длительный этап работы. Не было водоема, водопровод был разрушен – воду собирали дождевую. Кроме бетона использовали самые простые и недорогие материалы, в том числе камни от разрушенной старой часовни. Но Ле Корбюзье... всегда считал, что “великое искусство живет на скудные средства”. И в эту его уверенность горячо верили те, кто исполняли замыслы мастера и строили невиданную доселе церковь. Работами на участке руководил молодой архитектор Андре Мезонье, бригадиром рабочих был Франсуа Бона, ему всего 23 года. Среди небольшой команды каменщиков – тоже в основном молодые люди...» [5].

«Пол часовни повторяет естественный склон холма, спускающийся к алтарю. Некоторые части, на которых покоятся внутренний и внешний алтари, сделаны из красивого белого камня из Бургундии, как и сами алтари. Башни построены из каменной кладки и увенчаны цементными куполами. Вертикальные элементы часовни облицованы раствором, нанесенным с помощью цементного пистолета, а затем побелены – как внутри, так и снаружи. Бетонная оболочка крыши остается неровной, как после опалубки. Водонепроницаемость сборного покрытия достигается за счет внешней облицовки алюминием. Внутренние стены белые; потолок серый; скамья из африканского дерева, созданная Savina; скамья для причастия из чугуна, изготовленного литейными заводами Lure...» [8].

Необычные планировочная и конструктивная схемы капеллы позволили придать ее фасадам и украшающим их декоративным элементам уникальную пластику.

«Насколько нам известно, Ле Корбюзье был далек от религии и ее догматы были чужды его трезвому и пытливому уму. В проекте церкви, как, впрочем, и в монастыре Ля Туретт, он обращается не к архитектурной мистике (так порой оценивают эти произведения), а к всеобщим, выведенным у природы принципам, способным затронуть душу человека гармонией сложных ощущение»

ний. Ведь если всерьез говорить о мистике, то ее куда больше в чудесно парящих над землей благодаря тонким опорам зданиях... Море, океан, особая морская культура занимает большую часть в воображении мастера. Он черпает вдохновение именно в таких морских поездках, в путешествиях по побережью морей и океанов в разных странах. И сама форма капеллы Нотр-Дам-дю-О отчасти напоминает огромную лодку, и впечатанные в бетон следы дощатой опалубки этот эффект поддерживают...» [5].

Авторы многих публикаций на эту тематику отмечают гармоничное равновесие между всеми фасадами этого здания и природным ландшафтом, именую его «зримой акустикой»: «Пространственные взаимоотношения между зданием и его средой здесь коренным образом отличаются и от пассивного слияния постройки с ландшафтом, когда формы здания как бы продолжают рельеф местности и вырастают из него, и от резкого противопоставления архитектурного сооружения окружающей его среде... В Роншане Ле Корбюзье уже не спорит с природой, а творит вместе с ней. Посмотрите на его эскизы: он действительно искал место, где “соединены все условия, чтобы была произнесена речь...” Он действительно стремился к “зримой акустике”, к созданию индивидуального и неповторимого ощущения...» [7] (рис. 12).

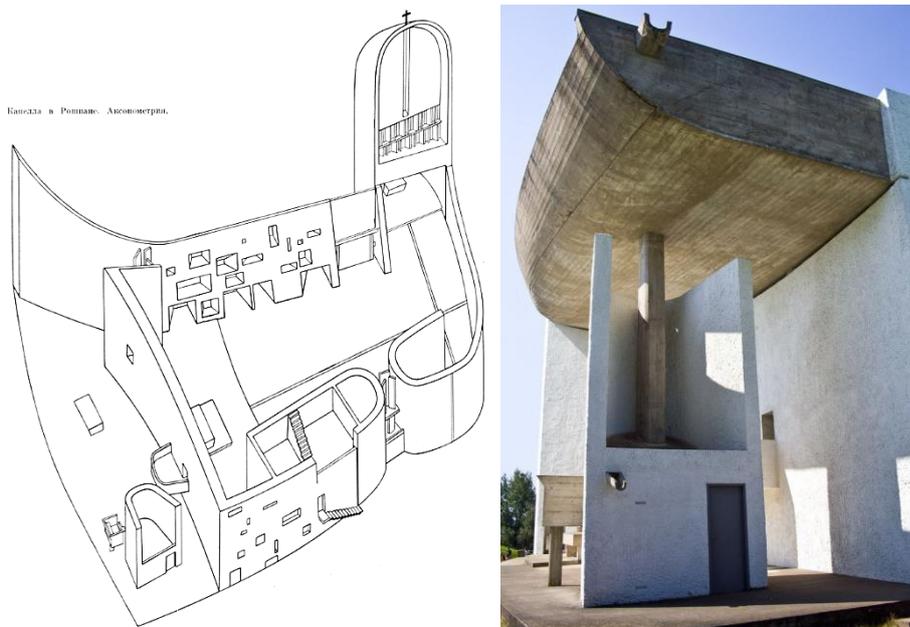


Рис. 12. Аксонометрическое изображение интерьера капеллы (слева)¹⁴; ее внешний алтарь (справа)¹⁵

Fig. 12. Axonometric image of the chapel interior (left); external altar (right)

Рассмотрим функциональные особенности каждого из четырех фасадов этой капеллы. Начнем с восточного фасада, о котором И.Г. Лежава написал сле-

¹⁴ URL: <https://i1.wp.com/corbusier.totalarch.com/files/lc20/215.jpg>

¹⁵ URL: <https://i.pining.com/originals/12/90/2f/12902f4c8b82295f5d8507583a50e215.jpg>

дующее: «Сооружение обладает удивительными пластическими изысками. Но, пожалуй, самое интересное, что мне показалось в этом объекте, – наличие внешнего алтаря. Такая простая вещь, а трудно припомнить аналог. Есть фасадные фрески в южнославянских церквях. Есть временные сооружения для массовых молитв, когда паперть становится алтарем. Но наличие в церкви специально созданного внешнего алтаря, кафедры и аналоя – новость. Внешний алтарь довольно прост, но при определенном освещении он удивительным образом приобретает вид фрагмента картин Ле Корбюзье, с четко прописанными фигурами грубо измятых форм...» [6].

«Созданная Ле Корбюзье капелла совершенно не похожа на традиционные католические церкви. Никакого креста в плане, никакой избыточной символики. Расположенный у восточной стены алтарь фактически открыт внешнему пространству. Получилась церковь, не только сохраняющая внутреннюю тишину и камерность, необходимую для диалога со Всевышним, но и обращенная во внешний мир. Кстати, нередко богослужения здесь проводят на открытом воздухе...» [9]. «Стены служат не только структурными и скульптурными элементами; они также служат акустическими усилителями, особенно в случае восточной внешней стены, которая отражает звук от алтаря на открытом воздухе...» [4].

«Стены толщиной 4–12 футов... усиливают акустику внутри и снаружи церкви. Священника, говорящего у внешнего алтаря, слышно в поле за его пределами. Крыша, выполненная в виде крыла самолета, кажется, парит над поддерживающими ее колоннами, что позволяет небесного вида свету струиться через пространство крыши, изгибаясь к небу...» [10] (рис. 13).



Рис. 13. Восточный фасад капеллы с внешним алтарем. Видовые точки¹⁶

Fig. 13. Eastern facade of the chapel with external altar

«Говорят, что форму криволинейной крыши с характерными закручивающимися краями для церкви Ле Корбюзье подсказала раковина моллюска, найденная им на берегу Лонг-Айленда. Он увидел в ней не только красивые контурные линии, но и символ защищенности, который хорошо соответствовал главной идее института Церкви. Хотя крыша Нотр-Дам-дю-О, как и все здание,

¹⁶ URL: https://i0.wp.com/eroskosmos.org/wp-content/uploads/2019/10/00_Notre_Dame_du_Hautws.jpg?fit=1400%2C856&ssl=1; <https://i.pinimg.com/originals/8b/5a/9c/8b5a9cb42b6b81a9481202fcf981e164.jpg>

сделана из бетона, кажется, что она сплетена из жгутов соломы. Другим людям крыша этой церкви напоминает шляпу монашки. Третьи видят в ней явную перекличку с плавными линиями куполов древнерусских храмов. Последняя ассоциация не случайна... Во время своего визита в СССР Корбюзье специально посещал Псков...» [9].

«Южная стена вызывает удивление... Ле Корбюзье потратил месяцы, пытаясь усовершенствовать внешнюю стену... которая начинается как точка на восточном конце и расширяется до 10 футов в ширину на западной стороне. Двигаясь с востока на запад, она изгибается к югу... После этого масштабного проекта Ле Корбюзье решил не делать южную перегородку несущей стеной. Вместо этого крышу здания поддерживают бетонные колонны, благодаря которым кажется, что она парит над остальным пространством. Создаваемый эффект позволяет полосе света проникать в здание, тем самым еще больше освещая пространство и придавая церкви ощущение большей открытости... В качестве последнего символического шага Ле Корбюзье засыпал внутреннюю часть стены обломками предыдущей часовни, которая стояла на этом месте...» [8].

Южную сторону капеллы замыкает «волнорез», рассекающий пополам крышу. Он отделяет живописную картину восточной стены от лаконичной плоскости южного фасада. Южный фасад «работает» контрастами. Высокая световая башня слева от входа; темная тяжелая крыша и потрясающая белая стена, покрытая сетью мелких окон. На южном фасаде ритмизированные системой «Модульор» окна создают удивительное ощущение мельчайшей его детализации (рис. 14).



Рис. 14. Эмалевые двери капеллы Нотр-Дам-дю-О¹⁷
Fig. 14. Enamel doors of the Chapel of Notre-Dame du Haut

Между стеной и световой башней в нише находится вход в капеллу для ее служителей (паломников). Это единственная цветная деталь фасада. Абстрактная желто-синя-красная картина Шарля-Эдуарда, возможно, символизирует божественное происхождение системы «Модульор» (рис. 15).

¹⁷ URL: <https://set-travel.com/ru/europe/497-notr-dam-dyu-o-shedevr-modernizma-iz-betona>; https://mir-puteshestvij.mediasole.ru/cerkov_notrdamdyuo__mir_puteshestviy



Рис. 15. Эмалевые двери капеллы Нотр-Дам-дю-О (слева); мастерская Ле Корбюзье, Париж, 1955 г. (справа)¹⁸

Fig. 15. Enamel doors of the Chapel of Notre-Dame du Haut (left); Le Corbusier workshop, Paris, 1955 (right)

Северная сторона включает четыре части. Слева – открытый алтарь, над которым нависает фрагмент темной крыши. Далее идет стена с «модульными» окнами, похожая на южный фасад. Эту часть фасада пересекает железная лестница, похожая на аварийный выход из киноаппаратной комнаты сельского клуба. Далее две полубашни, фланкирующие вход в капеллу для паломников, и закругленная стена, уходящая на западный фасад (рис. 16).



Рис. 16. Северный фасад капеллы в Роншане. Видовая точка¹⁹

Fig. 16. Northern facade of the chapel in Ronchamp

¹⁸ URL: [https://de-academic.com/pictures/dewiki/78/Notre_Dame_du_Haut_Hauptportal\(ws\).jpg](https://de-academic.com/pictures/dewiki/78/Notre_Dame_du_Haut_Hauptportal(ws).jpg)

¹⁹ URL: <https://i.pinimg.com/originals/22/43/dc/2243dcee98d4b0a30d670b3ba77f5af.jpg>

Западная сторона капеллы оснащена высокой полуцилиндрической световой башней и небольшим лепным рельефом, транслирующим своей формой внутренние исповедальни. Перед стеной находится странная скульптурная купель, которая должна принимать во время дождя воду с крыши капеллы. Вода поступает через водосток в виде длинных буйволиных ноздрей. Этот образ, вероятно, навеян Индией, поскольку Чандигарх строился в это же время (рис. 17).



Рис. 17. Видовые точки западного фасада с водостоком²⁰
Fig. 17. Western facade with a drain

В книге «Le Modulor II» Ле Корбюзье дал исчерпывающую трактовку архитектурного образа капеллы: «Все в ней взаимосвязано. Поэтичность и лиричность образа порождены свободным творчеством, блеском строго математически обобщенных пропорций, безукоризненностью сочетания всех элементов...» [12].

«Призвание архитектора он видел в том, чтобы, воплощая свои проекты, облегчать жизнь людей и приносить в нее счастье. Только в таком подходе мастер признавал раскрытие истинной функциональности. А научить этому человека должно внимание к себе, окружающим и природе. “Природу надо наблюдать, извлекая из наблюдения уроки. Во время нашего пребывания на земле не следует скучать...” – говорил Ле Корбюзье. Поэтому он так много внимания уделял в своих штудиях природным объектам, возникающим как опора или встреча стихий, – скалам, раковинам, линиям прибой, костным структурам и древесным волокнам. То, что позднее будет названо “бионикой” – следованием природным формам в инженерных решениях – было угадано интуицией Ле Корбюзье так же, как и воспринятые им в качестве образцов решения человеческой цивилизации, подмеченные им в традициях народного зодчества разных стран...» [13].

Капелла абсолютно не похожа на традиционный католический храм, особенно ее интерьер. «В католическом храме нет свободы воли, нет выбора. Ритм колонн и окон, структура перекрытия – все направлено на алтарь, а дальше,

²⁰ URL: https://avatars.mds.yandex.net/i?id=ef9d34278ec5901533e1ad833995a97c_1-5436735-images-thumbs&n=13

через купол, к Богу. В Роншане же все нарочито свободно. Мастер ставит себя выше канона. Точно так же Ле Корбюзье поступает с жилыми домами, виллами, музеями. Он вырабатывает свой стиль, свою систему измерений, свой ордер, свою социальную программу и свой церковный канон... Интерьер капеллы – гимн перетекающим пространствам. Свет и тень в сравнительно небольшом помещении порождают сотни пространственных ощущений. Каждый шаг в сторону открывает новую форму. Формы эти создают удивительный мистический эффект, и, хотя это не традиционный собор, тут хочется молиться. Божественно-возвышенное настроение создается, прежде всего, серией проемов в южной стене. Свет проходит через узкие цветные стекла. Восемь скамей на небольшом возвышении, слабо освещенные оконцами. Скамьи, обращенные на восток, находятся в большом пространстве, но, когда садишься на них, оказываешься в некой изолированной мистической зоне. Впереди алтарь, а над ним – окно с распятием. Восточный фасад, тот, что снаружи имеет алтарь, покрыт, словно ночное небо, серией мелких прямоугольных “амбразур”. Их размеры настолько малы, что на фасаде их почти не видно. Зато в интерьере они очень активно “работают”, особенно солнечным утром. Кроме того, между крышей и юго-восточными стенами оставлена тонкая неровная щель. Она создает сильнейший световой эффект – огромная крыша не давит, но “парит” над интерьером. Чудеса внутреннего пространства капеллы этим не ограничиваются. Под высокой башней рядом с исповедальнями находится молельня с небольшим алтарем, открытая во внутреннее пространство. Напротив, в одной из башен северного входа – вторая малая изолированная молельня. Мощный верхний свет растворяется в пространствах этих молелен и затягивает сюда людей из темноты интерьера... Несколько неожиданно выглядит северо-восточный угол капеллы с алтарем и хорами. В качестве мелких деталей в этой зоне хороши световые окна северного фасада и ритм ступеней обратной стороны лестницы, ведущей на кафедру...» [7].

«Устойчивость стен обеспечивается их криволинейным очертанием в плане... Ле Корбюзье объяснял их форму “визуальной акустикой”, реагирующей на падающие с четырех сторон горизонта лучи света, как если бы они были звуками...» [15, с. 49].

«Завертывающиеся внутрь края отрезков стены образуют вторичные пространства капеллы. Над ними стена поднимается башнями с округлым завершением. Свет, отражающийся от внутренней поверхности этих венчающих полусфер, – единственный источник естественного освещения малых алтарей. Южная стена, утолщающаяся книзу, прорезана свободно организованной группой окон, напоминающей композиции неопластицистов 1920-х гг. Проемы расширяются внутрь, подобно амбразурам артиллерийских казематов. Пол, следуя естественному рельефу, мягко опускается к главному алтарю. Покрытие, круто поднимающееся над фасадами, в интерьере тяжело провисает. Цветовая аскетичность белых стен и темного бетона в интерьере разбивается яркими пятнами расписанных оконных стекол и эмалевой массивной плиты главного входа, поворачивающейся на средней оси. Капелла – не столько здание, сколько обитаемая скульптура. Логика формы определяла материал стен – металлический каркас, обтянутый сеткой, покрытой торкретированным бетоном. Трудности с до-

ставкой материалов заставили перейти на массивную кладку из местного естественного камня, выровненную торкретированием и побеленную. Масса здания, окруженная выровненной площадкой, где могут разместиться 12 000 паломников, как бы естественно вырастает из пейзажа...» [7].

Важную роль в формировании «неземного» интерьера часовни играет система его естественного освещения: «В интерьере пространство, оставшееся между стенами и крышей, заполнено фасадными окнами. Асимметричный свет из стенных проемов еще больше подчеркивает сакральный характер пространства и усиливает взаимосвязь здания с окружающей средой. Освещение в интерьере мягкое и непрямое, оно исходит из окон верхнего этажа и отражается от побеленных стен часовен с выступающими башнями...» [8] (рис. 18).

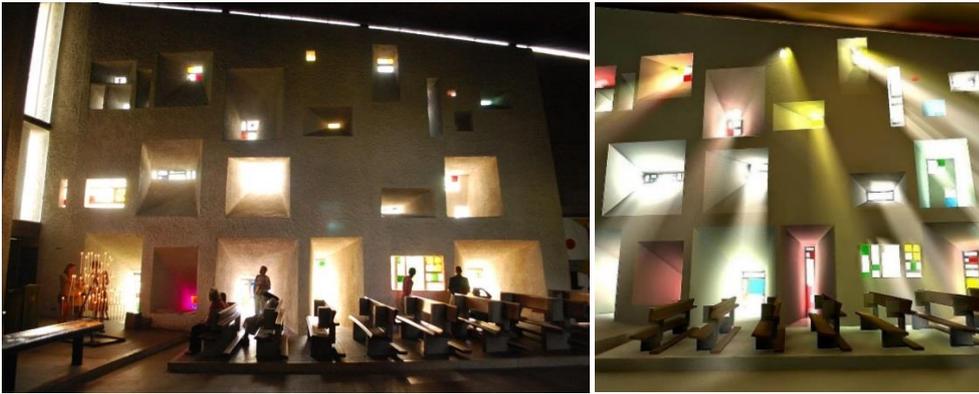


Рис. 18. Оконные проемы в южной стене капеллы в Роншане²¹
Fig. 18. Windows in the south wall of the chapel in Ronchamp

Для того, чтобы еще больше усложнить свой дизайн, Ле Корбюзье решил сделать окна в стене необычными. Проемы наклонены к центру, пропуская свет под разными углами. Окна разного размера расположены неправильным образом по всей стене. «Сообщается, что Ле Корбюзье настаивал на том, что формы и узоры не были произвольными, а были получены из пропорциональной системы, основанной на золотом сечении. Кроме того, стекло, закрывающее окна, установлено на разной глубине. Это стекло иногда бывает прозрачным, но часто его украшают небольшими витражами красного, зеленого и желтого цветов. Эти витражи сияют подобно рубинам, изумрудам и аметистам и служат украшением и без того сложной стены...» [8].

«Одним из самых интересных аспектов дизайна является случайное размещение окон на стенах. Корбюзье реализовал небольшие сквозные отверстия на фасаде, которые усиливали свет внутри часовни за счет сужения окна в углублении стены. Каждая стена освещается благодаря различным оконным рамам, которые в сочетании с абсолютно белыми стенами придают стенам светящиеся свойства, подчеркнутые более интенсивным прямым светом. На стене за алтарем в часовне световые эффекты создают пестрый узор, почти как звездная ночь,

²¹ URL: <https://kulikfoto.ru/attractions/pt-00007572>; <https://novate.ru/blogs/250823/67259/>

с редкими отверстиями, которые дополняются большим отверстием над крестом, которое излучает поток света, создавая мощный религиозный образ...» [4].

«Ле Корбюзье хотел, чтобы пространство было медитативным и отражающим по назначению. Совершенно белые стены подчеркивают это пуристское мышление... Когда свет проникает в часовню, там царит размытая, неземная атмосфера. Эффект света пробуждает выразительные и эмоциональные качества, которые создают повышенные ощущения, созвучные религиозной деятельности...» [4].

«На протяжении веков церковные архитекторы использовали витражи, чтобы рассказывать религиозные истории с помощью красочных образов. Ле Корбюзье использовал их по-другому; он сделал множество окон глубоко в стенах, так что, когда свет проникает через разноцветные стекла, зеленые, красные или желтые блики отбрасываются на совершенно белые стены. Пространство минимально и соответствует видению Ле Корбюзье, примером которого является чувство общности, которое было поощрено появлением в церкви внешнего алтаря, что означает, что на богослужение может прийти больше людей, чем помещается в самой церкви...» [10].

«Интерьер темноват и в нем есть что-то первозданное, как будто капелла целиком высечена из камня. Неровный пол, повторяющий поверхность холма. Провисающий потолок, как свод пещеры. Основной строительный материал (бетон) не спрятан за отделкой, а, наоборот, демонстративно выставлен на всеобщее обозрение, а иногда даже подчеркнут следами опалубки. Исповедальни вырублены в стене, как в скале. Есть три боковые капеллы с подчеркнута минималистской обстановкой – один каменный алтарь. Сверху, из скрытого от глаз отверстия, на него льется дневной свет, делающий буквально зримым божественное присутствие... В игре со светом явно чувствуется отсылка к готике, о которой напоминают и витражи южной стены. Сама же эта стена своей массивностью гораздо ближе к романскому стилю, а сознательная лапидарность отделки и обстановки выглядит своеобразным анти-барокко. Так мастер сумел намекнуть чуть ли не на все архитектурные стили и в небольшом здании собрать воедино историю церковной архитектуры...» [3].

«Ле Корбюзье находит свой ключ к выявлению сакрального пространства. Архитектор не забывает о сверхфункции такого объекта, как храм, и выстраивает общение с Богом через свет, особым образом организуя световые коммуникационные потоки. Снаружи естественное светило – солнце, внутри храма – “божественный свет”, присутствие Бога. Свет как источник учитывался при создании световоздушной среды еще в средневековых храмах. Свет, проходивший через витражи готических соборов, способствовал экзальтации верующего человека... Ле Корбюзье заменяет (горизонтальное остекление) “распылением” оконных проемов разного размера по всему фасаду. Эффект от этого приема в первую очередь проявляется в интерьере. Проемы, источающие световые потоки, значительно снижают массу стены, гасят вещественную, материальную основу постройки. В то же время множеством световых лучей обеспечивается индивидуальный диалог с Богом каждого находящегося в храме прихожанина. Окна, как бы случайно разбросанные по фасаду, в интерьере выявляют сложно-организованный ритм световых лучей, преобразуя геометрическое простран-

ство в эстетическое. Пронизывая объем капеллы световыми потоками, Ле Корбюзье не просто решает задачу освещения, но и многократно усиливает энергию сакрального пространства: с одной стороны изолирует его стенами, с другой – перфорируя стену проемами, связывает с окружающим пространством. Эстетические интуиции по поводу интерьера капеллы неожиданно приводят к ассоциации с сюжетами фресок проторенессанса. Так, на фреске Джотто ди Бондоне “Благовещение святой Анны” в капелле дель Арена в г. Падуа в верхней части стены изображено маленькое оконце – источник божественного света, в потоке которого является ангел... В интерьере капеллы Ле Корбюзье “архитектурно” предусмотрел подобный индивидуальный диалог с Богом, порционное “благовещение” каждому присутствующему. Стена, пронизанная светом, контрастна мощному, нависающему объемному покрытию. Устройство небольшого проема между стеной и покрытием снимает конструктивное напряжение и напоминает о традиции достижения эффекта нерукотворности путем отсечения световыми потоками купола... В энциклопедии символов немецкого ученого Г. Биндерманна находим следующее определение: “Свет – всеобъемлющий символ божественности, духовного элемента, который после первозданного хаоса тьмы пронизал мировое пространство и очертил границы мрака”. Вспомним слова Христа: “Я – свет миру”. Свет – глобальный фактор в формировании сакрального пространства... Понимание присутствия Бога дается как некое откровение в процессе переживания молитвенного действия, эстетического восприятия ирреального световоздушного пространства. Свет моделирует... и пребывающего в молитве человека...» [11].

«Здание-скульптура, манифест идей Ле Корбюзье... Никакого фасада – он везде, по всему периметру. Ниши, лестница, прямые углы не на месте, щели, в которых прячутся двери. Здание, которое невозможно понять, пока не обойдешь по кругу, пока не зайдешь внутрь, пока не увидишь, как движется солнце в течение дня, вылепливая новые формы из тени и света. Здание, в которое хочется возвращаться, в котором хочется молиться. Здание, построенное для верующих... гениальным атеистом. Отец Мари-Ален Кутюрье был доволен...» [12].

Особый интерес представляет способ освещения трех полуцилиндрических башен-моделен: «Стена, закрывающая срез, прорезана световыми проемами. Лишь войдя внутрь, посетитель начинает понимать назначение этой странной формы. Срезы цилиндров обращены в стороны горных отрогов и окрашены внутри характерными для отрогов цветами. Свет, отражаясь от этих срезанных башен, названных Корбюзье “светоуловителями”, приобретает окраску, создающую особую цветовую атмосферу внутри храма. Ее прорезают солнечные лучи, проникающие с юга, через маленькие оконные проемы южной стены. В некоторых из них вставлены цветные стекла...» [1]. «Система проемов и отражающих плоскостей дает сильный поток света в каждом из трех полукуполов, которые возвышаются над крышей и служат своего рода “светозабирающими” устройствами...» [7] (рис. 19).

Архитектурная критика капеллы была неоднозначной. Джеймс Стирлинг назвал капеллу наиболее пластичным зданием, когда-либо возведенным во имя современной архитектуры [13]. Во втором томе «Архитектура XX века. Утопии и реальность» А.В. Иконников в разделе, посвященном послевоенному творче-

ству Ле Корбюзье, привел еще несколько высказываний в его адрес: «Бруно Дзеви увидел в здании образец обогащения содержания внесением в рационалистическую архитектуру “органической” культуры... Джузеппе Арган полагал, что трактовка Ле Корбюзье более соответствует миру театра, чем религиозной вере... Винсент Скалли отмечал психологическую напряженность, порождаемую восприятием капеллы, и искал в стилистическом языке здания следы воспоминаний о наследии прошлого ... Николаус Певзнер назвал капеллу “манифестом иррационализма”...» [14, с. 526–538].

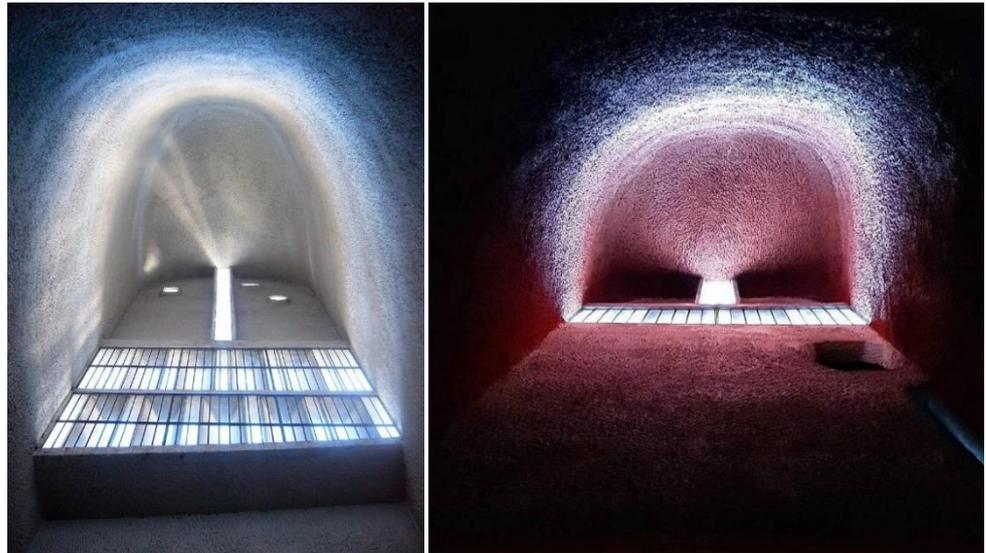


Рис. 19. Световые эффекты внутри башен-«светоуловителей» капеллы в Роншане. Видовые точки²²
 Fig. 19. Lighting effects inside the "light trap" towers of the chapel in Ronchamp

Архитектор Виктор Некрасов отозвался об этом строении столь же неоднозначно: «Больше всех озадачил меня кумир моих юных лет – Ле Корбюзье. В маленьком французском местечке Роншан, недалеко от швейцарской границы, неугомонный 70-летний архитектор соорудил церковь. О ней много сейчас пишут и спорят на страницах архитектурных журналов. Скажу прямо, ничего подобного ни сам Ле Корбюзье, ни кто-либо из существовавших до сих пор архитекторов не создавал. Мы как-то привыкли к тому, что все созданное Ле Корбюзье, как правило, зиждется на определённых законах архитектурной и конструктивной логики. В этом его сила. Здания его могут нравиться или не нравиться – это другой вопрос, но... цель, к которой он стремится, всегда была ясна и понятна. В церкви же Роншан понять что-либо без специальных комментариев просто невозможно... Разглядывая фотографии ни на что не похожего строения, состоящего из столбов, башен, балконов, навесов и изогнутых, извивающихся стен, испещрённых какими-то прямоугольными отверстиями, становишься просто в тупик...» [15].

²² URL: https://live.staticflickr.com/3131/2501817432_d31c1a6e53_b.jpg; <https://telegra.ph/file/6baf3fa4601a046189e49.jpg>

«Критики Ле Корбюзье обычно атаковали его с позиции защитников “старых городов”, предполагая, что он – ненавистник исторического наследия, что совершенно не соответствовало истине... Угадать окончательное решение, глядя на рисунки и чертежи, удавалось немногим, уж очень непривычным в 1950-е гг. виделись солнечные строения новатора... Для того, чтобы понять философию Ле Корбюзье, стоит повнимательнее присмотреться к построенной им капелле Нотр-Дам-дю-О в Роншане (1955), где нет никакого “попечения о теле”, но только о Духе. Отринуты прямые углы, дан простор воплощенной эмоции. Капелла вобрала в себя сочетание удивительных световых пространств и акустики, переносающих пребывающих в них людей в некий иной мир веры...» [16].

Строительство часовни было завершено 22 июня 1955 г. На ее открытии Ле Корбюзье сказал: «Строя эту часовню, я хотел создать место тишины, молитвы, покоя и внутренней радости...» [10]. Нестандартная архитектура церкви вначале вызвала бурный протест местных жителей. Однако они изменили свою точку зрения, когда в Роншан потянулись состоятельные туристы, стремившиеся взглянуть на очередное творение Ле Корбюзье. В 2016 г. часовня в Роншан внесена в Список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

В заключение следует отметить, что в послужном списке Шарля-Эдуарда капелла Нотр-Дам-дю-О стала первым культовым зданием «на высоте», которое он превратил в место общения паломников с вездесущим Богом. Однако уникальный зодчий не остановился на этом. Он построил еще два культовых комплекса – монастырь Святой Марии де Ла Туретт (г. Лион, 1957–1959) и церковь Сент-Пьер (Фирмини, 1960–2006). Эти объекты Всемирного наследия будут рассмотрены в последующих публикациях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Часовня Нотр-Дам-дю-О*. Капелла в Роншан и эстетика послевоенного творчества Ле Корбюзье. URL: <http://www.fondationlecorbusier.fr/>
2. *Страшнова А.* Игры света в капелле Нотр-Дам-дю-О. URL: <https://dzen.ru/a/Y9VTPgT5FDfбСтрi?ysclid=lz743dvhyg214387199>
3. *Сарпан М.* Капелла Нотр-Дам-дю-О в Роншане. URL: <https://art.1sept.ru/article.php?ID=200600316&ysclid=lz86ta4ppb628254370>
4. *Классика рекламы:* Роншан. Ле Корбюзье. URL: <https://www.archdaily.com/84988/ad-classics-ronchamp-le-corbusier>
5. *Докучаев И.* Восхищённый Ле Корбюзье объединил в ней Парфенон, виллу Адриана, алжирскую мечеть и церковь в Пскове. URL: <https://pressaparte.ru/news/syuzhety/3672/>
6. *Лежава И.Г.* Ле Корбюзье. Восприятие пространства. URL: <https://ilya-lezhava.livejournal.com/1474.html?ysclid=m27ek2w0hu867012222>
7. *Капелла Notre Dame du Haut*, Роншан (Ronchamp), Франция. 1950–1955. URL: http://corbusier.totalarch.com/chapelle_ronchamp
8. *Le Corbusier's Ronchan Chapel*: Notre Dame du Haut. URL: <https://archeyes.com/ronchamp-chapel-le-corbusier/>
9. *Нотр-Дам-дю-О*. URL: <https://architecturebest.com/notr-dam-dyu-o/>
10. *Нотр-Дам-дю-О*: очаровательная часовня Корбюзье в Роншане. URL: <https://theculturetrip.com/europe/france/articles/notre-dame-du-haut-corbusiers-fascinating-chapel-in-ronchamp>
11. *Фатеева И.М.* Культовый объект в модусе модернистской ментальности. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kultovyy-objekt-v-moduse-modernistskoy-mentalnosti/viewer>
12. *Ле Корбюзье.* Модуль. MOD 1. MOD 2 / пер. с франц. Ж.С. Розенбаума. Москва : Стройиздат, 1976. 238 с.

13. *Stirling J.* Le Corbusier's Chapel and the Crisis of Rationalism // *Architectural Review*. 1956. № 119. March. P. 156.
14. *Иконников А.В.* Архитектура XX века. Утопии и реальность. В 2 томах. Том 2. Москва : Прогресс-Традиция, 2002. 672 с.
15. *Некрасов В.* Первое знакомство. Из зарубежных впечатлений. Москва : Советский писатель, 1960. 208 с.
16. *Дженкс Ч.* Язык архитектуры постмодернизма / пер. с англ. А.В. Рябушина, М.В. Уваровой. Москва : Стройиздат, 1985. 136 с.

REFERENCES

1. The Chapel of Notre-Dame du Haut. Available: www.fondationlecorbusier.fr
2. *Strashnova A.* Games of Light in the Chapel of Notre-Dame du Haut. Available: <https://dzen.ru/a/Y9VTPgT5FDfbCtpi?ysclid=lz743dvhyg214387199>
3. *Sartan M.* The Chapel of Notre-Dame du Haut in Ronchan. Available: <https://art.1sept.ru/article.php?ID=200600316&ysclid=lz86ta4ppb628254370>
4. Advertising classics: Ronchan. Le Corbusier. Available: www.archdaily.com/84988/ad-classics-ronchamp-le-corbusier
5. *Dokuchaev I.* Admired Le Corbusier combined the Parthenon, Hadrian's villa, Algerian mosque and church in Pskov. Available: <https://pressaparte.ru/news/syuzhety/3672/>
6. *Lezhava I.G.* Le Corbusier. Perception of space. Available: <https://ilya-lezhava.livejournal.com/1474.html?ysclid=m27ek2w0hu867012222>
7. Chapel Notre Dame du Haut, Ronchamp, France. 1950-1955. Available: <http://corbusier.talarch.com/chapelle-ronchamp>
8. Le Corbusier's Ronchan Chapel: Notre Dame du Haut. Available: <https://archeyes.com/ronchamp-chapel-le-corbusier>
9. Notre Dame du Haut. Available: <https://architecturebest.com/notr-dam-dyu-o>
10. Notre-Dame-du-Eau: Corbusier's charming chapel in Ronchan. Available: <https://theculture-trip.com/europe/france/articles/notre-dame-du-haut-corbusiers-fascinating-chapel-in-ronchamp>
11. *Fateeva I.M.* Cultural Object in Modernist Mentality. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/kultovyy-obekt-v-moduse-modernistskoy-mentalnosti/viewer>
12. Le Corbusier. Modulor. MOD 1. MOD 2. Moscow: Stroizdat. 1976. 238 p. (Russian translation)
13. *Stirling J.* Le Corbusier's Chapel and the Crisis of Rationalism. *Architectural Review*. 1956; (119): 156.
14. *Ikonnikov A.V.* Architecture of the 20th century. Utopias and Reality, in 2 vol. Vol. 2. Moscow: Progress-Tradition, 2002. 672 p. (In Russian)
15. *Nekrasov V.* The First Acquaintance. From Foreign Impressions. Moscow: Sovetskii pisatel', 1960. 208 p. (In Russian)
16. *Jenks Ch.* The Language of Architecture of Postmodernism. Moscow: Stroyizdat, 1985. 136 p. (Russian translation)

Сведения об авторах

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

Полякова Ольга Павловна, канд. экон. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, oppopp2010@yandex.ru

Authors Details

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

Olga P. Polyakova, PhD, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, oppopp2010@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 06.09.2024
Одобрена после рецензирования 17.09.2024
Принята к публикации 18.09.2024

Submitted for publication 06.09.2024
Approved after review 17.09.2024
Accepted for publication 18.09.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 34–44.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 34–44.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 712.256

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-34-44

EDN: BYPILD

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНКЛЮЗИВНЫХ ИГРОВЫХ ПЛОЩАДОК ДЛЯ ДЕТЕЙ-ИНВАЛИДОВ

Хава Виситаевна Мицаева, Евгений Николаевич Поляков

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

Аннотация. Статья посвящена проектированию игровых площадок для детей с ограниченными возможностями, сделан акцент на инклюзивности и безопасности. Рассматривается соблюдение стандартов безопасности, приведены примеры специализированных игровых элементов для обеспечения различных потребностей детей с физическими и когнитивными ограничениями.

Актуальность темы обусловлена растущей осведомленностью общества о необходимости создания инклюзивной среды для детей с разными способностями. Инклюзивные площадки становятся пространством для социальной интеракции и общего развития.

Цель исследования – изучение концепции детских игровых площадок для детей с ограниченными возможностями с учетом аспектов инклюзивности и безопасности.

Методика исследования основывается на анализе существующих игровых площадок, изучении различных проектов игровых площадок (как общедоступных, так и специализированных для детей с ограниченными возможностями) с целью выявления тенденций в их проектировании.

В результате исследования выявлены ключевые факторы и аспекты, которые требуется учитывать при создании игровых площадок для детей с ограниченными возможностями.

Ключевые слова: инклюзивные игровые площадки, безопасность, разнообразные игровые элементы, амортизирующие поверхности, доступность, адаптированные структуры и конструкции, соблюдение стандартов безопасности

Для цитирования: Мицаева Х.В., Поляков Е.Н. Особенности проектирования инклюзивных игровых площадок для детей-инвалидов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 34–44. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-34-44. EDN: BYPILD

ORIGINAL ARTICLE

DESIGN OF INCLUSIVE CHILDREN'S PLAYGROUNDS

Khava V. Mitsaeva, Evgeny N. Polyakov

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The article is devoted to the design of children's playgrounds taking into account the needs of children with disabilities, focusing on inclusivity and safety. The paper considers compliance with safety standards and gives examples of specialized game elements for various needs of children with physical and cognitive disabilities. The relevance of the topic is due to the growing awareness of the society about the need for inclusive environments for children with different abilities. Such sites become a space for social interaction and general development.

Purpose: The aim of this paper is to study playgrounds for children with disabilities taking into account their inclusivity and safety.

Methodology: The analysis of playgrounds, the study of various projects of playgrounds, both public and specialized for children with disabilities in order to identify design trends.

Research findings: The key factors and aspects required to create playgrounds for children with disabilities are identified.

Keywords: inclusive playgrounds, safety, game elements, shock-absorbing surfaces, accessibility, adapted structures, compliance with safety standards

For citation: Mitsaeva Kh.V., Polyakov E.N. Design of Inclusive Children's Playgrounds. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 34–44. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-34-44. EDN: BYPILD

Введение

Создание игровых площадок для детей с ограниченными возможностями представляет собой важный этап в стремлении обеспечить равные возможности для всех детей, независимо от их физического или когнитивного состояния. Основываясь на принципах инклюзии (процесса реального включения в активную жизнь социума людей, имеющих трудности в физическом развитии, в том числе инвалидность, или ментальные особенности), специальные площадки не только создают условия для физического развития детей-инвалидов, но и способствуют их социальной адаптации.

В настоящей статье рассмотрены ключевые аспекты проектирования детских игровых площадок (ДИП) с целью создания среды, которая будет не только доступной, но и безопасной для каждого ребенка, независимо от его физических и интеллектуальных способностей. Такие площадки включают в себя игровые элементы, которые обеспечивают удобство и комфорт для всех детей, способствуя их активному участию в играх и взаимодействию друг с другом.

Особое внимание уделяется материалам, из которых изготовлены игровые элементы, а также эргономике и безопасности конструкций. При разработке подобных проектов учитываются рекомендации специалистов в области детской психологии, физиотерапии и эргономики, что позволяет создавать игровые зоны, способствующие всестороннему развитию детей. Таким образом, создание игровых площадок для детей с ограниченными возможностями здоровья является важным шагом на пути к формированию инклюзивного обще-

ства, где каждый ребенок может чувствовать себя полноценным участником игровой и социальной среды.

Целью данного исследования является изучение концепции детских игровых площадок для детей с ограниченными возможностями с учетом аспектов инклюзивности и безопасности.

Задачи исследования включают изучение потребностей детей с ограниченными возможностями, анализ существующих подходов к проектированию инклюзивных игровых площадок, а также исследование стандартов безопасности.

Исследование и определение потребностей

Первоначальный и фундаментальный этап в создании инклюзивных игровых площадок – тщательное исследование потребностей детей с ограниченными возможностями. Данный этап не только предоставляет информацию, но и служит основой для формирования понимания того, как создать среду, идеально подходящую для всех детей с учетом их индивидуальных особенностей. Дети с ограниченными возможностями и без них должны участвовать в планировании игровых площадок, делясь своим мнением с лицами, принимающими организационно-технические решения на локальном уровне [1].

Ключевым аспектом является признание многообразия и степени сложности тех ограничений, с которыми дети могут столкнуться. Физические, умственные и чувствительные ограничения представляют лишь часть проблем. Например, дети с физическими ограничениями могут испытывать трудности с передвижением, дети с умственными отклонениями – с пониманием и обучением, а дети с ограниченной чувствительностью – с восприятием визуальных и звуковых стимулов. Тщательное изучение всех нюансов позволяет создать площадку, учитывающую максимальное число потребностей.

С учетом полного представления о разнообразии потребностей можно разработать дифференцированный подход к созданию элементов площадки. Например, зона для детей с физическими ограничениями может включать специальные устройства для подъема (рис. 1), а зона для детей с чувствительными ограничениями – элементы с различными текстурами и звуками (рис. 2).



Рис. 1. Пандус на детской площадке²³

Fig. 1. Ramp on the playground

²³ URL: <https://adventureplus.net.au/playground-design-process-in-australia/age-and-special-needs-in-australia>; <https://mrcrec.com/blog/how-to-build-and-design-the-best-inclusive-playground>



Рис. 2. Игровые элементы с различными текстурами и звуками²⁴

Fig. 2. Game elements with different textures and sounds

Важно учитывать, что потребности детей могут меняться в процессе роста и развития. Проектирование игровых площадок должно предусматривать возможность их адаптации и обновления в соответствии с меняющимися потребностями по мере взросления. Тщательное исследование потребностей детей с ограниченными возможностями является неотъемлемой частью создания инклюзивных игровых площадок, служит фундаментом для последующих этапов проектирования, направленных на максимальное удовлетворение потребностей всех детей.

Универсальный дизайн

Проектирование игровых площадок с учетом принципов универсального дизайна является важным этапом в создании среды, доступной для всех детей, независимо от их физических возможностей или ограничений. Универсальный дизайн направлен на обеспечение равных возможностей, комфорта и удовлетворения потребностей всех детей. В этом контексте следует учесть несколько ключевых аспектов.

Прежде всего, необходимо создание безбарьерных площадок с равномерными и безопасными поверхностями для передвижения колясок, инвалидных кресел и других средств индивидуальной мобильности. В том числе использование колесоотбойных покрытий из материалов, которые обеспечивают хорошее сцепление при движении колес и предотвращают блокировку или застревание.

Важным элементом дизайна являются широкие проходы, т. к. они создают просторные коридоры между игровыми элементами, обеспечивая сво-

²⁴ URL: <https://mrcrec.com/blog/how-to-build-and-design-the-best-inclusive-playground>; <https://www.child-inthecity.org/2019/03/25/shaped-by-play-inclusive-play/?gdpr=deny>; <https://www.playlsi.com/en/commercial-playground-equipment/playgrounds/marys-magical-place/>

бодное передвижение детей. Важно использовать хорошо видимые контурные элементы (декоративные стенки, решетки, кустарники и т. п.) для разграничения игровых зон, обеспечивая безопасное движение и предотвращая возможные столкновения.

Устойчивость игровых структур также играет ключевую роль. Все игровые элементы должны обладать высокой степенью устойчивости, исключающей возможность опрокидывания. Это достигается применением прочных материалов, которые способны выдерживать различные погодные условия и интенсивное использование.

При создании инклюзивной игровой площадки, учитывающей потребности детей с ментальными и (или) сенсорными нарушениями, рекомендуется большее внимание уделять выбору цвета игрового оборудования, его тактильным и шумовым характеристикам, созданию маршрутов, облегчающих переход от одного игрового элемента к другому [2]. Понятные сигналы на игровой площадке включают размещение элементов и оборудования таким образом, чтобы их назначение было интуитивно понятно и доступно для всех детей. Информация и инструкции должны предоставляться с использованием знаков и символов, ясных детям. Это помогает легко ориентироваться и правильно использовать игровое оборудование. Кроме того, важно обеспечивать вариативность и многообразие игровых элементов, обустраивать разнообразные игровые зоны, которые подходят для детей с разными способностями и создают условия для организации многообразных видов развлечений и активной деятельности.

Контрастные цвета, надписи крупным шрифтом, использование азбуки Брайля – все это призвано сделать более простым и удобным использование игровой площадки лицами, имеющими проблемы со зрением, этому же могут способствовать яркие цвета и специальное освещение [3].

Таким образом, проектирование игровых площадок с учетом принципов универсального дизайна способствует созданию инклюзивной среды, в которой каждый ребенок, независимо от своих физических возможностей, может чувствовать себя комфортно и безопасно. Универсальный дизайн также служит воспитательным средством, позволяя сформировать толерантных людей [4].

Разнообразие игровых элементов

Инклюзивные площадки представляют собой особые пространства, созданные с учетом разнообразных потребностей и интересов детей, включая детей с физическими, интеллектуальными или другими видами ограничений. Важным аспектом проектирования инклюзивных площадок является внедрение разнообразных игровых элементов, способных удовлетворить потребности и обеспечить равные возможности для всех детей. Рассмотрим несколько примеров игровых элементов.

Специальные качели с опорами (рис. 3) предоставляют возможность детям с ограниченной моторикой безопасно качаться на инвалидном кресле, используя дополнительные опоры или устойчивую основу. Кроме того, для детей с физическими ограничениями разработаны качели с удерживающими устройствами, обеспечивающими безопасность при качании. Качели для инвалидов колясок отличаются плавным ходом и большой поверхностью опорной площадки для установки и фиксации на ней средств индивидуальной мобильности [5].



Рис. 3. Качели с опорами²⁵
Fig. 3. Swing with supports

Специальные карусели для инвалидных колясок дают возможность детям-инвалидам наслаждаться вращением. Карусели с поддерживающими устройствами обеспечивают поддержку детям с неврологическими проблемами (нарушением равновесия и координации) или ограниченной подвижностью (рис. 4).



Рис. 4. Специальные карусели²⁶
Fig. 4. Special carousels

Горки для детей с ограниченными возможностями должны иметь пологие уклоны и широкие площадки для посадки и высадки (рис. 5). Они также оснащаются ремнями безопасности и подставками для ног [6].

²⁵ URL: <https://triptonkosti.ru/14-foto/ploschadki-dlya-detej-s-ogranichennymi-vozmozhnostyami-proekt-94-foto.html>; <https://rbk.bm/?i=outdoor-playground-manufacturers-miracle-recreation-aa-GAz381iv>; <https://www.habitat-systems.com/inclusive-playground-design/>

²⁶ URL: <https://ru.pinterest.com/pin/678706606360225299/>; <https://www.utoronto.ca/news/inclusive-play-u-t-researcher-studies-playground-experiences-children-disabilities>

Игровые зоны с адаптированными структурами (рис. 6) создают безопасные и комфортные пространства для детей с ограниченной подвижностью, сводят к минимуму риск падений. Игровые конструкции с ручками и опорами облегчают подъем и использование их детьми с нарушенной моторикой.



Рис. 5. Горка²⁷
Fig. 5. A slide



Рис. 6. Игровая зона с адаптированными структурами²⁸
Fig. 6. Play area with adapted structures

Музыкальные игровые элементы, включая музыкальные панели, предоставляют разнообразные возможности для игр и реабилитации детям с нарушениями слуха. Музыкальные интерактивные панели могут быть использованы различными способами: касание руками или ногами, с помощью специальных перчаток (рис. 7).



Рис. 7. Музыкальные игровые элементы²⁹
Fig. 7. Musical game elements

Безопасность ДИП

Безопасность детских игровых площадок – один из наиболее важных аспектов при проектировании. Эффективные меры безопасности могут существенно уменьшить риск травм и обеспечить более комфортные условия для игровой деятельности. Рассмотрим несколько ключевых аспектов безопасности игровых площадок.

²⁷ URL: <https://tvoybudget.spb.ru/initiatives/initiative/20374>

²⁸ URL: <https://mrcrc.com/blog/new-jerseys-ten-best-inclusive-playground-spaces>

²⁹ URL: <https://www.playlsi.com/en/commercial-playground-equipment/playgrounds/kammerer-park/>;
<https://www.playcubed.co.uk/play-areas/musical-play>

Амортизирующие поверхности, такие как мягкие покрытия из резиновых плит (рис. 8), резиновых гранул (рис. 9) или искусственных травяных материалов (рис. 10), играют важную роль в обеспечении безопасности на игровых площадках. Функция таких материалов – смягчать удар при падении; покрытия с повышенным коэффициентом трения обеспечивают хорошее сцепление и предотвращают скольжение и падение.



Рис. 8. Покрытие из резиновой плитки³⁰
Fig. 8. Rubber tile coating



Рис. 9. Покрытие из резиновой крошки³¹
Fig. 9. Rubber crumb coating



Рис. 10. Покрытие из искусственной травы³²
Fig. 10. Artificial grass cover

³⁰ URL: <https://larsprom.ru/rezinovoe-pokrytie-dlya-detskih-ploschadok/>

³¹ URL: https://trampolinsport.ru/pokrytiya_dlya_detskih_ploschadok

³² URL: <https://gazon-juga.ru/iskusstvennaja-trava-dlja-detskih-ploschadok-cto-vazhno-znat/>; <https://xn--23-mlclobifj6c.xn--p1ai/information/ulichnye-pokrytiya-dlya-detskih-ploschadok-v-chastnom-dome/>

Выбор высококачественных материалов, устойчивых к атмосферным воздействиям и коррозии, является важным аспектом при изготовлении игровых структур. Все элементы ДИП должны соответствовать существующим стандартам безопасности, включая высоту падения, промежутки между элементами, углы наклона и другие параметры. Регулярное техническое обслуживание и проверка конструкций обеспечивают безопасность площадок на длительный срок. Кроме того, при производстве игровых элементов важно избегать острых кромок и углов. Закругленные углы помогают предотвратить порезы или травмы при столкновении (рис. 11).



Рис. 11. Игровой элемент инклюзивной детской площадки³³
Fig. 11. Game element of inclusive playground

Для защиты от пыли и ветра площадки должны быть окружены зелеными насаждениями (деревьями, кустарниками и т. п.). При этом они должны быть обеспечены солнечным светом и в то же время иметь достаточно тени и хорошо проветриваться [7]. Обеспечение адекватной видимости и освещения на площадке, особенно в вечернее время, снижает риск травм. Кроме того, хорошая обзорность площадки помогает родителям следить за детьми и оперативно реагировать в случае необходимости.

Заключение

Исследование показало, что проектирование инклюзивных игровых площадок для детей с ограниченными возможностями является сложным и многогранным процессом, требующим внимания к различным потребностям детей. Исходя из вышеуказанного, можно сделать следующие выводы о ключевых аспектах проектирования инклюзивных игровых площадок:

1. Первоочередным этапом в проектировании инклюзивных игровых площадок является определение потребностей детей с ограниченными возможностями здоровья. Для достижения этой цели важно взаимодействие с родителями. Сотрудничество с экспертами (врачами-педиатрами, психологами и др.) играет ключевую роль в глубоком понимании потребностей и выборе игровых функциональных элементов, необходимых для детей с различными ограничениями.

2. Творческий подход к дизайну игровых элементов не менее важен. Разнообразие возможных ограничений должно вдохновлять проектировщиков на

³³ URL: <https://mrcrec.com/inclusive-playground-guide>

создание инновационных элементов: мягкие поверхности, специальные качели, музыкальные панели и терапевтические сады. Регулируемая высота игровых элементов и безбарьерный подход к ним обеспечивают детям с мобильными ограничениями легкий доступ к конструкциям площадки.

3. Интеграция современных технологий – еще один важный аспект проектирования. Например, использование сенсорных панелей для создания адаптивных и интерактивных игровых элементов дополняет инклюзивный дизайн.

4. Безопасность и доступность являются фундаментальными принципами проектирования. Безбарьерные проходы и использование амортизирующих материалов в зонах падения обеспечивают безопасность детей.

5. Обучение и информирование общества о важности инклюзии играют решающую роль. Разработка образовательных программ для родителей и детей, а также организация мероприятий по созданию общественной осведомленности способствуют пониманию и поддержке инклюзивных игровых площадок.

Проектирование инклюзивных игровых площадок требует сочетания эмпатии, технических знаний и креативности. Создание среды, где каждый ребенок может чувствовать радость и быть включенным в социум, не только обеспечивает индивидуальные потребности, но и способствует формированию толерантного и открытого общества.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Трофимова Т.Е., Родионовская Н.Н. Проектирование детских площадок в парках и на пришкольных участках для социальной интеграции детей с ограничением по здоровью // Инновации и инвестиции. 2021. № 11. С. 133–138. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-detskikh-ploshchadok-v-parkah-i-na-prishkolnyh-uchastkah-dlya-sotsialnoy-integratsii-detey-s-ogranicheniem-po-zdorovyu/viewer> (дата обращения: 05.07.2024).
2. Отдельные рекомендации при создании детских игровых площадок, инклюзивных спортивно-игровых площадок // Судебные и нормативные акты РФ : [сайт]. URL: <https://sudact.ru/law/prikaz-minstroia-rossii-n-897pr-minsporta-rossii/metodicheskie-rekomendatsii-poblagoustroystvu-obshchestvennykh/7/> (дата обращения: 10.07.2024).
3. Проектирование игровых площадок для детей с особыми потребностями // Детские площадки РФ : [сайт]. URL: <https://детскиеплощадки.рф/articles/proektirovanie-igrovyykh-ploshchadok-s-uchetom-> [сайт]. detey-s-osobymi-potrebnostyami/ (дата обращения: 18.07.2024).
4. Верхотурова М.С., Голубева Т.Б. Инклюзивные игровые площадки: проблемы и решения // Экстрабилити как феномен инклюзивной культуры: формирование инклюзивной культуры в организациях: материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 12–13 декабря 2019 г. Екатеринбург : Издательский дом «Ажур». 2020. С. 46–52. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/85910/1/978-5-91256-492-5_2020_011.pdf (дата обращения: 25.07.2024).
5. Шнейдер Э., Ходжиков А. Особенности формирования инклюзивной детской предметно-пространственной среды в Казахстане (на примере города Алматы) // Central Asian Journal of Art Studies. 2022. № 7. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-formirovaniya-inklyuzivnoy-detskoj-predmetno-prostranstvennoy-sredy-v-kazahstane-na-primere-goroda-almaty> (дата обращения: 09.08.2024).
6. Игровое оборудование для детей с ограниченными возможностями. URL: <https://мир-детского-оборудования.рф/company/news/igrovoe-oborudovanie-dlya-detey-s-ogranichennymi-vozmozhnostyami-vidy-kak-vybrat-i-ustanovit/> (дата обращения: 14.08.2024).
7. Сотникова В.О. Проектирование элементов благоустройства. Детские площадки. Площадки отдыха. Малые сады. Ульяновск : УлГТУ, 2008. 113 с. ISBN 978-5-9795-0338-7. URL: <https://zzapomni.com/sotnikova-proektirovanie-lementov-2008-15722/1> (дата обращения: 24.08.2024).

REFERENCES

1. Trofimova T.E., Rodionovskaya N.N. Playground Design in Parks and School Grounds for Social Integration of Children With Disabilities. *Innovatsii i investitsii*. 2021; (11): 133–138. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-detskih-ploschadok-v-parkah-i-na-prishkolnyh-uchastkah-dlya-sotsialnoy-integratsii-detey-s-ogranicheniem-po-zdorovyu>/просмотр (accessed May 7, 2024). (In Russian)
2. Judicial and Regulatory Acts of the Russian Federation. Separate Recommendations for Children's Playgrounds, Inclusive Sports and Playgrounds. Available: <https://sudact.ru/law/prikaz-minstroia-rossii-n-897pr-minsporta-rossii/metodicheskie-rekomendatsii-po-blagoustroistvu-obshchestvennykh/7> (accessed July 10, 2024). (In Russian)
3. Playgrounds of the Russian Federation. Playground Design for Children with Special Needs. Available: <https://детские sites.Russian Federation/articles/proektirovanie-igrovykh-ploshchadok-s-uchetom-deti-s-osobymi-potrebnostyami/> (accessed July 18, 2024). (In Russian)
4. Verkhoturova M.S., Golubeva T.B. Inclusive Playgrounds: Problems and Solutions. In: *Proc. 2nd All-Russ. Conf. 'Extrability as a Phenomenon of Inclusive Culture: Inclusive Culture Formation in Organizations'*. Yekaterinburg, 2020. Pp. 46–52. Available: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/85910/1/978-5-91256-492-5_2020_011.pdf (accessed July 25, 2024). (In Russian)
5. Schneider E., Khodzhikov A. Formation of Inclusive Children's Subject-Spatial Environment in Kazakhstan (the Almaty case study). *Central Asian Journal of Art Studies*. 2022; (7). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-formirovaniya-inklyuzivnoy-detskoj-predmetno-prostranstvennoy-sredy-v-kazahstane-na-primere-goroda-almaty> (accessed August 9, 2024). (In Russian)
6. Play Equipment for Children with Disabilities. Available: https://мир-детского-оборудования.рф/company/news/igrovoe_oborudovanie_dlya_detey_s_ogranichennymi_vozmozhnostyami_vidy_kak_vybrat_i_ustanovit/ (accessed August 14, 2024). (In Russian)
7. Somikova V.O. Design of Landscaping Elements. Playgrounds. Recreation Areas. Small Gardens. Ulyanovsk, 2008. 113 p. ISBN 978-5-9795-0338-7. Available: <https://zapomni.com/sotnikova-proektirovanie-lementov-2008-15722/1> (accessed August 24, 2024). (In Russian)

Сведения об авторах

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

Поляков Евгений Николаевич, докт. искусствоведения, канд. архитектуры, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, Россия, 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 05.09.2024
Одобрена после рецензирования 11.09.2024
Принята к публикации 16.09.2024

Submitted for publication 05.09.2024
Approved after review 11.09.2024
Accepted for publication 16.09.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 45–52.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 45–52.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 711.4

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-45-52

EDN: CFEWCH

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ ПРАКТИКИ ПРОШЛОГО В УСЛОВИЯХ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УГРОЗЫ С ВОЗДУХА В ПЕРИОД ВТОРОЙ МИРОВОЙ ВОЙНЫ

Диляра Ильдаровна Монич, Галина Ильдаровна Монич,
Ольга Геннадьевна Литвинова

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

Аннотация. В настоящей работе выполнен теоретический обзор научных статей о градостроительном планировании в условиях воздушных атак в период между Первой и Второй мировой войной. Публикации по данной теме малочисленны и принадлежат зарубежным исследователям. Только малая часть материалов была переведена и опубликована в архитектурных журналах СССР первой половины XX в. Авторы выполнили системный анализ трудов архитекторов, чьи работы не являются общедоступными.

Теоретические вопросы и первые концепции безопасности современного города возникли сразу после Первой мировой войны. Первый документально зафиксированный воздушный налет произошел в 1911 г. во время войны между Италией и Турцией. В последующем воздушные налеты стали одной из самой распространенных форм военных атак на города. Ни крепости, ни жилые дома гарантированно не могли сохранить жизнь человека во время воздушной бомбардировки.

Современная нестабильная обстановка и угроза мирового терроризма также актуализируют роль процессов урбанизации в военных операциях и международных конфликтах. Поэтому особенно важно установить основные историко-архитектурные этапы развития данной тематики.

В процессе исследования источников авторы пришли к выводу, что в архитектурной среде с 30-х гг. XX в. активно обсуждалась проблема эффективного планирования городов с учётом требований противовоздушной гражданской обороны. Несмотря на широкую известность и экспериментальные проекты «Безопасного города», ни один из них не был полностью реализован.

Анализ отечественных и зарубежных публикаций показал, что вопрос противовоздушной обороны перестал быть актуальной темой, несмотря на постоянные военные конфликты.

Ключевые слова: противовоздушная оборона, Вторая мировая война, городское планирование, реконструкция, история

Для цитирования: Монич Д.И., Монич Г.И., Литвинова О.Г. Градостроительные практики прошлого в условиях потенциальной угрозы с воздуха в период Второй мировой войны // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 45–52. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-45-52. EDN: CFEWCH

ORIGINAL ARTICLE

**URBAN PLANNING OF THE PAST IN THE FACE OF
POTENTIAL AIRBORNE THREATS DURING WORLD WAR II****Diliara I. Monich, Galina I. Monich, Olga G. Litvinova***Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*

Abstract. This paper presents a theoretical review of scientific articles on urban planning under airborne attacks between World War I and World War II. Publications on this topic are few and belong to foreign researchers. Only a small part of works was translated and published in architectural journals of the USSR early in the 20th century.

Purpose: The literature review of urban planning in the face of airborne threats.

Methodology: The analysis of Russian and foreign publications and systematic analysis of the works of architects.

Research findings: Since the 1930s, the problem of effective urban planning in conditions of airborne defense has been posed in the architectural environment. Despite widespread publicity and safe city pilot projects, none was fully realized.

Value: The analysis of Russian and foreign publications shows that airborne threats cease to be a hot topic, despite continuing military conflicts.

Keywords: air defense, World War II, urban planning, reconstruction, history

For citation: Monich D.I., Monich G.I., Litvinova O.G. Urban Planning of the Past in the Face of Potential Airborne Threats During World War II. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 45–52. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-45-52. EDN: CFEWCH

Введение

Войны и вопросы гражданской обороны на протяжении всей истории человечества прямо влияли на особенности планирования городов. Вспомним древнегреческие полисы с защищенными крепостями или средневековые города, замки и храмы, обнесенные мощными стенами. Городские фортификации перестали быть неотъемлемой частью города только с окончанием междоусобных войн и установлением государственных границ.

Пограничные населенные пункты имели в своей планировочной структуре элементы гражданской защиты, но уже в конце XIX в. стали мешать международной торговле.

Появление в начале XX в. летательных аппаратов в развитых государствах привело к переосмыслению вопроса защиты городов, промышленности и гражданского общества во время военных действий. Любая крепость, мощная стена оказывались бессильны перед авиационными атаками. В архитектурной среде того периода достаточно часто поднимался вопрос эффективности планировок городов в условиях противоздушной гражданской обороны: особенно активно этот вопрос обсуждался перед Второй мировой войной.

В основу современных градостроительных концепций положена цель экономического развития, аспекты гражданской обороны не затрагиваются, т. к. это направление считается специфическим. В настоящее время становится очевидным, что планирование промышленных, производственных и селитебных зон в приграничных районах должно иметь определенную специфику. Ис-

торико-градостроительный анализ в данном случае необходим для понимания, насколько актуальны на данном этапе развития современного городского общества вопросы гражданской безопасности, а также для рассмотрения существовавших ранее планировочных приемов и оценки возможности их применения в приграничных населенных пунктах.

В первой половине XX в. архитекторы-градостроители пробовали актуализировать вопросы безопасности. Как правило, это происходило в западноевропейских архитектурных сообществах. На данный момент исследуемая тема плохо изучена и широко не освещается в научной среде в связи с засекреченными данными военно-оборонительной стороны этого вопроса. Поэтому концепции городского пространства выстраиваются исключительно как площадки существования мирного периода времени.

В ходе исследования были выявлены труды послевоенного периода, такие авторы, как Н.А. Балаклеец, М.И. Калинин, Е.Г. Трубина, Д.С. Хмельницкий, освещали концепцию планирования городов в военных условиях. Исследования, посвященные теоретическим основам городского планирования как зарубежного, так и отечественного, проводили архитекторы: Р. Davidoff, S. Fainstein, N. Fainstein, J. Forrester, P. Hall, В.В. Владимиров, Я.В. Косицкий, А.П. Обедков, О. Шуази, З.Н. Яргина. Исследования истории местной противовоздушной обороны в столицах Великобритании и СССР, а также приграничных городов выполняли В. Гроссман, Б. Коган, М. Уткин.

Весь существующий исследовательский опыт сконцентрирован на территории европейской части евразийского континента. Он не захватывает азиатский регион, а также страны южного полушария. Современные локальные конфликты на территории Ближнего Востока сформировались в середине XX в., и, как показывают наблюдения, городская среда, сформированная для экономических мирных целей, стала прямым участником военных действий.

Очевидно, что в современных реалиях требуется комплексное исследование по выявлению особенностей планирования городов в условиях гражданской противовоздушной обороны. Наиболее ценными для анализа являются исследования 30–40-х гг. XX в., т.к. это период рефлексии после Первой мировой войны и предвиденья развития будущих глобальных угроз. Труды архитекторов времен Второй мировой войны уже более осознанны, т.к. выстроены на основе эмпирических наблюдений.

Обсуждение и выводы

Организация первых научных конференций и появление статей по вопросам противовоздушной обороны городов относится ко второй половине 30-х гг. XX в. на территории стран Западной Европы (в частности, Великобритании). Причины проведения конференций именно в этот период и неучастия в них Советского союза следующие.

Во-первых, оказало влияние близкое соседство ведущих европейских держав со странами гитлеровской коалиции; во-вторых, угрозы А. Гитлера малым нациям Европы проведением бомбардировок при отказе признать господство Германии; и в-третьих, дипломатические отношения между Германией и СССР (пакт о ненападении Молотова – Риббентропа).

Обзор первой конференции британских архитекторов проведен М. Уткиным [1]. Он переводит и комментирует доклад инженеров Т. Скотта и Э. Берда. По мнению зарубежных авторов, меры защиты мирного населения, городов, а именно жилых зданий и зданий промышленности, необходимо принимать еще в мирное время при проектировании новых зданий с учетом требований противовоздушной обороны. М. Уткин отмечает, что докладчики основывали свои выводы как на теоретических выкладках, так и на практическом опыте, анализируя разрушение городов в ходе гражданской войны в Испании.

Инженеры провели анализ разрушительного воздействия бомб (зажигательных и фугасных) и химической атаки. В целом Т. Скотт и Э. Берд предлагают упрочнить нижние перекрытия и стены крупных высоких зданий, сократить рельефность фасада. Обращают внимание на то, что производственные сооружения должны иметь каркасный тип конструкции, а различные технологические операции должны быть локализованы в цехах, расположенных отдельно. Здания, предназначенные для услуг, следует обеспечить подвальными убежищами и максимальным количеством входов.

М. Уткин считает, что меры противовоздушной защиты больниц у докладчиков довольно специфичны: палаты с лежащими больными должны быть расположены на верхних герметизированных этажах, а перекрытия – несгораемыми. Интересным для М. Уткина представляется мнение инженеров относительно специальных железобетонных убежищ. Специалисты считали, что такие бомбоубежища необходимы лишь в тех районах, где особенно велика опасность бомбардировок, остальное население города может укрываться в подвальных убежищах обычного типа. Завершая свой обзор, М. Уткин отмечает, что после закрытия конференции первым реализованным типом сооружений противовоздушной обороны, который обозревали в докладе Т. Скотт и Э. Берд, было устройство земляных траншей на участках свободной земли (парков, школ и заводских площадках) [1]. Таким образом, в 1938 г. можно отметить скромные и немасштабные предложения по защите городов и городской среды от авиационных ударов.

Более серьезный подход к данной теме отмечается во время Второй мировой войны. В статье «Влияние войны на планировку городов» [2] В. Гроссман и Б. Коган делают обзор работ зарубежных специалистов по трем направлениям: перепланировка города, структура нового города и плотность застройки. В первом разделе статьи рассматриваются предложения английского специалиста Робсона, положения комиссии Британского института планировки городов и труд «Размещения промышленности в Англии» Общества политического и экономического планирования. По мнению Робсона, правильным путем сохранения города в условиях военных действий будет его децентрализация (рис. 1). Стоит отметить, что английский специалист являлся приверженцем идеи городов-садов, и поэтому в своем труде он подчеркивает, что города-сады по принципам планировки (отделены от зон промышленности зеленым поясом) отвечают условиям, которые диктует современная война.

Комиссия Британского института планировки также настаивала на точке зрения «пассивной» защиты города и рекомендовала максимально отдалить города от железнодорожных магистралей и автострад. Противоположной точки зрения придерживались члены Общества политического и экономического пла-

нирования. Они считали, что при рассредоточении промышленности одновременно приходится рассеивать оборонные средства на большой территории, что значительно ослабляет их эффективность [2]. Однако В. Гроссман и Б. Коган, ссылаясь на опыт войны, считают, что непроницаемых линий противовоздушной обороны не существует, и поддерживают идею децентрализации промышленности и населения. Второй раздел статьи посвящен разбору схемы нового города немецким планировщиком К. Отто. Согласно плану, город должен разделяться озелененными полосами и широкими магистралями на изолированные застроенные районы, а поселковая часть должна быть максимально удалена от промышленных предприятий. Довольно интересно К. Отто определял минимальную ширину немагистральных улиц (рис. 2): «Ширина между красными линиями застройки должна быть равна сумме высоты с обеих сторон улицы плюс проезжая часть шириною не менее 5,5 м» [2, с. 68].

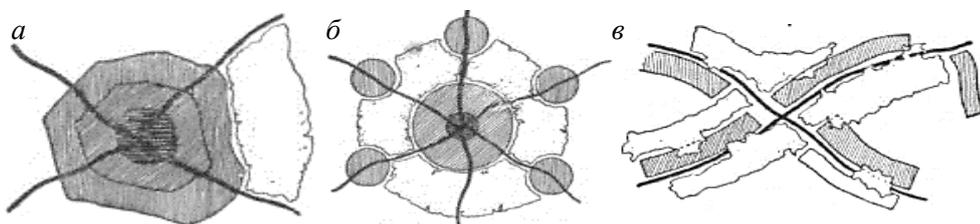


Рис. 1. Схемы планировки городов из журнала Architectural Record:

a – застройка центра и пригорода образует компактный массив; *b* – схема децентрализованного города с городами-спутниками за парковым кольцом; *c* – город, скрытый в лесопарковой зелени, тянется вдоль автомагистрали [2]

Fig. 1. Urban planning schemes from the Architectural Record Journal:

a – center and suburbs development; *b* – decentralized city with satellite cities outside the park ring; *c* – city, in the greenery along the highway [2]

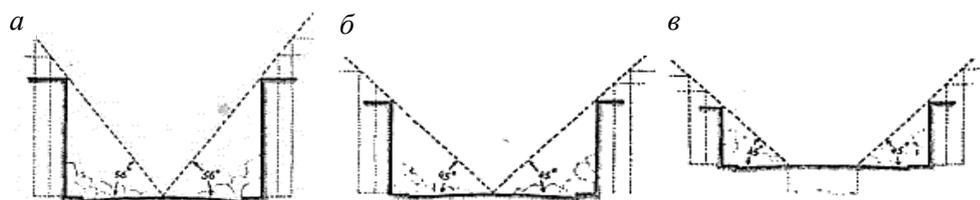


Рис. 2. Определение ширины улицы в разных странах с учетом возможного разрушения зданий:

a – турецкие и английские нормы (проект); *b* – германские нормы (проект); *c* – нормы, предложенные германским планировщиком К. Отто [2]

Fig. 2. Determination of street width in different countries with regard to building destruction:

a – Turkish and English standards (draft); *b* – German standards (draft); *c* – standards proposed by K. Otto [2]

Рекомендуемая К. Отто плотность застройки не должна превышать 150–180 чел. на га, в жилых кварталах целесообразно применять открытую застройку. Специалисты США и западных стран также признают малоэтажную застройку жилых кварталов. В завершении своей работы В. Гроссман и Б. Ко-

ган делают вывод, что к 1941 г. вопрос планирования городов в условиях противовоздушной обороны становится более обширным (особенно в Германии и Великобритании), но остается «неопределенным» в связи с постоянным развитием авиационной техники [2].

В следующих выпусках журнала «Архитектура СССР», начиная с 1941 г., статьи с описанием гипотез и опытов зарубежных специалистов на тему планирования городов или создания новых в условиях противовоздушной гражданской обороны не публикуются. Возможными причинами могли служить начавшаяся война на территории СССР и противостояние капиталистического и социалистического миров после Второй мировой войны. Лишь в 1945 г. в 10-м выпуске журнала «Архитектура СССР» автор, подписавшийся как Б.К., делает обзор трех проектов реконструкции Лондона. Анализируя представленные в обзоре данные, следует отметить, что ни в одном из проектов за основу не взята проблема противовоздушной обороны. При планировке фокус внимания нацелен на решение в основном жилищной и транспортной проблем. Единственный фактор, косвенно связанный с вопросами противовоздушной обороны, – это возможность децентрализации города и строительство городов-спутников для перегруппировки населения из старых городов [3].

Вопрос реконструкции городов после Второй мировой войны в СССР решался следующим образом. В 1943 г. был создан Комитет по делам архитектуры при Совете народных комиссаров СССР. В задачи ведомства входили контроль и централизация архитектурной деятельности в военный и послевоенный период. Анализируя содержание доклада председателя комитета Мордвинова «Художественные проблемы советской архитектуры» и писем «Восстановительное строительство и задачи архитекторов», опубликованных в сборнике «Архитектура СССР» [4], становится видно, что правительство при восстановлении разрушенных городов ставило в приоритет проблему не защиты, а проблему «художественную»: по созданию «подлинно социалистических городов с большими художественными ансамблями» [4, 5].

Заключение

В промежутке между двумя мировыми войнами архитекторы не могли в полной мере осознать масштабы разрушений, которые принесет следующий глобальный конфликт. Их рекомендации, основанные на опыте Первой мировой войны, имели в основном частный характер и сосредоточивались на отдельных аспектах защиты, таких как укрепление зданий и создание бомбоубежищ. Зарубежные архитекторы рассматривали и отмечали необходимость улучшения конструктивных решений и использования более прочных материалов, но не учитывали возможные массовые разрушения городской инфраструктуры.

Однако с началом Второй мировой войны ситуация кардинально изменилась: угрозы, исходящие от современных видов авиации и новых технологий ведения войны, требовали уже комплексного подхода к защите городской среды. В результате архитекторы и градостроители стали поднимать вопрос необходимости планирования городской среды в целом, включая децентрализацию инфраструктуры, создание защищенных зон и разработку новых градостроительных концепций, способных минимизировать последствия возможных бомбарди-

ровок. Смена парадигмы отражает не только новые реалии времени, но и глубокое понимание взаимосвязи между архитектурой и безопасностью населения.

Таким образом, во второй половине XX в. вопрос обороны городов в условиях противовоздушной обороны имел широкий охват: в странах Западной Европы проводятся первые конференции, иностранные архитекторы и инженеры разрабатывают экспериментальные проекты. Однако в советской архитектуре данная проблематика не являлась первостепенной: архитекторы лишь анализировали и давали оценочные суждения работ зарубежных коллег, собственные проекты не разрабатывались. Стоит также отметить, что и в странах Западной Европы в послевоенный период ни один из проектов не был реализован полностью в связи с постоянным развитием военной авиации и противоположностью идей и мнений различных авторов в вопросах защиты городов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Уткин М.* Вопросы противовоздушной обороны городов на конференции британских архитекторов // Архитектура СССР. 1938. № 11. С. 70–71.
2. *Гроссман В., Коган Б.* Влияние войны на планирование городов // Архитектура СССР. 1941. № 5. С. 67–70.
3. *Б.К.* Проекты реконструкции Лондона // Архитектура СССР. 1945. № 10. С. 33–39.
4. *Калинин М.И.* Восстановительное строительство и задачи архитекторов // Архитектура СССР. 1944. № 6. С. 1.
5. *Хмельницкий Д.С.* Советское градостроительство времен войны 1941–1945 // A Blessing in Disguise, War and Town Planning in Europe 1940–1945. 2013. С. 1.

REFERENCES

1. *Utkin M.* Issues of Urban Air Defense at the Conference of British Architects. *Arkhitektura SSSR*. 1938; (11): 70–71. (In Russian)
2. *Grossman V., Kogan B.* The Influence of War on Urban Planning. *Arkhitektura SSSR*. 1941; (5): 67–70. (In Russian)
3. *London B.K.* Reconstruction Projects. *Arkhitektura SSSR*. 1945; (10): 33–39. (In Russian)
4. *Kalinin M.I.* Restorative Construction and Tasks of Architects. *Arkhitektura SSSR*. 1944; (6): 1. (In Russian)
5. *Khmelnitsky D.S.* Soviet Urban Planning During the Great Patriotic War 1941–1945. A Blessing in Disguise, War and Town Planning in Europe 1940–1945. 2013. P. 1. (In Russian)

Сведения об авторах

Монич Диляра Ильдаровна, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, slmln@mail.ru

Монич Галина Ильдаровна, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, monichgalina.tsuab@gmail.com

Литвинова Ольга Геннадьевна, канд. ист. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, litvinovaolga1982@gmail.com

Authors Details

Diliara I. Monich, Graduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, slmln@mail.ru

Galina I. Monich, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, monichgalina.tsuab@gmail.com

Olga G. Litvinova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, litvinovaolga1982@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 26.06.2024
Одобрена после рецензирования 15.07.2024
Принята к публикации 16.09.2024

Submitted for publication 26.06.2024
Approved after review 15.07.2024
Accepted for publication 16.09.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 53–70.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 53–70.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 72.03

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-53-70

EDN: DPEMRV

ФОРМАЛЬНО-КОМПОЗИЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА

Арина Вениаминовна Лейзерова

Институт строительства и архитектуры

Уральского федерального университета

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Сохранение структурных элементов города, отражающих архитектурно-градостроительную культуру прошлого в любых масштабах, является важнейшей задачей настоящего времени. Это необходимо для достижения целей устойчивого развития, сохранения исторического наследия и культивирования бережного отношения к национальной культуре Российской Федерации. В контексте средовой проблематики важно учитывать морфологическую целостность исторически сложившейся городской среды, которую предложено рассматривать через призму формально-композиционной устойчивости.

Целью исследования является выявление наиболее устойчивых структурных элементов исторического центра Екатеринбурга на основе анализа их архитектурно-градостроительной эволюции.

Методологическую основу исследования составляют системный и исторический подходы, которые позволили автору последовательно проанализировать обширный материал с помощью градостроительного и ретроспективного анализа.

Результаты. В статье предложена периодизация формирования и развития структурных элементов исторического центра г. Екатеринбурга с начала образования города до настоящего времени, включающая шесть периодов: дореформенный, пореформенный, довоенный, военный и послевоенный, период развитого социализма и перестройки, постсоветский период. Воссоздана общая картина формирования структурных элементов исторического центра города, отражающая эволюцию формально-композиционного облика города в каждом выделенном периоде его исторического развития. Выявлены утраченные и наиболее устойчивые структурные элементы города, которые могут охраняться как историко-культурное наследие.

Ключевые слова: формально-композиционная устойчивость, структурный элемент города, исторический центр

Для цитирования: Лейзерова А.В. Формально-композиционная устойчивость структурных элементов исторического центра города Екатеринбурга // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 53–70. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-53-70. EDN: DPEMRV

ORIGINAL ARTICLE

**FORMAL AND COMPOSITION STABILITY
OF EKATERINBURG HISTORICAL CENTER****Arina V. Leizerova***Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russia*

Abstract. Preserving the city structural elements of architectural and urban planning culture, is currently the most important task. It is necessary to achieve a sustainable development, preserve historical heritage and cultivate a careful attitude towards the culture of the Russian Federation. It is important to take into account the morphological integrity of the historically developed urban environment, which is considered through the prism of formal compositional stability. The article presents the analysis of the architectural and urban development to identify the most stable structural elements of Yekaterinburg. Systematic and historical approaches are the methodology of the study, which allows to consistently analyze the extensive material using urban planning and retrospective analysis.

The article proposes periodic formation and development of the structural elements of the historical center from the beginning of the city formation to the present, including six periods: pre-reform, post-reform, pre-war period, war and post-war period, developed socialism and perestroika, post-Soviet period. Structural elements of the historical center are reconstructed, reflecting the evolution of the formal and composition aspect of the city in each period of its historical development. Lost and most stable structural elements of the city are identified and can be protected as heritage.

Keywords: composition stability, structural element, historical center

For citation: Leizerova A.V. Formal and Composition Stability of Ekaterinburg Historical Center. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturo-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 53–70. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-53-70. EDN: DPEMRV

Введение

В процессе глобализации и обезличивания городов становится все более заметной тенденция к обновлению облика крупных городов за счет их исторических территорий. Актуальность средовой проблематики¹, появившейся еще в 70-е гг. прошлого столетия, подтверждается возрастающим интересом общества к вопросам сохранения исторически сложившихся городских образований. Существующие инструменты, нацеленные на сохранение морфологии исторической среды города, не всегда справляются со своей задачей: историческая среда находится под угрозой уничтожения, когда в предмет охраны включают отдельные памятники или лишь часть фоновой застройки. Часто исторические территории и вовсе ничем не защищены. Для сохранения целостности традиционных структурных элементов исторической части города автором предложена модель архитектурно-градостроительной организации «культурно-исторических островов»² (далее – КИО), связанная с императивом устойчивого развития территории и используемая для классификации культурно-исторических территорий, а также решения проблемы фрагментарности отдельных структурных элементов города [1].

¹ Средовые методы постмодернизма в России и на Западе развивались с небольшим отставанием друг от друга (с разницей больше десятилетия).

² Предлагается закрепление территорий КИО разного типа в нормативной документации в качестве превентивной меры по обеспечению сохранности исторической среды [1].

В настоящей статье последовательно рассматривается архитектурно-градостроительная эволюция традиционных структурных элементов Екатеринбурга, выявляются факторы, оказывающие влияние на потерю устойчивости традиционных структурных элементов города, которые еще можно предотвратить в исторических центрах других городов Российской Федерации. Наиболее устойчивые структурные элементы города могут претендовать на получение статуса КИО или его части.

Современная документация по охранному зонированию критикуется многими исследователями. Неэффективность методики в правовом аспекте подчеркивают Э.А. Шевченко, Т.А. Вайнштейн, А.В. Лукашова, А.А. Никифорова и др. «Констатируется, что благие намерения, лежащие в основе охранного зонирования, обернулись активным разрушением исторической среды и окружения памятников» [2, с. 70]. Анализ результатов исследований, проведенных С. Грозовской [3], показывает, что историческая среда российских городов в основном сохраняется точно (памятники), а механизмы целостного регулирования городской ткани практически не работают [4]. Разрушенная целостность характерна и для исторических территорий Екатеринбурга, методика охранного зонирования которых не всегда справляется со своей задачей.

Методы исследования

В основе исследования лежат системный и исторический методологические подходы, которые в своей совокупности позволяют рассматривать специфику изменений структурных элементов исторического центра города через выявление их внутренних закономерностей развития. Использование градостроительного и ретроспективного анализа способствует рассмотрению изменений структурных элементов города через призму их эволюции по «стреле времени»: с начала образования города до настоящего времени. Обращение к историко-генетическому методу дает возможность раскрыть причинно-следственные связи при архитектурно-градостроительной эволюции исторического центра, а структурный метод позволяет выявить связи внутри структурных элементов города, обеспечивающие сохранение их основных свойств. В обозначенных временных рамках для анализа структурных элементов города были выделены следующие исторические периоды: дореформенный период (1723–1860), пореформенный период (1860–1917), довоенный период (1917–1941), военный и послевоенный период (1941–1964), период развитого социализма и перестройки (1964–1991), постсоветский период (1991 г. – настоящее время).

Анализом архитектурно-планировочных особенностей развития Екатеринбурга занимались многие отечественные исследователи: Л.П. Холодова, М.В. Голобородский, Л.И. Токменинова, С.И. Санок, Н.С. Алферов, Г.И. Белянкин, А.Г. Козлов, А.Э. Коротковский, Л.Г. Михайлова, К.Д. Бугров, Е.В. Иовлева, О.А. Бессонова. Исследователями выделяются два основных стилистических направления города – классицизм и конструктивизм, где влияние классицизма на последующие эклектику и модерн сделало его наиболее значимым стилем для дореволюционного Екатеринбурга³.

³ Глухова Е.С. Влияние классицизма на формирование стилей архитектуры Урала конца XIX – начала XX веков: специальность 521701: выпускная квалификационная работа магистра архитектуры. Екатеринбург, 2006. 141 с.

Формально-композиционный аспект устойчивости

Эволюция планировочной структуры Екатеринбурга соответствовала общей картине развития архитектуры и градостроительства России с XVIII в. до настоящего времени. Однако, в отличие от исторически сложившихся городов России, на планировочную структуру Екатеринбурга повлияло именно строительство заводов с их поселками (Верх-Исетский, Нижне-Исетский, Елизаветинский, Уктусский), где основой стала ось главной дороги (проспект Ленина), проходящая по верхней площадке заводской плотины. Екатеринбург в момент своего образования являлся заводом-крепостью, построенным по плану В.И. де Геннина как воплощение концепции идеального города эпохи Возрождения: квадрат в плане; регулярная планировочная структура уличной сети; плотина, формирующая главную центральную улицу в направлении «запад-восток» (крестообразное расположение планировочных осей по сторонам света) (рис. 1). Именно близость к взаимно пересекающимся осям плотины и пруда с заводскими цехами, повлиявшими на регулярную сетку улиц, обеспечила устойчивость планировочной структуры исторического центра во времени.

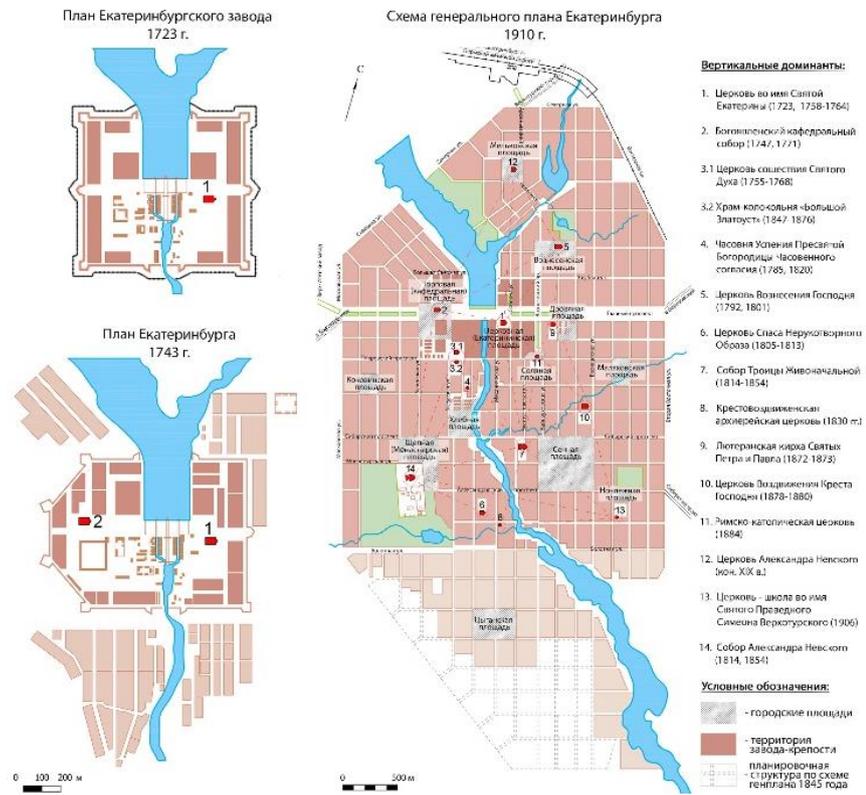


Рис. 1. Эволюция планировочной структуры исторического центра Екатеринбурга (выполнено автором на основе исторических карт города⁴)

Fig. 1. Evolution of planning structure of the historical center in Yekaterinburg

⁴ ГАСО. Ф. 24. Оп. 1. Д. 490. URL: <http://1723.ru/read/books/sverdlovsk-1980/s-1980-2.htm>; ГАСО. Ф. 191-Р. Оп. 1. Т. 3.

Дореформенный период характеризовался продолжением принципов регулярной застройки петровского времени, подчеркиванием главных городских улиц и симметрии плана крепости. Симметрия достигалась с помощью строительства вертикальных доминант в виде однокупольных деревянных храмов, увенчанных шпилем как главным атрибутом церквей горнозаводских поселений. Первыми вертикальными доминантами города стали церковь во имя святой Екатерины (1723–1726) и Богоявленская церковь (1747), которые во второй половине XVIII в. (1758–1774) были перестроены в камне. Церкви располагались по концам плотины на различных по назначению площадях: на Заводской (Церковной, Екатерининской) площади в восточной стороне крепости и на Торговой площади в западной стороне соответственно. Третья каменная церковь в честь праздника «Сошествие Святого Духа» (1755–1792) была построена за крепостной стеной в начале Купецкой слободы (старый толкучий рынок на перекрестке ул. Малышева и 8 Марта). Три первые церкви центральной части города композиционно объединяли в одно целое площади, плотину, пространство пруда и окружающую застройку [5]. К концу века на вершине Вознесенской горки сформировалась Вознесенская площадь, в западной части которой в 1760-х гг. была построена деревянная церковь Вознесения Господня.

В начале XIX в. происходит обновление и повышение капитальности застройки: развивается каменное строительство, завод и многие визуальные акценты перестраиваются в камне, появляются ансамбли застройки в структуре улиц и площадей, в том числе характерный для XIX в. монастырский ансамбль. Ново-Тихвинский женский монастырь, расположенный на Щепной (Монастырской) площади, отвечал эстетическим идеалам эпохи классицизма: прямоугольный план территории, башни на углах мощной ограды, ворота на главных композиционных осях – влияние идеального образа – небесного Иерусалима [6]. Для нового строительства часто использовались образцовые проекты как «высочайше утверждённые для частных строений фасады» [7]. Уже к середине XIX в. застройка города отличалась целостностью композиции, а видовые перспективы многих центральных улиц были дополнены вертикалями церквей.

Пышные формы барокко не были широко представлены в архитектуре города-завода, несмотря на господство стиля в период основания города. К редкому числу барочных зданий можно отнести главный собор – Богоявленский кафедральный собор (1771 (1747)–1930), Екатерининский собор (1758 (1726)–1930), облик которого был изменен в результате перестроек в начале XIX в., церковь Сошествия Святого Духа (1755–1768), церковь Вознесения Господня (1789–1792). Уже с 1760-х гг. господствующим стилем в России становится классицизм, строгость и лаконизм которого коррелировали с планировочной структурой «идеального» города и глубоко проникли в архитектурно-художественную жизнь Екатеринбурга. В архитектуре затянувшееся влияние классицизма отмечалось вплоть до середины XIX в., тогда как в центральных районах России в начале века уже формировалась первая стадия эклектики – романтизм⁵.

⁵ Движению романтизма соответствовал принцип «всеобщности», предполагавший разнообразие в единстве, который отразился в новом господствующем стиле – эклектике как «архитектуре выбора» [2, с. 118].

Геометрически правильная схема города, система видовых перспектив и площадей в качестве композиционных узлов, использование главной улицы в качестве композиционной оси – все эти принципы были отражены в планировочной структуре города и смогли упорядочить бесформенные очертания его разрастающихся территорий. Новый генеральный план способствовал формированию ряда новых площадей: Сенной, Хлебной, Дровяной, Коковинской, Малаховской, Мельковской, Соляной, Цыганской (см. рис. 1). Церкви должны были визуально связать между собой площади, однако многие площади так и не получили свой визуальный ориентир: отсутствие собора на Сенной площади (самой большой площади города) стало препятствием к формированию уравновешенной относительно собора Александра Невского (1854) композиции в южной части города. Уже существующие площади постепенно получали архитектурное оформление. Таким образом, структура центрального района современного генплана получила свои очертания еще в дореформенный период.

Пореформенный период развития структурных элементов Екатеринбурга характеризуется продолжением влияния горнозаводского ансамбля на композиционно-пространственную структуру центра, а также появлением сквера на заводской плотине и бульваров вдоль Главного проспекта⁶ (в настоящее время – бульвары на проспекте Ленина) и по границам города. Строительство за городской чертой первого здания железнодорожного вокзала привело к продолжению Вознесенского проспекта (в настоящее время улица Свердлова) вплоть до новой привокзальной площади. Утрата прежнего положения ведущего промышленного района⁷ стала причиной переориентации экономики Екатеринбурга и его трансформации к концу XIX в. в крупный транспортный и торговый центр. Новый статус города способствовал возрастанию роли торговых площадей и торговых зданий, о чем свидетельствует активная застройка центральных площадей и предзаводских территорий торговыми рядами [5]. Система площадей – Кафедральная, Екатерининская, Сенная, Вознесенская, Коковинская, Дровяная и Щепная (Монастырская) – играла важную роль в торговой жизни города.

В архитектуре города второй половины XIX в. преобладала эклектика, обращавшаяся в основном к русскому классицизму⁸. Так называемая «антиакадемическая» [9, с. 75] разновидность эклектики в виде романтизма и национального стиля была представлена в городе в меньшей степени и обращалась в основном к рационалистическому направлению в виде «кирпичного стиля», который преобладал в архитектуре промышленных зданий и комплексов. Эстетическое переосмысление кирпичной облицовочной кладки конца XIX в. способствовало распространению использования «кирпичного стиля» с утилитарных промышленных построек на общественные и жилые здания [2]. Несмотря на царящие в стране в этот период идеи народности и распространение

⁶ По замыслу М.П. Малахова была создана система зеленых бульваров вдоль Главного проспекта (генеральный план Екатеринбурга 1845 г.).

⁷ Причина крылась в острой конкуренции с вновь организованной в конце XIX в. промышленностью южно-русских заводов [8].

⁸ В противовес распространенной в России критике классицизма и курсу на национальное своеобразие, возникшему еще с начала царствования Николая I (1825–1855 гг.).

русского стиля в гражданском городском строительстве [10], влияние романтизма и национального стиля на эклектику Екатеринбурга представлено редкими объектами общественного и жилого назначения. Объекты культового назначения, еще согласно идеологической программе Николая I, строились в основном в русско-византийском стиле. К числу объектов, выполненных в соответствии с составленным К.А. Тоном альбомом образцовых проектов церквей, относится церковь Воздвижения Креста Господня (1880), ориентированная на образцы раннемосковского средневекового зодчества [11]. Псевдоготика была не так распространена и отразилась в облике лютеранской кирхи Святых Петра и Павла (1873) и римско-католической церкви Святой Анны (1884). Укрепление национального самосознания подтверждалось проявлением форм неорусского направления, выраженного деревянной застройкой с опорой на традиции деревянного зодчества.

К концу XIX в. набирает популярность новый стиль – модерн, являющийся реакцией на лишнюю правдивости и цельности архитектуру историзма [12]. Короткая эпоха стиля модерн⁹, стремящегося к всефасадности и целостности внутреннего и внешнего, оставила в Екатеринбурге свой яркий след в виде нескольких памятников архитектуры, в числе которых есть и образцы рационального модерна, отличающегося простотой форм, стремлением к вертикали и минимальным использованием орнамента. В стиле рационального модерна были построены: здание типографии «Гранит» (1914); многоквартирный жилой дом на ул. Тургенева, 22 (нач. XX в.); дом архитектора Ф.Н. Григорьева (1914), выполненный с использованием приемов кирпичного стиля. Особый интерес представляют памятники деревянного модерна¹⁰, распространенные благодаря широкому использованию древесины на Урале и отражающие культуру русского деревянного зодчества. Кроме того, стилиевые формы модерна широко использовались в архитектуре деревянных и каменно-деревянных жилых домов, выполненных в стиле эклектики.

Русский ретроспективизм¹¹ обращался к национальным мотивам традиционной архитектуры в виде русского неоклассицизма и неорусского стиля, тяготеющего к развитию традиций русской архитектуры допетровской эпохи [13]. Наибольшее распространение из двух направлений в городе получил неоклассицизм с ориентацией на европейскую классицистическую традицию. Влияние ретроспективизма, со свойственным ему обращением к историческим формам и сохранением признаков стиля-источника, прослеживается в формально-композиционных характеристиках следующих зданий исторического центра Екатеринбурга: здание филармонии (1915), комплекс зданий общества Красного Креста (1910), здание первой городской публичной библиотеки им. В.Г. Белинского (1916). Такая стилизация часто была обусловлена внимательным отношением к историческому контексту, которое зародилось в результате

⁹ В России модерн перестаёт существовать после Октябрьской революции 1917 г.

¹⁰ Как отмечает О.В. Орельская, деревянная застройка русских городов на рубеже веков представляла собой синтез черт народного крестьянского зодчества и направления стилиевой архитектуры, которое, минуя ориентацию на русский стиль, проходит через стадии модерна, неоклассицизма [10].

¹¹ Сформировался в начале XX в. как реакция на революцию 1905 г.

сформировавшегося в этот период представления о городе как художественном единстве [14].

К началу XX в. город увеличивается до границ, определенных генеральным планом 1845 г. Многие площади начинают застраиваться общественными зданиями: на главной Торговой (Кафедральной) площади города на месте гостиного двора строится здание Екатеринбургской городской Думы (1910), часть Дровяной площади занимает городской Театр оперы и балета (1912), на Сенной площади появляется здание начальной школы (1912), на Соляной площади – дом и больница доктора Сяно (1910), на Щепной (Монастырской) площади – здание Уральского горного института (1913). Генеральный план Екатеринбурга начала XX в. имел регулярную структуру, но без свойственных классицизму жестких градостроительных принципов: развитие индивидуального строительства иногда приводило к хаотичности новой застройки, реализующейся в интересах заказчиков и землевладельцев. Планировочная структура исторического центра современного Екатеринбурга была сформирована уже в пореформенный период, не получив в последующее советское время существенных планировочных изменений, но утратив в дальнейшем большинство исторических вертикальных доминант. Именно в пореформенный период на площадях начинают разбивать скверы, на улицах появляются бульвары, а ткань города постепенно освобождается от застройки по образцовым проектам¹².

Довоенному периоду предшествовало формирование структурных элементов исторической части города Екатеринбурга в целостное архитектурно-градостроительное образование. К началу данного периода элементы ткани образовывали прочную связь с каркасом, а их формально-композиционные характеристики соответствовали одному масштабу. Художественная выразительность среды исторического центра начала XX в. подтверждается описанием французского географа Элизе Реклю (1830–1905), который в своей книге «Земля и люди» отметил Екатеринбург с виднеющимися на горизонте волнообразными очертаниями Уральских гор как один из красивейших городов России, где высокие белые каменные дома с зелеными крышами похожего на глыбы малахита поднимаются над живописными деревянными домами, а господствующее положение в силуэте города занимают колокольни и позолоченные купола церквей [15].

Октябрьская революция 1917 г. спровоцировала ряд социальных, экономических и политических изменений, которые не миновали Екатеринбург. Только в 1920-е гг. начинается восстановление разрушенной промышленности, намечается строительство новых крупных заводов, развивается жилищное и общественное строительство, коммунальное хозяйство и благоустройство [16]. Для разгрузки города вокруг исторического центра начинают появляться новые районы, в том числе соцгорода¹³, построенные при заводах. Отдельные

¹² Отмену обязательного строительства в соответствии с образцовыми фасадами (1858 г.) связывают с предпосылками освободительных реформ [11].

¹³ Соцгород представлял собой самостоятельное замкнутое селитебное образование при промышленном предприятии и имел стабильные размеры и фиксированное количество населения в соответствии с количеством рабочих мест на фабрике (заводе). Аграрное и любое другое не промышленное функциональное предназначение соцгорода исключалось. Численность населе-

жилые районы российских городов «роднили с говардовскими поселениями-садами лишь внешние черты», а концептуально они отличались наличием собственной градообразующей базы с местами приложения труда для подавляющей массы населения [17, с. 74].

Во второй половине 1920-х гг. новая идеология общественного бытия проявляется в разработке жилых домов нового типа – домов-коммун, представляющих собой единый производственно-хозяйственный социокультурный комбинат и отвечающих принципам нового прогрессивного архитектурного направления – конструктивизма¹⁴. Комплексы зданий отличались друг от друга объемно-пространственными решениями, но каждый из них включал в себя озелененные пространства дворов-садов и предприятия коллективного бытового, а позже и культурного обслуживания. Для формирования новой коммунистической общности строились клубы, которые в городе были представлены двумя типами объемно-пространственных решений. Первый тип характеризовался двумя смежными или соединенными переходом самостоятельными объемами, а второй тип – клубными помещениями, сгруппированными вокруг центрально расположенной зрелищной части [18]. Особый интерес представляют спортивные клубы, детали которых имитируют ограждение палубы корабля и иллюминаторы самолета. Например, здание «Дом физкультуры» (1934), выгодно расположенное на стрелке Городского пруда, создавало образ рассекающего водную гладь носа корабля и долгое время оставалось акцентом в панораме города со стороны пруда.

Формирование соцгородов сопровождалось реконструкцией исторического центра, где «объектами нового строительства была образована система площадей вдоль главного проспекта, представляющая собой цепь новых функциональных зон и культурных центров» [19, с. 5]. Таким образом, вдоль проспекта Ленина (бывший Главный проспект) – главной магистрали города – формировались новые общественные центры (площадь Коммунаров (бывшая Верх-Исетская) – площадь 1905 года (бывшая Кафедральная площадь) – площадь Труда (бывшая Екатерининская площадь) – площадь Парижской коммуны (бывшая Дровяная площадь) – площадь имени Кирова, формируемая зданиями учебных корпусов Политехнического института). Многие утратившие свое значение торговые площади начинают активно застраиваться. Так, полностью исчезают Сенная и Коковинская площади. Частично застраиваются Щепная, Малаховская, Мельковская и Цыганская площади. Меняется и формирующая площади застройка. Кроме того, данный период характеризуется сносом большинства исторических вертикальных доминант, занимающих главенствующее положение в формировании облика исторического центра, образные характеристики которого были заложены с основания города.

Конструктивизм Екатеринбурга отличался комплексностью (полифункциональные промышленные комплексы, жилые комплексы, комплекс город-

ния соцгорода регулировалась по величине и социально-культурному составу за счет принудительных миграций и дефицита жилища [17].

¹⁴ К этому времени (1928 г.) М.Я. Гинзбургом уже был провозглашен функциональный метод, который связывал объемно-планировочные решения здания с идеалами жизнестроения советского общества.

ской больницы и пр.) и ограниченными возможностями объемно-планировочных решений в контексте плотной застройки исторического центра. Под новое строительство сносили целые территории усадебной застройки. На специфику конструктивизма в Екатеринбурге большое влияние оказали традиции классицизма, сформировавшие облик города к концу XIX в. Это влияние отразилось в статичности фасадных композиций и использовании принципов симметрии, например, в жилом комплексе «Второй Дом Советов» (1932). Трансформация творческой направленности¹⁵ советской архитектуры 1930-х гг. отразилась на архитектурных проектах в виде появления классического декора на зданиях с объемно-пространственными характеристиками конструктивизма. Несмотря на внешние факторы, влияние формально-композиционных принципов конструктивизма продолжалось до конца анализируемого периода: «Формообразующие архитектурно-строительные процессы конструктивизма продолжались в Свердловске вплоть до 1940-х гг., в то время как в стране они прекратились уже к середине 1930-х гг.» [19, с. 16].

Военный и послевоенный период город встретил подготовленным к художественно-эстетической концепции неоклассицизма, отмеченного на архитектурной конференции 1941 г. в качестве основы «нового единого советского стиля» в противовес «буржуазной эстетике» [21, с. 49–50]. Архитектурные решения зданий основывались на принципе симметрии и монументальности, использовании высокого аттика с рельефом и ризалита, оформленного портиком. В архитектурном аспекте темпы реализации провозглашенной концепции социалистического реализма и освоения наследия были снижены в военные годы. Эвакуация в город промышленных предприятий, музеев, факультетов и кафедр вузов Москвы, Ленинграда и Киева способствовала резкому росту числа жителей, который спровоцировал острый жилищный кризис [16]. Для решения жилищной проблемы использовалась в основном массовая индивидуальная малоэтажная жилая застройка усадебного типа, которая велась в соответствии с генеральным планом и схемами планировки жилых районов. В годы Великой Отечественной войны исторический центр подвергся застройке промышленными предприятиями, которые не были предусмотрены генпланом. В результате интенсивной застройки в этот период началось слияние рассредоточенной ранее застройки промышленных районов и основного ядра города [16]. Однако в городе сохранялась полицентрическая градостроительная система в виде комбинированной планировочной структуры, где регулярная планировка центрального ядра связывалась с окружающими районами радиальными связями.

В градостроительных решениях послевоенного Свердловска прослеживались четкая иерархичность, парадность, ансамблевость и театральность, свойственные неоклассицизму. Наглядным примером ансамблевой застройки являются жилые кварталы вдоль парадной въездной магистрали от вокзала в центр города (ул. Свердлова), застройка пр. Ленина от исторического центра до площади им. Кирова. Иерархичность проявлялась в доминирующем расположении неоклассицистических зданий в видовых панорамах города, часто формирующих замкнутые перспективы. Развитию советского неоклассицизма в архитек-

¹⁵ Постконструктивизм, развивавшийся в 1932–1936 гг. [20].

туре и градостроительстве Урала уделяли внимание многие исследователи: Н.С. Алфёров, А.Э. Коротковский, А.А. Стариков, В.А. Пискунов, Л.П. Холодова, А.В. Долгов, А.Г. Козлов, Р.М. Лотарёва, А.В. Попов, Л.И. Токменинова, Е.В. Иовлева и др. Исследователями выделяются следующие принципы неоклассицизма, используемые в организации архитектурной среды: периметральная застройка, увеличенный масштаб кварталов, симметрия и комплексность в решении городской среды, активный силуэт объемов, повышенная пластичность фасадов, принцип фасадности, пропорционирование в золотом сечении. На уровне деталей активно использовались ордерные системы и декор с военной и государственной символикой.

Пафос победившей страны послевоенного периода и потребность в торжественных пространствах для парадов и манифестаций нашли отражение в проектах реконструкции улиц и площадей. К наиболее масштабным относится реализованный проект реконструкции ул. Свердлова, расширивший ее в два раза. Для формирования целостного градостроительного ансамбля в стиле советского неоклассицизма пришлось снести целую улицу рядовой исторической купеческой застройки XIX в. Архитектурно-градостроительный ансамбль был регламентирован по высоте, масштабу и ритму фасадных композиций, образованных вертикальными и горизонтальными членениями стилизованных классицистических архитектурно-декоративных элементов. В военный и послевоенный период в результате застройки были окончательно утрачены Мельковская и Цыганская площади. На месте Хлебной площади был разбит Дендрологический парк (1948), а на северной стороне площади Парижской коммуны, напротив Театра оперы и балета, было построено здание бывшего Совнархоза (здание Уральского государственного университета им. М.А. Горького, 1954), занявшего одно из ключевых мест в формировании пространственно-композиционного узла пр. Ленина.

Вторая половина рассматриваемого периода (1954–1964) была ознаменована переломом в советской архитектурной политике. Борьба с архитектурными излишествами и экономия ресурсов отразились на архитектурном облике города в виде появления крупнопанельных типовых зданий, которые легли в основу микрорайонной жилой застройки. В начале 1960-х гг. в Свердловске постепенно отходят от фронтальной обстройки улиц, что приводит к новым масштабным соотношениям в застройке города. Появляется сочетание зданий разной этажности: впервые используются пяти- и девятиэтажные дома в системе из пяти взаимосвязанных микрорайонов, объединенных осью в виде пешеходного бульвара (территория в границах улиц Восточная – Бажова – Малышева – Маркса, архитекторы Л.Е. Богуславская, Н.В. Камчаткин, Н.А. Андреева). Свободно расставленные крупнопанельные жилые здания начинают располагать в соответствии с разнообразными композициями планировочных схем, разработкой которых часто ограничивалась художественная деятельность архитекторов в области утилитарной архитектуры.

Перелом от историзма к модернизму в полной мере отразился в уникальных представительских зданиях, выполненных по индивидуальным проектам. Потребность в выработке нового художественного языка, лишённого обращения к историзму, отсылала архитекторов к послереволюционной архитектуре

конструктивизма и западной архитектуре, где в поисках новой выразительности рождались проекты, соответствующие международным современным тенденциям. Доказательством тому служит разнообразие зданий Свердловска в стиле советского модернизма.

В градостроительном аспекте проект планировки города предполагал сохранение идеи компактности города и возвращение главенствующей роли пересекающихся композиционных осей плотины и пруда в планировочной структуре центра. Для этих целей был предусмотрен снос старого завода с последующей реконструкцией плотины и устройство на месте бывшего железодельного завода Исторического сквера (1962), что позволило раскрыть пространство и увеличить бассейн видимости на южную часть центральной части города с «кульминационной точки восприятия панорамы ансамблей центра города» [5, с. 22]. К концу данного периода свой современный вид получили площадь 1905 г. и Вознесенская площадь; была частично застроена площадь Малышева.

Период развитого социализма характеризовался продолжением развития советского модернизма, максимально проявившего себя в объемно-пространственных решениях крупных общественных зданий. Распространение современной индустриальной застройки не проходило без интервенций в исторический центр города, что отразилось на формировании гетерогенной среды в центре города. Разнообразие функционального оснащения центральной части накладывало свой отпечаток в виде появления в исторической среде города крупных общественных зданий, контрастирующих с окружающим культурно-историческим контекстом.

Для решения градостроительных проблем города в виде разнохарактерной застройки, большого количества ветхого жилья и необходимости выявления главных композиционно-пространственных осей со своими доминантами в 1972 г. был составлен генеральный план Свердловска [5]. Роль основной широтной оси композиционного построения генерального плана продолжала выполнять главная улица города – пр. Ленина, протяженность которого была увеличена в три раза. В 1970-х гг. на территории исторического центра были сформированы новые площади: Октябрьская и площадь Советской армии. Образование площадей велось путем сноса ветхой жилой застройки и строительства новых общественных зданий. К числу утраченных площадей в данный период добавились Сенная и Щепная.

Постсоветский период, период Российской Федерации характеризуется закреплением постмодернизма в архитектуре города, влияние которого начинает прослеживаться еще в 1970–1980-х гг. в проявлении следующих основополагающих принципов – контекстуализма, историзма, обращения к региональным и национальным особенностям и традициям, местного своеобразия, средового проектирования и включающего метода [22]. Для постмодернистских построек Екатеринбурга конца XX в. характерно обращение к локальному «культурному коду» в виде отсылок к стилям рубежа XIX–XX вв., тяготеющим к классицизму, эклектике и модерну. Интерес к местному наследию в стиле конструктивизма в 1990-е гг. только возрождался и не был проявлен в полной мере. Унифицированность советского модернизма и последующий этап застоя в строительстве повлияли на индивидуализацию в архитектуре постмодер-

низма, что усугублялось упрощением защиты проекта при его согласовании (без эстетического контроля со стороны государства или профессиональных союзов). Такая индивидуальность не всегда способствовала формированию диалога с исторической средой, что приводило к появлению фрагментарности в застройке исторического центра.

Архитектура основных стилистических направлений повлияла на дуальность контекстуализма Екатеринбурга, где в одних случаях использовался локальный «культурный код» в виде архитектуры классицизма, в других – переосмысливалось наследие конструктивизма. Такая дуальность стала местной особенностью контекстуализма. Однако не всегда использование приемов постмодернизма позволяло спасти город от диссонирующей застройки. Попытка вести диалог с исторической средой привела к появлению образцов «гетерохронного монтажа», где уменьшалась возможность гармоничного сосуществования разновременных зданий.

Сложившиеся центральные районы, представляющие историческую и культурную ценность, часто требуют реконструкции и благоустройства. Отсутствие единой градостроительной концепции развития застроенных территорий, учитывающей требования к работе с объектами культурного наследия и рядовой исторической застройкой, а также предусматривающей охрану исторической планировочной структуры, осложняет процесс реализации программы комплексного развития территории в границах исторического центра. Предусмотренные генеральным планом зоны особого регулирования градостроительной деятельности («Город-завод» и «Исторический Екатеринбург»¹⁶) не смогли защитить объекты историко-культурного наследия от воздействия современных зданий, часто не соответствующих основным формально-композиционным принципам исторической застройки (рис. 2). В результате эволюционного развития города на территории исторического центра Екатеринбурга сохранилось только четыре исторических вертикальных доминанты: церковь Вознесения Господня (1792, 1801); собор Троицы Живоначальной (1814–1854); церковь Воздвижения Креста Господня (1880); собор Александра Невского (1814, 1854). Отсутствие высотного регламента на территории исторического центра города привело к появлению современной диссонирующей застройки и утрате доминирующего положения исторических визуальных акцентов в панораме города.

На сегодняшний день к числу утративших свою формально-композиционную устойчивость можно отнести множество структурных элементов исторического центра Екатеринбурга. Например, утрачена устойчивость исторического района Царского моста (район ул. Розы Люксембург – Декабристов – Чапаева), цельность дореволюционной застройки которого была нарушена современными интервенциями и сносом исторических зданий (рис. 2). Территория отличалась европейским уровнем благоустройства и представляла собой сосредоточение усадеб культурной элиты XIX в.¹⁷ В районе помимо памятни-

¹⁶ Также планировалось создание общественно-культурного комплекса «Усадьбы старого Екатеринбурга» в районе ул. Декабристов и Чапаева, целостность которых была разрушена появлением современной внутриквартальной застройки.

¹⁷ Сохранением ансамбля у берегов р. Исети было озабочено общественное движение Екатеринбурга «Реальная история», которое предпринимало попытки сохранения уникальной историче-

ков федерального и регионального значения располагались и объекты ценной исторической застройки, не включенные в Реестр объектов культурного наследия. Именно они первыми попали под снос. В непосредственной близости к оставшимся историческим зданиям появилась современная застройка, многие объекты которой диссонируют по формально-композиционным характеристикам с опорной застройкой района. Гипертрофированный масштаб и повышенная высотность современных диссонирующих объектов привели к трансформации района Царского моста из ансамбля усадебной застройки дореволюционного Екатеринбурга в гетерогенную территорию современной застройки с редкими включениями памятников. Аналогичная ситуация произошла с районом ул. Октябрьской революции – Боевых дружин – Февральской революции – Челюскинцев (рис. 2), некогда представлявшим собой образец города XIX в. с преимущественно деревянной застройкой, где жили и работали мелкие торговцы и ремесленники.

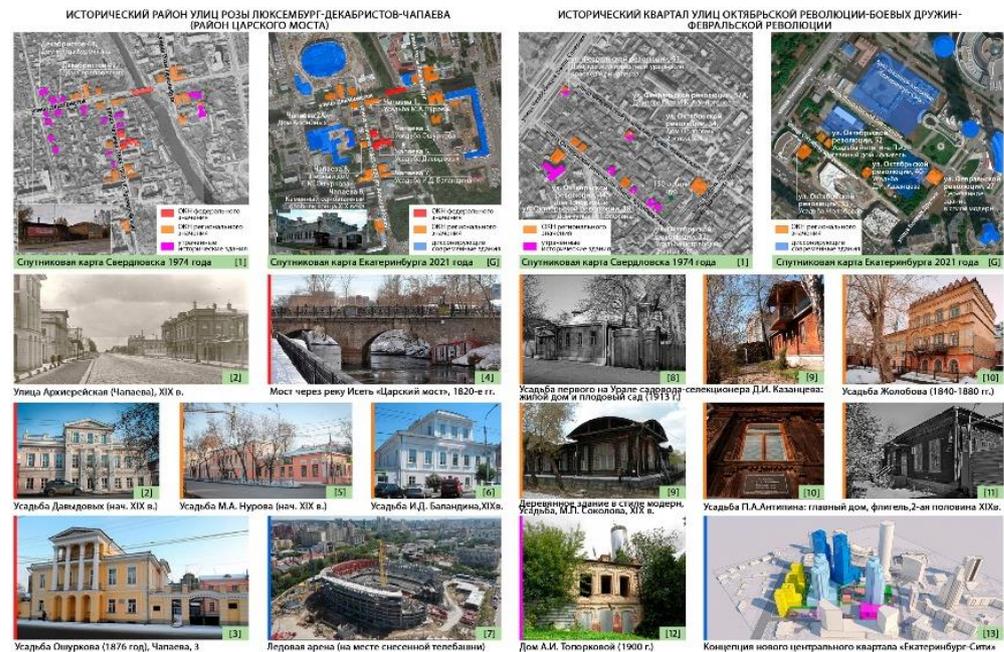


Рис. 2. Примеры утраченной исторической среды в Екатеринбурге¹⁸

Fig. 2. Examples of lost historical environment in Yekaterinburg

ской территории путем оформления статуса «Достопримечательное место», который мог бы предотвратить использование района Царского моста для новой застройки.

¹⁸ URL: http://semantic.uraic.ru/object/objectedit.aspx?object_id=9006&project=1; <https://okn.midural.ru/node/278>; http://semantic.uraic.ru/object/objectedit.aspx?object_id=9136&project=1; <http://wikimapia.org/24811866/ru/>; https://prawdom.ru/dom.php?hm=tolmacheva60067182_21; http://semantic.uraic.ru/object/objectedit.aspx?object_id=12141; <https://okn.midural.ru/node/450>; <http://semantic.uraic.ru/post/postbrowse.aspx?o1=12113&q=true&f=p>; <https://okn.midural.ru/node/387>; <http://bochenin.com/photo/23/39/435.html>; <http://its.ekburg.ru/sights/dom-poklevskih-kozell/#single>; <https://okn.midural.ru/node/406>; <http://www.brodyaga.com/pages/viewlarge.php?id=67246&cty=Ekatereburg&place=Russia%20Sverdlovsk®ion=Sverdlovsk>

Уникальность данной территории состояла в расположенном на ней памятнике регионального значения – усадьбе первого на Урале садовода-селекционера Д.И. Казанцева (1913) с уникальным садом плодово-ягодных деревьев. Общественники, обеспокоенные сохранением этого уникального места, предлагали наделить территорию охранным статусом «Достопримечательное место», но их предложение так и не было осуществлено. Многие исторические здания, включая памятники регионального значения (дом, где жил уральский краевед, и дом ювелира И.К. Афиногенова), были утрачены. Утверждение в установленном порядке зон охраны для исторических зданий данной территории могло бы уберечь эти объекты от уничтожения¹⁹ и не допустить разрушения целостности исторической среды уникального квартала.

К числу наиболее устойчивых структурных элементов города можно отнести лишь несколько улиц и площадей исторического центра (рис. 3). Их выделяет устойчивость градостроительной структуры, но формально-композиционные характеристики претерпели изменения в ходе исторического развития города.

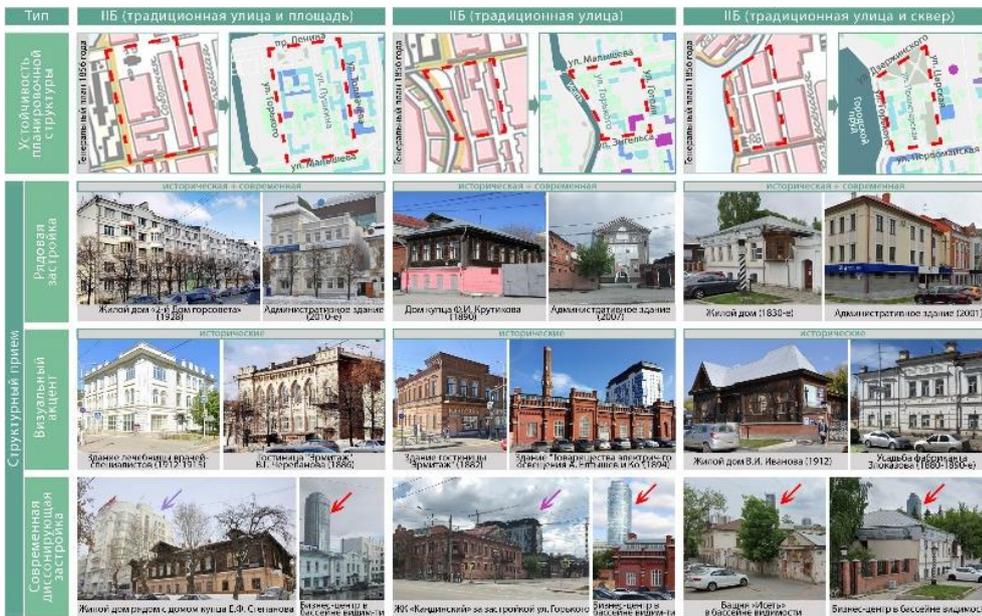


Рис. 3. Примеры наиболее устойчивых структурных элементов города (фрагменты плана 1856 г.)
 Fig. 3. Examples of the most stable structural elements

Тем не менее дуальность формально-композиционных характеристик, сформировавшаяся в результате взаимодействия застройки разных эпох, требует внимания к вопросу сохранения. Закрепление таких территорий в ПЗЗ в качестве КИО может способствовать не только охране сохранившихся памятников архи-

¹⁹ Большое количество исторических зданий находится в заброшенном состоянии, что приводит к их поджогам и возгораниям.
²⁰ ГАСО. Ф. 59. Оп. 4. Д. 4820; фрагменты современного плана города выполнены автором на основе данных 2ГИС; фото зданий – Google Earth™.

тектуры и зданий рядовой исторической застройки, но и поможет сформировать репрезентативные культурно-исторические территории, оказывающие благоприятное воздействие на развитие туризма и привлечение инвесторов.

Заключение

Таким образом, проанализирована эволюция формально-композиционного аспекта облика города на каждом этапе его исторического развития. Выявлены следующие формально-композиционные факторы, оказавшие влияние на потерю устойчивости традиционных структурных элементов города: минимальное количество визуальных акцентов в застройке, увеличенный масштаб структурного элемента, диссонирующая (не соответствующая характеру прежней застройки и композиции) современная застройка, наличие визуальных разрывов. Основной причиной диссонирующей застройки является отсутствие высотных регламентов и фрагментарный характер охранных зон в историческом центре города.

Проведенный анализ архитектурно-градостроительной эволюции исторического центра Екатеринбурга позволил воссоздать общую картину формирования его структурных элементов, отражающую эволюцию формально-композиционного аспекта облика города в каждом выделенном периоде его исторического развития. Выявлены утраченные и наиболее устойчивые структурные элементы города, которые могут охраняться как историко-культурное наследие.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лейзерова А.В. Архитектурно-градостроительная типология культурно-исторических островов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 65–81.
2. Лисицына А.В. Историко-архитектурная среда малых и средних городов Нижегородского Поволжья : специальность 05.23.20 : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры. Нижний Новгород, 2020. 570 с.
3. Грозовская С. Историческое поселение: почему не все города утверждают охранные документы? // Городские исследования и практики. 2022. № 7 (3). С. 65–79.
4. Матвеев Б.М. Деконструкция архитектурного наследия. Санкт-Петербург : Политехника-сервис, 2012. 423 с.
5. Голобородский М.В., Токменинова Л.И., Санок С.И. История генерального плана Екатеринбурга. 1723–2003. Екатеринбург : TATLIN, 2013. 40 с.
6. Голобородский М.В. Формирование и развитие композиции Ново-Тихвинского монастыря // Академический вестник УралНИИ проект РААСН. 2010. № 4. С. 67–72.
7. Белецкая Е.А., Крашенинникова Н.Л., Чернозубова Л.Е. и др. «Образцовые» проекты в жилой застройке русских городов XVIII–XIX вв. Москва : Госстройиздат, 1961. 206 с.
8. Холодова Л.П. Архитектура промышленных городов Урала второй половины XIX – начала XX веков : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры. Екатеринбург, 1994. 216 с.
9. Кириченко Е.И. Русская архитектура 1830–1910 годов. Москва : Искусство, 1978. 400 с.
10. Орельская О.В. Нижегородская архитектура XX века как отражение российского и зарубежного зодчества : специальность 18.00.01 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора архитектуры. Нижний Новгород, 2009. 48 с.
11. Градостроительство России середины XIX – начала XX века: общая характеристика и теоретические проблемы / под общ. ред. Е.И. Кириченко. Москва : Прогресс-Традиция, 2001. 337 с.
12. Михайлова Л.Г., Голобородский М.В. Архитектура деревянного модерна на Урале // Академический вестник УралНИИ проект РААСН. 2019. № 4. С. 61–66.

13. Бубнов Ю.Н. Архитектура Нижнего Новгорода середины XIX – начала XX века. Нижний Новгород : Волго-Вят. кн. изд-во. 1991. 176 с.
14. Пильявский В.И., Тиц А.А., Ушаков Ю.С. История русской архитектуры. Москва : Архитектура-С, 2004. 511 с.
15. Реклю Э. Земля и люди. Санкт-Петербург : Общественная польза, 1899. 1434 с.
16. Алферов Н.С., Белянкин Г.И., Козлов А.Г., Коротковский А.Э. Свердловск (строительство и архитектура). Москва : Стройиздат, 1980. 160 с.
17. Меерович М.Г. Градостроительная политика в СССР (1917–1929). От города-сада к ведомственному рабочему поселку. Москва : Новое литературное обозрение, 2017. 352 с.
18. Токменинова Л.И. Архитектура свердловского конструктивизма // Новая жизнь памятников архитектуры конструктивизма : сборник. Новосибирск : Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств, 2015. С. 94–102.
19. Токменинова Л.И. Архитектура Екатеринбурга: конструктивизм. Екатеринбург : ТД «Альянс», 2014. 176 с.
20. Стасюк К.В. Проблема стилевого многообразия в творчестве Моисея Рейшера: от конструктивизма к неоклассике, от вариаций неорусского стиля к архитектуре «хрущёвского минимализма» // Теория и история искусства. 2019. № 1–2. С. 51–64.
21. Иовлева Е.В. Неоклассицизм в архитектуре Свердловска: 1930–1950 гг. : специальность 18.00.01: диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры. Екатеринбург : Уральская государственная архитектурно-художественная академия, 2004. 153 с.
22. Фесенко Д. Заподзальный расцвет. О постмодернизме в советской архитектуре // INTERLOS. URL: http://www.intelros.ru/subject/figures/teoriy_arh_processa/6774-zapozdalyj-rascvet-o-postmodernizme-v-sovetskoj-arxitekture.html

REFERENCES

1. Leizerova A.V. Architectural and Urban Planning Typology of Cultural and Historical Islands. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020; 22 (5): 65–81. (In Russian)
2. Lisitsyna A.V. Historical and Architectural Environment of Small and Medium-Sized Cities of the Nizhny Novgorod Volga Region. DSc Thesis. Nizhny Novgorod, 2020. 570 p. (In Russian)
3. Grozovskaya S. Historical Settlement: Why don't All Cities Approve Protection Documents? *Gorodskie issledovaniya i praktiki*. 2022; 7 (3): 65–79. (In Russian)
4. Matveev B.M. Deconstruction of Architectural Heritage. Saint-Petersburg: Politehnika-service, 2012; 423 p. (In Russian)
5. Goloborodsky M.V., Tokmeninova L.I., Sanok S.I. Master Plan History of Yekaterinburg in 1723–2003. Ekaterinburg: TATLIN, 2013. 40 p. (In Russian)
6. Goloborodsky M.V. Formation and Development of Novo-Tikhvin Monastery Composition. *Akademicheskij vestnik UralNII proekt RAASN*. 2010; (4): 67–72. (In Russian)
7. Beletskaya E.A., Krashennikova N.L. et al. “Exemplary” Projects in Residential Development of Russian Cities in the 18–19th Centuries. Moscow, 1961. 206 p. (In Russian)
8. Kholodova L.P. Architecture of Industrial Cities of the Urals in 19th and Early 20th Centuries. DSc Thesis. Ekaterinburg, 1994. 216 p. (In Russian)
9. Kirichenko E.I. Russian Architecture in 1830–1910. Moscow: Iskusstvo, 1978. 400 p. (In Russian)
10. Orelskaya O.V. Nizhny Novgorod Architecture of the 20th Century as Reflection of Russian and Foreign Architecture. DSc Abstract. Nizhny Novgorod, 2009. 48 p. (In Russian)
11. Kirichenko E.I. (Ed.) Urban Planning in Russia in the Mid-19th and Early 20th Centuries. Research Institute of Theory of Architecture and Urban Development Moscow: Progress-Traditsiya, 2001. 340 p. (In Russian)
12. Mikhailova L.G., Goloborodsky M.V. Modern Wooden Architecture in the Urals. *Akademicheskij vestnik UralNII proekt RAASN*. 2019; 4: 61–66. (In Russian)
13. Bubnov Yu.N. Architecture of Nizhny Novgorod in the Mid-19th and Early 20th Centuries. Gorky: Volgo-Vyatskoe Izd., 1991. 176 p. (In Russian)
14. Pilyavsky V.I., Tits A.A., Ushakov Yu.S. History of Russian Architecture. Moscow: Arkhitektura-S, 2003. 511 p. (In Russian)

15. *Reclus E.* Earth and People. Saint-Petersburg: Obshchestvennaya pol'za, 1899. 1434 p. (Russian translation)
16. *Alferov N.S., Belyankin G.I., Kozlov A.G., Korotkovsky A.E.* Sverdlovsk (Construction and Architecture). Moscow: Stroyizdat, 1980. 160 p. (In Russian)
17. *Meerovich M.G.* Urban Development Policy in the USSR (1917–1929). From Garden City to Departmental Industrial Community. Moscow: Novoe literaturnoe obozrenie, 2017. 352 p. (In Russian)
18. *Tokmeninova L.I.* Architecture of Sverdlovsk Constructivism. In: New Life of Monuments of Constructivist Architecture. Novosibirsk, 2015. Pp. 94–102. (In Russian)
19. *Tokmeninova L.I.* Architecture of Yekaterinburg: Constructivism. Ekaterinburg: Al'yans, 2014. 176 p. (In Russian)
20. *Stasyuk K.V.* Stylistic Diversity in the Work by Moses Reischer: From Constructivism to Neoclassicism, from Variations of Neo-Russian Style to Architecture of “Khrushchev Minimalism” *Teoriya i istoriya iskusstva.* 2019; (1): 51–64. (In Russian)
21. *Iovleva E.V.* Neoclassicism in Sverdlovsk Architecture (1930-1950). PhD Thesis. Ekaterinburg: Ural State Architectural and Art Academy, 2004. 153 p. (In Russian)
22. *Fesenko D.* Belated Blossoming. About Postmodernism in Soviet Architecture. Available: http://www.intelros.ru/subject/figures/teoriy_arh_processa/6774-zapozdalyj-rascvet-o-postmodernizme-v-sovetskoj-arxitekture.html (In Russian)

Сведения об авторе

Лейзерова Арина Вениаминовна, архитектор, ст. преподаватель, Институт строительства и архитектуры Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 17, leyzerova@bk.ru

Author Details

Arina V. Leizerova, Senior Lecturer, Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin, 17, Mira Str., 620002, Ekaterinburg, Russia, leyzerova@bk.ru

Статья поступила в редакцию 20.05.2024
Одобрена после рецензирования 12.07.2024
Принята к публикации 17.09.2024

Submitted for publication 20.05.2024
Approved after review 12.07.2024
Accepted for publication 17.09.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 71–83.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 71–83.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 72.035.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-71-83

EDN: EKCUN

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АРХИТЕКТУРНО-ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ИСТОРИЧЕСКОГО ГОРОДА ЮРЬЕВЦА НА РУБЕЖЕ XVII–XVIII ВВ.

Анна Юрьевна Алексеева

*Новосибирский государственный университет архитектуры,
дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова, г. Новосибирск, Россия*

Аннотация. Актуальность исследования заключается в анализе развития городской застройки и архитектуры г. Юрьевца Ивановской области на рубеже XVII–XVIII вв. с учетом исторических событий и культурных влияний того времени.

Цель работы – выявление ключевых факторов, определяющих формирование городского пространства и архитектурной среды данного исторического периода. Для достижения поставленной цели использовался метод анализа исторических документов и литературных источников.

Результаты исследования показывают, что внутренняя структура и планировка городской застройки Юрьевца были сформированы под влиянием различных факторов, таких как топография, исторические события, реформы Петра I и влияние Русской православной церкви. В конце XVIII в. архитектурная среда города приобрела художественное единство, отражая унификацию и модернизацию городского пространства.

Выводы исследования подчеркивают значимость архитектуры Юрьевца как этапа становления русского зодчества, выделяя его собственные ценности и отличия от древнерусских традиций. Результаты работы могут быть использованы для дальнейших исследований в области истории архитектуры и градостроительства.

Ключевые слова: малый исторический город, историко-культурное наследие, архитектурная среда, градостроительное развитие

Для цитирования: Алексеева А.Ю. Ретроспективный архитектурно-градостроительный анализ развития исторического города Юрьевца на рубеже XVII–XVIII вв. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 71–83. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-71-83. EDN: EKCUN

ORIGINAL ARTICLE

**RETROSPECTIVE TOWN-PLANNING ANALYSIS
OF YURYEVEVS HISTORICAL DEVELOPMENT
AT THE TURN OF 18TH CENTURY****Anna Yu. Alekseeva***Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts,
Novosibirsk, Russia*

Abstract. The paper analyzes the urban development and architecture of Yuryevets at the turn of the 18th century, including historical events and cultural influences.

Purpose: The aim of the work is to identify the key factors of urban space and architectural environment formation in this historical period.

Methodology: The analysis of historical documents and literary sources.

Research findings: It is shown that the internal town structure and its urban development are influenced by various factors such as topography, historical events, reforms of Peter the Great, and the Russian Orthodox Church. At the end of the 18th century, the architectural environment of the town acquired artistic unity, reflecting the unification and modernization its space.

Practical implications: Research findings can be used in further research into the history of architecture and urban planning.

Value: The study emphasizes the importance of the Yuryevets architecture during the formation of the Russian architecture, highlighting its own values and differences from ancient Russian traditions.

Keywords: small historical town, historical and cultural heritage, architectural environment, urban development

For citation: Alekseeva A.Yu. Retrospective Town-Planning Analysis of Yuryevets Historical Development at the Turn of 18th Century. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 71–83. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-71-83. EDN: EKCUUN

Введение

Объектом исследования является малый исторический город Юрьевец Ивановской области, основанный в домонгольский период, который имеет богатое культурное наследие. Юрьевец развивался как центр промышленного, сельскохозяйственного и административно-культурного значения. Города такого типа отражают в своем историческом развитии процесс расширения и укрепления Российского государства. Ход исторического объединения русских земель естественным образом определил координаты пространства и времени исторического города.

Предметом исследования является процесс градостроительного развития г. Юрьевца на рубеже XVII–XVIII вв., в том числе хронологический аспект этого процесса.

Основная цель исследования заключается в подробном изучении процесса развития исторического поселения в ключевой период его градостроительной и архитектурной истории. Задачи исследования включают в себя анализ истории г. Юрьевца на рубеже XVII–XVIII вв. и выделение особенностей его градостроительного развития по хронологическому признаку.

Изучение историко-культурного наследия исторического малого города Юрьевца имеет особую актуальность, определенную угрозой исчезновения ценных объектов архитектуры и городской историко-культурной среды как целостного образования под воздействием ускоренных процессов глобализации.

Для исследования градостроительного развития русского города XVII–XVIII вв. важны сохранившиеся в значительном количестве документальные материалы. Среди различных источников, которые помогают проследить основные этапы развития градостроительной структуры Юрьевца, особое значение имеют немногочисленные картографические материалы, дошедшие до нашего времени в оригинальном виде или в копиях. В своих трудах изучением истории архитектуры г. Юрьевца как единого диалектически развивающегося процесса занимались Н.А. Мерзлютина, Вл.В. Седов, А.П. Ильин, И.В. Купцов, Р.И. Платонова, Л.Л. Полякова и др.

Историко-культурная территория определяется как особое пространственное образование, формирующееся путем объединения ценных исторических объектов искусства и архитектуры, сохранившихся в естественной и социокультурной среде. Среда объективно связана с экономическими, географическими и этническими факторами, образуя единый комплекс. Отметим, что Юрьевец может рассматриваться как собирательный образ малого исторического города.

Материалы и методы исследования

Исследование включает в себя подробное изучение на местности архитектурной среды выбранного поселения и анализ научных источников: публикаций, литературных источников и архивных документов. Применение экспертной оценки и сравнительного анализа в методике обеспечивает достоверность результатов. Данная методика основана на опыте предшествующих исследований.

Результаты

Историческая среда – облик населенного пункта, отражающий целый комплекс культурных процессов. Следовательно, изучение исторической ретроспективы г. Юрьевца приобретает глубокий характер.

В созвездии известных волжских старинных русских поселений Юрьевец занимает свое неповторимое место. Он входит в перечень 115 древних городов, являющихся значимыми элементами национальной культуры. Старейший город Юрьевец расположен на правом берегу р. Волги, напротив впадения судоходных рек Унжа и Нёмда. Водные пути способствовали раннему возникновению поселений. Рельеф местности удобен для строительства защитных сооружений. При раскопках на территории города обнаружены предметы фатьяновской культуры и остатки укрепленного городка VI–VII вв. Речь идет о городище Пушкариха, погребальном комплексе, расположенном на северной окраине современного Юрьевца [8, с. 6].

Заложен современный город был в 1225 г. владимировским князем Георгием Всеволодовичем на Георгиевской горе. Месторасположение Юрьевца, также известного как Георгиевск, сделало его ключевым оборонительным стратегическим пунктом на восточной границе Владимиро-Суздальской Руси.

В своей работе «Основание Юрьевца: легенды и факты» А.П. Ильин указывает на важность этого населенного пункта. По мнению автора, его роль стала особенно заметной в контексте славянской колонизации Верхнего Поволжья, которая приобрела интенсивность с XIII в. Во времена правления Юрия Долгорукого этот процесс был в начальном состоянии [4, с. 12]. В.Н. Татищев писал: «Княжеская экспансия шла по Волге сверху вниз, постепенно овладевая отдельными районами Волги – Ярославль – выход на Волгу, Кострома и Юрьевец, перекрывшие Волгу от набегов новгородцев, черемисов, болгар, затем Нижний Новгород, защищавший Волгу и Оку от набегов болгар» [11, с. 284–285].

Информация о первой юрьевецкой крепости ограничивается указанием, что она располагалась на Георгиевской горе и была построена из дерева (рис. 1). Однако можно представить, как она могла выглядеть, т. к. строительство деревянных крепостей на Руси следовало определенным правилам, передаваемым из поколения в поколение. Обычно крепости строились на земляных валах, окруженных рвами, с высокими стенами, состоящими либо из вертикально установленных заостренных бревен (в таком случае крепость называлась острогом), либо из двух рядов горизонтально уложенных бревен с засыпанным землей пространством между ними (так называемая городня). Стены крепости имели башни, некоторые из которых служили для проезда. На вершине стен обычно размещались площадки для защитников [8, с. 14].



Рис. 1. Макет города-крепости Юрьевца-Повольского в XIII в. на Георгиевской горе. Историко-художественный музей г. Юрьевца

Fig. 1. Layout of the fortress town of Yuryevets-Povol'sky in the 13th century on St. George's Hill. The Historical and Art Museum of Yuryevets

Данных об историческом развитии Юрьевца до конца XVI в. сохранилось мало. Известно, что он входил в Суздальско-Нижегородское княжество. В 1451 г. окончательно присоединён к Московскому княжеству. В 1556 г. приписан в опричнину. Среди городов Ивановской области Юрьевец выделяется как наиболее древний и часто упоминаемый в летописях. Самым ранним описанием города стала сотная грамота 1593–1594 гг. В Юрьевце было в то время 248 жилых дворов, 264 жителя мужского пола. Было развито скотоводство, рыболовство и ремесленничество, выделка кожи и овчины, топорное и кузнечное ремесло, иконопись. В состав населения входили ямщики, скоморохи, служители церквей. На базарной площади – 69 торговых мест [9, с. 704]. Однако город был застроен

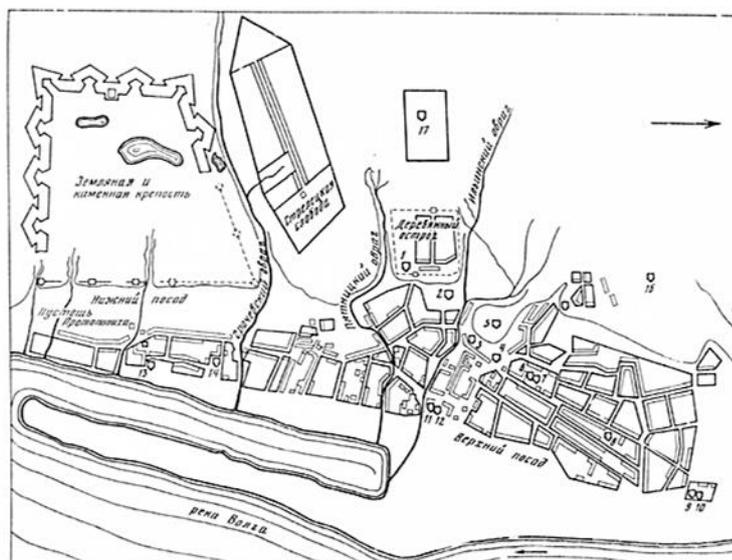
хаотично. Главная улица, параллельная берегу Волги и ограниченная Георгиевской горой с одной стороны, была окружена многочисленными переулками, открывающими вид на реку. Кварталы располагались в извилистом порядке, без четкого плана. Из-за тесноты улиц передвижение по городу было затруднено настолько, что требовалась полная реконструкция всей застройки города.

Развитие и формирование древнерусских городов тесно связано с особенностями их местоположения, рельефом и топографией. Юрьевец демонстрирует, что ключевые исторические события – это основные факторы, определившие его архитектурный образ с начала XVII в. Большое значение имеет структура пространственной композиции древнерусского города. Оказывает заметное влияние дорегулярный период архитектурно-градостроительного развития. На этом этапе формируются основные оси композиции и планировки города, происходит естественный рост городской территории, вызванный внутренними изменениями. В этот период также складывается центральная часть города, где располагаются административные, религиозные, торговые и производственные сооружения.

В Смутное время Юрьевец неоднократно разоряли и сжигали сторонники Лжедмитрия II, следовательно, сохранение укрепленного центра на восточных рубежах было крайне необходимо. Быстрому восстановлению Юрьевца способствовало сложившееся Русское государство. В начале XVII в. события шведско-польской интервенции оказали значительное влияние не только на развитие Юрьевца, но и на всю страну, открыв новую эпоху в их истории. Город смог отразить атаку войск А. Лисовского в 1609 г., несмотря на утрату своей старой крепости, которая располагалась в историческом центре Юрьевца, таким образом важность города в военном значении осталась неизменной.

По завершении Смутного времени внутри страны сохранялась политическая нестабильность в связи с продолжительными конфликтами на западных границах. После проведения военно-тактического анализа завершившихся битв в период 1598–1618 гг. власти осуществляют действия по укреплению внутренней безопасности государства. Стоит задача реставрации старых и возведения новых объектов фортификационного строительства по всей Центральной России в соответствии с политической программой династии Романовых. Понимая стратегическую важность месторасположения Юрьевца и его социокультурную значимость, в 1661 г. по указу царя Алексея Михайловича возводится каменная крепость, которая сооружается по всем правилам фортификации того времени.

На Каменную крепость в градостроительном отношении обратила внимание Р.И. Платонова, специально занимавшаяся изучением планировки Юрьевца в конце XVII в. Автор отметила, что Юрьевец, подобно большинству русских городов, начал свое существование с постройки крепости [6, с. 90]. В опубликованном исследователем схематическом плане Юрьевца 1676 г. (рис. 2), составленном на основе плана города конца XVIII в. (1781 г.), планировочная структура Юрьевца, сложившаяся к тому времени, отображает его силуэт, пространственные очертания и основные композиционные акценты. На плане 1676 г. показан «каменный город» в южной части города. Р.И. Платонова констатирует большой масштаб крепости и предполагает, что она могла быть построена из белого камня, что и позволило местным жителям называть ее «Белым городом» [6, с. 96].



План города Юрьевца-Поволжского, 1676 г.

1 — у. Воскресения; 2 — Бозоявленский монастырь; 3 — у. Печерская; 4 — у. Входа в Иерусалим; 5 — у. Георгиевская; 6 — у. Тихвинская; 7 — у. Рождество Христова; 8 — Преображенский монастырь; 9 — у. Сретения; 10 — у. Усекновения главы Иоанна Предтечи; 11 — у. Благовещения; 12 — у. Вознесения; 13 — у. Казанская; 14 — у. Покровская; 15 — у. Спасо-Преображенская; 16 — у. Троицы; 17 — у. Перекресток Пятницкий.

Рис. 2. План города Юрьевца-Поволжского, 1676 г. [6]

Fig. 2. Plan of Yuryevets-Povolzhsky, 1676 [6]

К северу от Белого города за Грачевским оврагом стояла стрелецкая слобода, через которую проходила дорога на Нижний Новгород. Таким образом, на вершине приволжских гор были возведены две крепости – стрелецкий Острог и Каменная крепость. Историк архитектуры и археолог Вл.В. Седов в своем исследовании «Белый город в Юрьевце» пишет: «Белый город был в значительной степени возведен, почти окончен, и это была довольно большая крепость (примерно 270×100 сажен), состоящая из валов, обведенных рвами и укрепленных бастионами (8 бастионов, названных земляными башнями), и каменных стен, которые были только намечены («набучены», т. е. для них был выложен фундамент)» [10, с. 63]. Вл.В. Седов ссылается на распространенное среди знатоков мнение, что к строительству Белого города были привлечены иностранные специалисты [10, с. 71].

Немаловажно отметить, что Каменная крепость символизировала власть и религиозные убеждения в стране. Так, в своем историко-краеведческом очерке «Юрьевец» Л.Л. Полякова пишет: «Строительство новой крепости имело целью запугать местное население и держать в повиновении всю округу. Уже сам его размах должен был произвести соответствующее впечатление» [8, с. 16].

Однако судьба Каменной крепости сложилась трагично. Военно-политическая обстановка внутри страны и на ее внешних границах улучшилась, и, как следствие, отпала необходимость в дополнительном укреплении городов. Поэтому строительство объектов оборонительного характера было прекращено. Так, в 1823 г. крепость была разобрана на кирпич для дальнейшего использования в городском строительстве [3, с. 216]. Это привело к потере одной из зна-

чительных архитектурных доминант города. До настоящего времени дошли лишь остатки валов, пруды и название «Белый город».

Известные художники братья Чернецовы, путешествовавшие по Волге в 1838 г., с сожалением писали об утрате исторического памятника: «Недавно еще тут находились две огромные каменные башни, украшавшие собою берег Волги. Они стояли на высокой горе, как маяки» [12].

Писцовая и межевая книги по Юрьевцу-Поволжскому и Стрелецкой слободе, составленные в 1676 г., содержат достоверные сведения о территориальном делении и застройке города в этот период. В XVII в. площадь «посадной земли» была примерно втрое меньше современного Юрьевца. Планировочная структура города сложна в своей центральной части. Острог связывает улицы с берегом Волги, с торгом, с Верхним и Нижним посадами. В результате образовалась сложная уличная структура, в которой просматривается трёхлучие центральной части города. Торговая площадь, вытянутая от Георгиевской горы до прибрежной части, определила главное назначение Юрьевца-Поволжского как торгового города.

Во второй половине XVII в. Юрьевец обладал самой развитой сетью вертикалей за всю свою историю. В 1676 г. в нем насчитывалось 14 приходских церквей и 3 монастыря. Все постройки деревянные [2, с. 51–59]. Всклопленный высокий берег с оврагами предопределил свободную планировку древнего Юрьевца. Криволинейные очертания улицы, следуя всем изменениям рельефа, приводили к сформировавшемуся уже в сер. XVII в. центру города у подножия Георгиевской горы. Основная часть селитбы и общественные центры сконцентрировались на узком прибрежном посаде и образовали фронтальную композицию, лучшие виды которой раскрывались при восприятии с реки. Первый план панорамы был выделен вертикалями шатровых церквей (Казанская, Покровская, Благовещенская и Вознесенская), дополняемых также в нижнем ярусе застройки церквями двух монастырей (Преображенского и Сретенского), стоявших у берега, а фон составляли горы с храмами и крепостными сооружениями на вершинах.

Здесь на второй самой широкой береговой террасе была расположена главная соборная и торговая площадь, через нее проходила «проезжая большая улица». Церкви – соборная Входаиерусалимская и приходские Печерская, Тихвинская и Христорожественская – организовывали обширное пространство центра, а его композиционным ядром являлась Георгиевская гора, также с церковью. Отделенный от Георгиевской горы оврагом, недалеко от крепости, на Симоновой горе, в 1620 г. был основан Божоявленский монастырь [13, с. 279–280].

В Юрьевце того времени наиболее распространенным церковным зодчеством являлась постройка, состоящая из четырех углов с прирубам и трапезной, имеющая пирамидальный силуэт с основным выделенным объемом, который завершался шатром. Во второй половине XVII в. центральный собор и, вероятно, церкви второго яруса завершались «главками на шеях». Колокольни играли важную роль в общем ансамбле города. Вдоль глубокого оврага, разделяющего посад на две части, стояли две колокольни. Одна – шатровая «на столбах», на ней «шесть колоколов и часы боевые» – находилась рядом с Входаиерусалимским собором; другая, тоже шатровая – на трапезной церкви Вознесения, у реки [9, с. 710].

Писцовая книга дает некоторое представление о жилой и общественной архитектуре Юрьевца. Из описания можно сделать вывод, что как жилищные, так и общественные здания были построены из простых деревянных брусьев. Основную массу домов составляли небогатые жилища из одной клетки, поднятой на подклет. Застройка приближалась к свободному усадебному характеру, близкому к сельскому. Богатые хоромы имели большие участки, остальные дома располагались плотнее [9, с. 93]. Юрьевец относится к типу «прибрежных городов». Река в истории города являлась основой хозяйственной деятельности населения. Особенности линейного плана «прибрежного» Юрьевца – это направление береговой террасы, полное раскрытие уличного пространства на реку, внутренние связи посадок с острогом и историческим ядром. Взаимодействие всех факторов и учет природного ландшафта создали во второй половине XVII в. богатый архитектурный силуэт. В 1681 г. в составленном патриархом Иоакимом списке городов, где «надлежало быть епископу», Юрьевец впервые назван городом [8, с. 21].

В начале XVIII в. произошли значительные изменения в административной структуре Юрьевецкого уезда. В результате первого административного деления, проведенного Петром I в 1708 г., Юрьевец был включен в состав Казанской губернии [5, с. 39], а в 1719 г. перешел в Московскую губернию.

В Юрьевце, начиная с XVIII в., каменное строительство начало широко распространяться, и здания, построенные до осуществления нового генерального плана, имели наибольшее воздействие на его городскую планировочную структуру. Строения в Юрьевце, как правило, возводились на прежних местах, что укрепляло основные композиционные и градостроительные доминанты. В книге энциклопедического характера, посвященной наследию Ивановской области, говорится: «В этот период возводятся значительные сооружения. Отстраивается в камне Входоиерусалимский собор (1733), восходящий по формам к традиционному посадскому храму: двусветный куб, увенчанный пятью главами, с полукруглой апсидой и небольшой трапезной, ранее соединявшей храм с колокольней, последняя ныне утрачена. Постановка каменного объема собора у подножия Георгиевской горы положила начало формированию в центре города ныне существующего храмового комплекса. В 1757 г. на северной оконечности Юрьевца был сооружен каменный храм Сретенского монастыря, в его облике сказалось влияние архитектуры уже существующих храмов (Благовещения и Богоявления). В 1764 г. южнее центра на берегу Волги была построена каменная Покровская (Вознесенская) церковь. Изящный пятиглавый храм с невысокой восьмигранной колокольней, увенчанной шпилем, был интересен необычной двухосевой композицией фасадов, расчлененных полуколонками, наложенными на лопатки» [9, с. 708].

В 1779 г. Юрьевец был включен в Нижегородскую губернию. В связи с присвоением городу в 1787 г. статуса уездного Костромского наместничества [9, с. 709] землемером Федором Гине был составлен обмерный план города. Топографический план зафиксировал все сложившиеся на протяжении веков планировочные узлы города. План Гине стал основой для проекта регулярной планировки 1781 г., предполагавшего застройку города разместить на склонах и верхнем плато [7, с. 157]. Этот план графически иллюстрирует материалы Писцовой книги, поскольку город не рос и сохранил планировку предшеству-

две длинные улицы, пересеченные под прямым углом переулками, выходящими к Волге.



Рис. 4. План г. Юрьевца-Повольского. Чертеж В. Рудольского (1795 г.). Историко-художественный музей г. Юрьевца

Fig. 4. Plan of Yuryevets-Povolzsky. Drawing by V. Rudolsky (1795). Historical and Art Museum of Yuryevets

Градостроительная идея Шубникова и Гове – создание вдоль Волги системы открытых на реку обширных площадей-карманов, соединённых прохо-

дядей вдоль их тыльной стороны Георгиевской улицей, которая ломается у соборов, повторяя изгибы берега, перед соборами также разбита небольшая замкнутая площадь. Линия прибрежной застройки проведена так, что Казанская, Покровская, Благовещенская и Сретенская церкви оказываются перед ней фасадной стороной. Таким образом, Шубников и Гове продолжали наметившуюся уже в XVII в. традицию преимущественного развития приволжского посада, сохранив и основную композиционную особенность его застройки: панорамное построение всех частей ансамбля, восприятие которого возможно лишь с реки. Посад продолжает определять характер дорегулярного города, лишь упорядочивая его элементы.

Генплан 1795 г. становится законом развития города. На примере регулярной застройки Юрьевца, которая сосредоточена вдоль торгового и набережной, наблюдается существенное различие между организованной структурой густонаселенной центральной улицы и живописной планировкой зданий торгового назначения, занимающих ближний план панорамы. Ядро исторического города отображало трехлучие планировочной структуры, связанное со стремлением дать центральной площади большой простор и характерный облик. Церкви являются ключевыми доминантами, обогащая композицию различными архитектурными элементами разных эпох, которые организуют индивидуальные участки, показывая их взаимосвязь между собой, главной улицей и рекой. Автор Н.Ф. Гуляницкий в статье, посвященной теме русских регулярных городов на традиционной основе, пишет о Юрьевце: «И если две древние прибрежные церкви – ориентиры набережной и торговой площади со стороны реки, то храмы объединяют застройку главной улицы и торговой зоны» [2, с. 11]. Таким образом, становится очевидным, что система высотных ориентиров в композиционном пространстве города не имеет четкой структуры и зависит от функциональной логики, градостроительной организации и особенностей окружающей местности и рельефа.

Заключение

Результаты проведенного анализа позволяют сделать некоторые частные выводы: внутренняя структура и планировка городской застройки в XVII в. представляла собой контрастную и живую композицию посада, которая определялась результатом взаимодействия таких факторов, как топографические условия, уместное размещение архитектурных акцентов и естественное слияние с природным ландшафтом.

Важно подчеркнуть, что ключевые исторические события играли ведущую роль в формировании городского пространства Юрьевца. Одним из них были оказавшие влияние на исторический облик города реформы, проведенные Петром I и его последователями. Кроме того, значительное влияние на архитектуру города оказала Русская православная церковь как фундамент всей государственности, осуществляя активное строительство храмов. Реформы, проводимые в XVIII в., были направлены не только на модернизацию российского общества, но и на унификацию городской среды, способствуя организации городской жизни в соответствии с новым административным устройством. Важно подчеркнуть, что к концу XVIII в. архитектурная среда имела

выраженное художественное единство, что также нашло отражение в регулярной городской застройке.

Таким образом, ретроспективный архитектурно-градостроительный анализ развития исторического города Юрьевца на рубеже XVII–XVIII вв. позволяет сделать вывод, что его архитектура представляет собой этап становления русского зодчества, который сформировал свои собственные ценности, отличающиеся от традиционных древнерусских.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Виноградов Н.Н.* Материалы по истории, археологии, этнографии и статистике Костромской губернии. Выпуск 1. Писцовая и межевая книги по городу Юрьевцу Поволжскому и Стрелецкой слободе 1714 (1676) года. Кострома : Костром. губ. тип., 1912–1915. 1912. III. 282. II с.
2. *Гуляницкий Н.Ф.* Русский регулярный город на традиционной основе // Архитектурное наследство. 1985. № 33. С. 3–13.
3. *Иваново-Вознесенская губерния.* Том 1. Образование Иваново-Вознесенской губернии. Иваново-Вознесенск : Основа, 1924. 326 с.
4. *Ильин А.П.* Основание Юрьевца. Легенды и факты // Владимирские чтения. Выпуск I : материалы Первой научной конференции по проблемам истории, культуры и художественной жизни Юрьевца, 14 ноября 2014 г. Москва, 2016. С. 6–16.
5. *Памятники русского права.* Выпуск 8. Законодательные акты Петра I. Первая четверть XVIII в. / под ред. и с предисловием К.А. Софроненко. Москва : Гос. изд-во юрид. лит., 1961. 667 с.
6. *Платонова Р.И.* Юрьевец-Поволжский конца XVII в. // Памятники русской архитектуры и монументального искусства. Материалы и исследования. Москва, 1980. С. 88–99.
7. *Полное собрание законов Российской Империи.* Собрание первое. Книга чертежей и рисунков: (Планы городов). 1839. [3]. IV с. 416 л.
8. *Полякова Л.Л.* Юрьевец: Историко-краеведческий очерк. Ярославль : Верх.-Волж. кн. изд-во, 1984. 144 с.
9. *Ивановская область.* Часть 3 / под ред. Е.Г. Щёболева // Свод памятников архитектуры и монументального искусства России. Москва : Наука, 2000. 813 с.
10. *Седов Вл.В.* Белый город в Юрьевце // Архитектурное наследство. Вып. 59. Москва, 2013. С. 61–75.
11. *Татищев В.Н.* История Российская. Том 2. Москва : АСТ, 2003. 734 с.
12. *Чернецов Г.Г., Чернецов Н.Г.* Путешествие по Волге. Москва : Мысль, 1970. 191 с.
13. *Юрьевец.* Церковь во имя Богоявления Господня, 1619–1620 г. // Известия Археологической Комиссии. Вып. 31 (Вопросы реставрации. Вып. 3). Санкт-Петербург, 1909. 323 с.

REFERENCES

1. *Vinogradov N.N.* Materials on the History, Archeology, Ethnography and Statistics of Kostroma Province, Vol. 1. Scribal and boundary books on the city of Yuryevets of the Volga region and Streletskaya sloboda 1714 (1676). Kostroma, 1912–1915. III, 282, II p. (In Russian)
2. *Gulyanitsky N.F.* Traditional Russian City. *Arkhitekturnoe nasledstvo*. 1985; (33): 3–13. (In Russian)
3. *Ivanovo-Voznesenskaya province*, Vol. 1. *Ivanovo-Voznesensk: Osнова*, 1924. 326 p. (In Russian)
4. *Ilyin A.P.* The Yurievets Foundation. Legends and Facts. In: *Proc. 1st Sci. Conf. on Problems of History, Culture and Artistic Life of Yuryevets in Memory of Vladimirov 'Vladimirov Readings'*, November 14, 2014. Moscow, 2016. Pp. 6–16. (In Russian)
5. *Sofronenko K.A. (Ed.)* Monuments of Russian Law, Vol. 8. Legislative acts of Peter I. The first quarter of the 18 century. Moscow, 1961. 667 p. (In Russian)
6. *Platonova R.I.* Yuryevets-Povolzhsky in the 17th Century. In: *Monuments of Russian Architecture and Monumental Art. Materials and Research*. Moscow, 1980. Pp. 88–97. (In Russian)

7. Complete Collection of the Laws of the Russian Empire. Collection one. In: Book of Drawings and Pictures: Plans of Cities. 1839. 416 p. (In Russian)
8. *Polyakova L.L.* Yuryevets: A Historical and Local History Essay. Yaroslavl, 1984. 144 p. (In Russian)
9. *Shchebolev E.G. (Ed.)* Code of Monuments of Architecture and Monumental Art of Russia. Moscow: Nauka, 2000. 813 p. (In Russian)
10. *Sedov V.V.* White City in Yuryevets. *Arkhitekturnoe nasledstvo*. 2013; 59:61–75. (In Russian)
11. *Tatishchev V.N.* Russian History, Vol. 2. Moscow: AST, 2003. 734 p. (In Russian)
12. *Chernetsov G.G., Chernetsov N.G.* Journey Along the Volga. Moscow: Mysl, 1970. 191 p. (In Russian)
13. Yurievs. The Church in the Name of Epiphany of the Lord, 1619–1620. In: News of the Archaeological Commission, Vol. 31. Saint-Petersburg, 1909. 323 p. (In Russian)

Сведения об авторе

Алексеева Анна Юрьевна, аспирант, Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств им. А.Д. Крычкова, 630099, г. Новосибирск, Красный проспект, 38, annpetuhova@mail.ru

Author Details

Anna Yu. Alekseeva, Research Assistant, Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts, 38, Krasnyi Ave., 630099, Novosibirsk, Russia, annpetuhova@mail.ru

Статья поступила в редакцию 01.07.2024
Одобрена после рецензирования 12.07.2024
Принята к публикации 16.09.2024

Submitted for publication 01.07.2024
Approved after review 12.07.2024
Accepted for publication 16.09.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 84–98.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 84–98.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 72.025.4:719(571.16)

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-84-98

EDN: ESVZDN

МАЛЫЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ ФОРМЫ В ДЕРЕВЯННОЙ УСАДЕБНОЙ ЗАСТРОЙКЕ ГОРОДА ТОМСКА КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX ВЕКА

Екатерина Сергеевна Каталевская, Елена Владимировна Ситникова
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. Исследование посвящено изучению малых архитектурных форм в деревянной усадебной застройке г. Томска конца XIX – начала XX в. и их влиянию на сохранение исторического облика города. *Актуальность* исследования обусловлена проблемами сохранения идентичности исторических городов и массовой утратой деревянного историко-архитектурного наследия.

Цель исследования: выявление типов малых архитектурных форм в деревянной усадебной застройке г. Томска и определении их роли в формировании облика исторического города.

Источниковой базой исследования стали исторические фотографии, зарисовки и результаты натурного обследования деревянной усадебной застройки, фонды ГАТО, фотоархивы краеведов П.Н. Коханенко, Р. Перушина, материалы которых позволяют определить наличие утраченных малых архитектурных форм и выполнить их систематизацию.

В результате проведенного исследования определена значимость малых архитектурных форм в сохранении индивидуального историко-культурного облика г. Томска, приведена таблица типологии деревянных ворот, составленная на основе анализа архивных материалов и фотографий. Работа имеет практическую значимость для сохранения и реставрации исторических объектов в Томске и может быть полезна для разработки проектов регенерации исторической застройки г. Томска и дальнейших исследований в области архитектуры и истории города.

Ключевые слова: деревянная архитектура, усадебная застройка, малые архитектурные формы, деревянные ворота, уличные фонари, беседки, деревянные тротуары, городская усадьба, историко-культурное наследие, Томск, сохранение наследия

Для цитирования: Каталевская Е.С., Ситникова Е.В. Малые архитектурные формы в деревянной усадебной застройке города Томска конца XIX – начала XX века // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 84–98. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-84-98. EDN: ESVZDN

ORIGINAL ARTICLE

SMALL ARCHITECTURAL FORMS IN TOMSK WOODEN BUILDINGS IN 19–20th CENTURIES**Ekaterina S. Katalevskaya, Elena V. Sitnikova***Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*

Abstract. The paper considers small architectural forms in the wooden manor buildings of Tomsk late in the 19th and early 20th centuries and their impact on the historical image of the city. The paper also studies preservation of historical cities and loss of historical and architectural wooden heritage.

Purpose: To identify the types of small architectural forms in the wooden houses of Tomsk and determine their role in the city image.

Methodology: Historical photographs, drawings, and field survey of wooden buildings, archival documents and photographs by local historians P. N. Kokhanenko and R. Perushin, allowing to determine lost small architectural forms and systematize them.

Research findings: Determination of small architectural forms in preserving individual history and culture of the historical city.

Practical implications: The obtained results can be used to study wooden buildings of Siberian cities and develop projects for their reconstruction in Tomsk.

Keywords: wooden architecture, manor buildings, small architectural forms, wooden gates, street lights, gazebo, wooden sidewalk, urban estate, historical and cultural heritage, Tomsk, heritage preservation

For citation: Katalevskaya E.S., Sitnikova E.V. Small Architectural Forms in Tomsk Wooden Buildings in 19–20th Centuries. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 84–98. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-84-98. EDN: ESVZDN

Томск – один из немногих городов России, сохранивший до настоящего времени массивы исторической деревянной застройки, которая по праву является уникальным наследием мирового масштаба [1]. Архитектурно-художественный облик Томска формировался веками. Каждый период накладывал свой отпечаток на планировочную структуру и архитектурный облик города. На сегодняшний день в городе сохранились отдельные целостные фрагменты исторической застройки, находящиеся в разных исторических районах.

Изучению деревянной архитектуры Томска посвящены труды многих исследователей – Е.А. Ащепкова, А.М. Прибытковой-Фроловой, Н.В. Шагова, В.Г. Залесова, И.В. Куликовой, Л.С. Романовой, Е.В. Ситниковой, М.В. Мякишевой, М.В. Савельева и других авторов.

Вопросы сохранения деревянной застройки Томска неоднократно рассматривались архитекторами Н.В. Шаговым, Л.С. Романовой, Е.В. Ситниковой и др.

Ранее авторами были рассмотрены деревянные ворота в усадебной застройке г. Томска конца XIX – начала XX в. [2, 3]. Настоящее исследование посвящено выявлению и изучению остальных малых архитектурных форм в усадебной застройке г. Томска того периода, формирующих облик районов с деревянной застройкой.

Малые архитектурные формы, такие как ворота, ограждения, фонари, тротуары, коновязи, сады с беседками, афишные тумбы, являлись важными функциональными элементами городской застройки и часто выполняли роль архитектурно-художественных акцентов. Они формировали как застройку улиц, так и внутриворотовое пространство усадеб, являя большое разнообразие художественных приёмов и мастерство строителей (рис. 1). Таким образом, малые архитектурные формы были неотъемлемыми элементами архитектурного облика исторического города. В связи с этим их изучение с целью возможного воссоздания при выполнении комплексной реконструкции исторических территорий с деревянной усадебной застройкой является важной и актуальной задачей.

Со времен зарождения усадебного жилища его необходимой составляющей было защитное ограждение, традиционно включавшее ограду (стену или забор), а также ворота с калитками – входную группу, через которую осуществлялась связь с «внешним миром» [4]. Она также изолировала жизнь двора от городской суеты, формировала зону обитания отдельной семьи. Помимо защиты усадебного участка ворота с калитками и ограждения отражали социальный статус и материальный достаток домовладельцев, поэтому часто дополнялись архитектурно-художественными элементами (рис. 1). В связи с этим можно отметить, что входная группа играла довольно важную роль в формировании застройки городской улицы, являясь неотъемлемой частью города, его градостроительным элементом [5].



Рис. 1. Томск, улица Иркутская, 1903 г. Наряду с главными фасадами застройки улицы можно видеть ворота, фонари, ограждения. Фото из фондов ГАТО

Fig. 1. Tomsk, Irkutskaya Street, 1903. Archival photograph

На исторических фотографиях и рисунках художников начала XX в. можно увидеть изображения деревянных ворот в жилой усадебной застройке

городов. Многие изображения архитектурной среды Томска несут ценнейшую информацию об исторических объектах, т. к. они запечатлены авторами с натуры и показывают объекты и их состояние на момент изображения, фиксации. Благодаря таким изображениям можно судить об изменениях, произошедших с объектами к настоящему времени [5].

В результате историко-архивных и библиографических исследований были изучены фотоматериалы деревянных усадебных ворот, выполненных Павлом Николаевичем Коханенко в период с 1968 по 1974 г. (107 фотографий), а также архивные документы ТОКМ – зарисовки и изображения малых архитектурных форм (48 зарисовок) авторов: А.Л. Шиловского, А.Н. Тихомирова, Г. Фатеева, В.А. Засыпкина, Н.И. Жегалова, В.А. Рыфтина, А.Н. Внукова, А.В. Лобанова, В.А. Пигалева, Б.М. Козмина, И.И. Базилевского. По найденным материалам был проведён комплексный научный анализ [2].

Фотограф-любитель П.Н. Коханенко стремился запечатлеть во всей полноте облик города определенного периода. Не делая акцента на самых красивых объектах, он снимал различные уголки Томска – дома и их фрагменты, ворота, окна, улицы, людей. Таким образом, для исследования стал доступен уникальный архив фотографий г. Томска 70-х гг. XX в. (порядка 800 объектов) [6].

Изучив более 155 фотографий и зарисовок деревянных ворот г. Томска, авторы выделили следующие типологические группы:

1. Тип ворот – в традициях крестьянской архитектуры. Это более ранний тип ворот, который широко применялся в городской застройке XIX в., преимущественно в усадьбах крестьян и мещан. Данный тип отражает принципы преемственности, связывающие произведение архитектуры с территориальными особенностями и природными факторами.

В традиционной сельской застройке Сибири были широко распространены ворота, выполненные в структуре единого ограждения двора. Такие ворота были покрыты одной общей скатной крышей с большими свесами, хорошо защищавшими конструкции ворот от атмосферных осадков. Полотна таких ворот выполняли из теса, уложенного в разном направлении, – это было единственное их украшение. К наиболее архаичному типу относятся несимметричные ворота с одной калиткой (таблица).

В городской усадебной застройке Томска такой тип ворот чаще всего встречается в ансамбле с одноэтажным жилым домом. Например, ворота усадьбы по ул. Белой, 11, и по ул. Октябрьской, 57 (таблица).

Более адаптированными к городской усадебной застройке являются ворота с двумя калитками, под общей скатной крышей. Они уже имеют скромные декоративные элементы в виде накладного геометрического орнамента. К такому типу относятся ворота жилых домов на ул. Магистратской, 53, и ул. Загорной, 56 (таблица).

Со временем произошла трансформация этого типа ворот – свес крыши уменьшается и постепенно сводится до размеров кровельного покрытия связующей балки объединённой входной группы [3].

2. Тип ворот – на основе образцовых проектов. Если ранее развитие объёмно-планировочной композиции жилой усадьбы шло по линии совершенствования традиционного народного зодчества, то с 1820–1840 гг. в строитель-

ную практику внедряются приёмы русского классицизма (для деревянного строительства этот период затянулся до 1860-х гг.). Особой его приметой в деревянном зодчестве было стремление архитекторов «замаскировать» дерево под камень. Декоративное решение таких ворот выдержано в строгих формах, а обшивка тёмсомимитирует каменный руст [3].

Широкое распространение в XIX в. получило строительство по «образцовым проектам», в том числе из дерева. Рассылаемые по городам страны альбомы «Собрания фасадов» включали не только фасады жилых домов, но и содержали указания по организации уличного пространства в целом. Так, пятый альбом 1912 г. включал проекты заборов и ворот. Представленные в нём чертежи ворот должны были выполнять функцию архитектурных «вставок» между домами, создавая гармоничную архитектурную композицию застройки улиц [7].

Композиционное решение ворот, выполненных на основе «образцовых» проектов, строго симметрично. Завершения конструктивных связей между столбами (охлябин) выполняли в виде простых геометрических форм прямого или треугольного очертания. В членении столбов прослеживаются традиционные для классической архитектуры элементы – база (пьедестал), ствол колонны, антаблемент. Ствол колонны часто украшали элементами стилизованного ордера. Подантаблементная доска и сам антаблемент также украшались лаконичным резным декором.

Такой тип ворот получил широкое распространение в двух интерпретациях: – с выделением калиток порталами, связанными мощными антаблементами под двухскатными крышами, например ворота по ул. Октябрьской, 71, и пер. Плеханова, 5 (таблица);

– с завершениями треугольной формы: ул. Войкова, 18, и ул. Московский тракт, 73 (таблица).

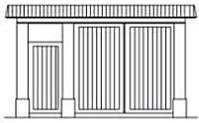
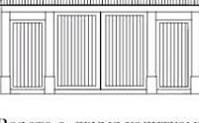
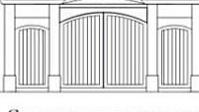
3. Тип ворот – эклектика. В связи с отменой крепостного права в 1861 г. типовое «образцовое» строительство в России отошло на второй план. Население получило возможность самовыражения в архитектурно-художественном оформлении своего жилища, что привело к поиску разнообразных индивидуальных решений. Наглядно эти поиски нашли выражение в декоративном убранстве застройки, в частности в применении национальной орнаментации в обработке фасадов. В этот период начинает развиваться томская деревянная резьба, которая принесла заслуженную славу сибирскому городу [3].

Композиционное решение ворот в стиле эклектики – симметричное, с двумя калитками, одна из которых часто выполнялась как декоративная. Следует отметить, что в этом типе ворот функциональность уходит на второй план, уступая место нарядному декоративному убранству, превращая сугубо конструктивный элемент в произведение искусства. В эклектике декором покрывают все возможные элементы – столбы, воротины, охлябины.

Как отмечал исследователь деревянного зодчества Сибири Е.А. Ащепков в работе «Русское народное зодчество в Западной Сибири», ворота в некотором смысле являются «лицом» усадьбы, показателем благосостояния хозяев двора, поэтому им уделялось особое внимание.

В застройке Томска настоящего времени сохранилось несколько ворот такого типа, например ворота в пер. Соляном, 18, и на ул. Татарской, 1 (таблица) [2].

Типология деревянных ворот г. Томска конца XIX – начала XX в.
Wooden Gate Topology in Tomsk, 19–20th Centuries

№ п/п	Схема ворот	Фото П. Коханенко 1970-х годов	
<p>ТИП 1. В традициях крестьянской архитектуры</p>	 <p>Ворота с одной калиткой под общей двухскатной крышей</p>	 <p>ул. Белая, 11</p>	 <p>ул. Октябрьская, 57</p>
	 <p>Ворота с двумя калитками под общей двухскатной крышей</p>	 <p>ул. Магистратская, 53</p>	 <p>ул. Загорная, 56</p>
<p>ТИП 2. На основе образцовых проектов</p>	 <p>Симметричные ворота с двумя калитками со строгими геометрическими формами</p>	 <p>ул. Войкова, 18</p>	 <p>ул. Московский тракт, 73</p>
	 <p>Симметричные ворота с двумя калитками под скатными крышами в виде порталов</p>	 <p>пер. Плеханова, 5</p>	 <p>ул. Октябрьская, 71</p>
<p>ТИП 3. Эклектика</p>	 <p>Симметричные ворота с двумя калитками с фигурными завершениями и накладным декором</p>	 <p>пер. Соляной, 18</p>	 <p>ул. Никитина, 43в</p>
	 <p>Симметричные ворота с двумя калитками под скатными крышами в виде порталов с резным декором</p>	 <p>ул. Татарская, 1</p>	 <p>ул. Татарская, 29</p>

Выявленные по материалам фотоархива П.Н. Коханенко типы ворот классифицированы в таблице.

Под руководством художника-архитектора Андрея Леонидовича Шиловского в рамках программы по сохранению и учёту памятников старины на государственном уровне было проведено в 1920-е гг. изучение деревянной архитектуры. Вместе с группой художников А.Л. Шиловский зафиксировал самые ценные памятники деревянной архитектуры Томска и опубликовал в газете «Знамя революции». Помимо зарисовок объектов деревянного зодчества, иллюстрации художников содержат сведения и о малых архитектурных формах, таких как ворота, ограждения и отдельные архитектурные элементы домов (наличники, пилястры, декор и пр.).

Большая часть зарисовок выполнена в графике карандашом, отдельные изображения представлены в цвете (акварель, цветной карандаш).

В результате анализа материалов архива ТОКМ, а именно зарисовок ворот, удалось установить цвета, в которые окрашивали ворота (рис. 2).



Ворота по ул. Александровской, 18.
Рисунок А.Л. Шиловского



Ворота по ул. Равенства, 34.
Рисунок А.Л. Шиловского



Ворота по ул. Солдатской, 53.
Рисунок А.Л. Шиловского



Дом с воротами по ул. Черепичной, 9
Рисунок А.Н. Тихомирова

Рис. 2. Рисунки художников-архитекторов 1920-х гг. из фондов ТОКМ

Fig. 2. Drawings of artists-architects, 1920s. Photographs from Shatilov Tomsk Regional Local Lore Museum

Следует отметить, что для предохранения столярных изделий от влияния природных факторов их издавна красили масляными красками. Окрашивали

обшивку стен, декоративные элементы, ворота, ограды, а иногда и хозяйственные постройки. Цвет окраски регламентировался. Чаще всего применяли охра или киноварь (красный цвет), а также светло-серый, голубой, синий цвета в сочетании с белым. Некоторые элементы (крыльца, наличники, ворота и др.) окрашивали в несколько цветов (желтый, зеленый, синий) [3].

Деревянные ворота, выполненные в традициях крестьянской архитектуры, чаще всего не окрашивались, они имели общую кровлю, которая закрывала столярные изделия от намокания.

Ворота, выполненные в стиле классицизм, окрашивались в те же цвета, что и фасады. В декоре ворот использовались охристые, зеленые и голубые цвета. Детали ворот красили серым или белым.

Для 3-го типа ворот, выполненных в эклектике, использовались более заметные, яркие цвета: брусничный и синий, мелкие детали ворот были выкрашены в белый или серый цвета (рис. 2).

Таким образом, фотографии и изображения деревянных усадебных ворот Томска имеют большую историко-культурную ценность: они дают представление об архитектурно-художественном своеобразии, пространственной композиции и планировочной структуре города. В изображениях переданы формы деталей, материал и цветовое решение объектов. Графические изображения архитектурно-конструктивных и декоративных элементов и деталей, а также малых архитектурных форм Томска значимы как вспомогательный материал для реставрационного проектирования.

Довольно популярными элементами внутриворотового благоустройства усадеб являлись беседки, расположенные в саду. Это подтверждается проектными планами усадеб, выявленными в результате изучения архивных материалов ГАТО. Примеры участков с садами и беседками чаще всего встречаются в планировочной структуре усадеб купцов и зажиточных мещан, например в усадьбе купца Г.М. Голованова (рис. 3), в усадьбе Кухтериных (рис. 4), а также в усадьбе мещанки Л.А. Таракановой (рис. 5).

Крупные усадьбы традиционно делились на чистый двор, который формировался вокруг главного жилого дома, и задний двор или хозяйственный – на нем располагались холодные службы, летние кухни, амбары с навесами, бани, прачечные, завозни, дровяники и пр. (рис. 3, 6). В усадьбах извозчиков и торговцев нередко размещались складские помещения и скотный двор. Например, в усадьбе Кухтериных по ул. Иркутский тракт были построены мощные складские помещения, выполненные из кирпича, т. к. фирма «Е. Кухтерин и сыновья» гарантировала высокую сохранность доставляемых грузов, при этом основной жилой дом был выполнен из дерева (рис. 4) [8, 9].

В мещанских усадьбах нередко размещался огород с колодцем. Так, усадьба Людмилы Антоновны Таракановой, жены арзамасского мещанина, делилась на чистый двор, задний двор, сад и огород. На чистом дворе располагался жилой дом Таракановой. На заднем дворе находились одноэтажные и двухэтажные службы с навесом и баня с прачечной, далее размещался огород с оранжереей (№ 5), откуда был выход в сад. В довольно просторном огороженном саду в центре были устроены колодец и беседка [10].

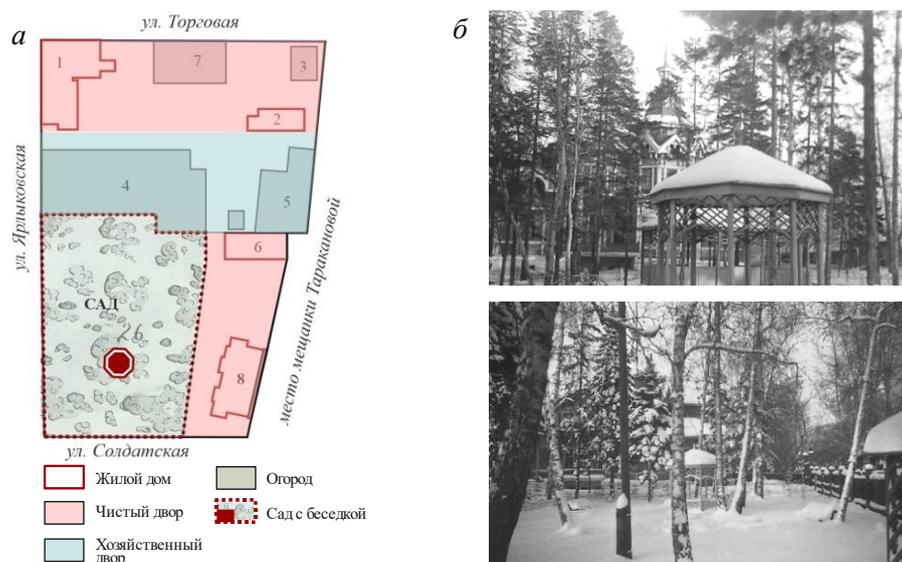


Рис. 3. Усадьба купца Г.М. Голованова на ул. Солдатской (совр. Красноармейская, 71) в г. Томске:

а – план усадьбы (составлен по материалам ГАТО. Ф. 233. Оп. 4. Д. 719); б – беседка в саду, фото Станислава Никитина, 1970-е гг.

Fig. 3. Estate of merchant G.M. Golovanov on Soldatskaya Street (now 71, Krasnoarmeyskaya Street) in Tomsk:

а – layout (compiled from archival materials); б – gazebo in the garden. Photo by Stanislav Nikitin, 1970s



Рис. 4. План усадьбы Кухтериных по ул. Иркутской (а). Чертеж составлен по материалам ГАТО Ф. 233. Оп. 2. Д. 2274; Д. 1261; улица Иркутская (совр. ул. Пушкина), фото начала XX в. (б); фото дома Кухтериных по ул. Иркутской, 1896 г. из фондов ТОКМ (в)

Fig. 4. Plan of the Kukhterin estate on Irkutskaya Street (a). Archival drawing; Irkutskaya Street (now Pushkin Street), 20th century (b); Kukhterin house on Irkutskaya Street, 1896 (c). Photograph from Shatilov Tomsk Regional Local Lore Museum

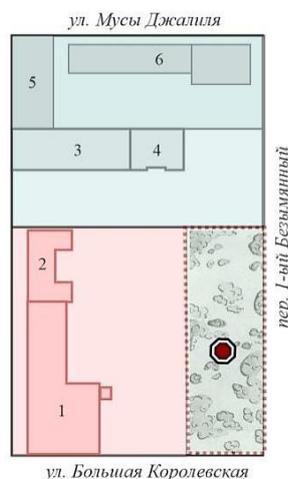
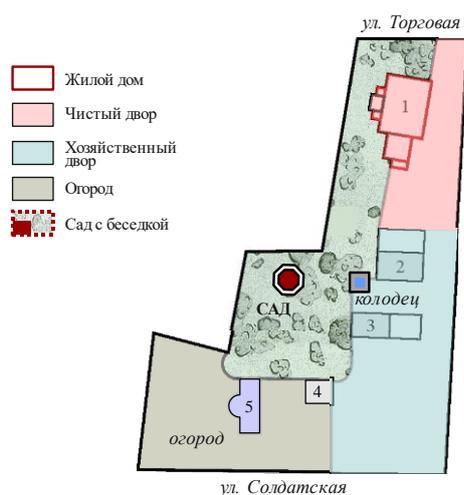


Рис. 5. План усадьбы мещанки Л.А. Таракановой по ул. Солдатской (совр. ул. Красноармейская, 69). Чертеж составлен по материалам ГАТО Ф. 233. Оп. 2. Д. 430

Рис. 6. План усадьбы купца К.М. Хамитова по ул. Б. Королевская (совр. ул. М. Горького, 35)

Fig. 5. Plan of burgher L.A. Tarakanova on Soldat'skaya Street (now 69, Krasnoarmeyskaya Street). Archival drawing

Fig. 6. Plan of merchant K.M. Khamitov on B. Korolevskaya St. (now 35, Gorky Steet)

Несмотря на то, что сады с беседками в усадебной застройке, по материалам ГАТО, были довольно широко распространены, однако фотографий исторических беседок до настоящего времени сохранилось крайне мало. Можно рассмотреть фото «турецкой» беседки из усадьбы томского купца К.М. Хамитова по ул. Б. Королевской (совр. ул. Максима Горького, 35) (рис. 6, 7). В библиографических сведениях отмечено, что напротив главного фасада дома располагался сад, окруженный чугунной оградой, с небольшим фонтаном, беседкой, цветочными клумбами и бродящими вокруг них павлинами [11].



Рис. 7. Усадьба купца К.М. Хамитова и турецкая беседка на территории усадьбы по ул. Б. Королевской, материалы ГАТО

Fig. 7. Estate of merchant K.M. Khamitov and Turkish pavilion on the estate territory on Korolevskaya Street. Archival documents

Беседка в усадьбе К.М. Хамитова была выполнена в едином восточно-мавританском стиле, как и весь усадебный комплекс (рис. 7).

До настоящего времени сохранилась деревянная беседка в бывшей усадьбе купца Н.И. Ассанова в г. Бийске. Особняк купца Н.И. Ассанова был построен в 1914 г. по проекту архитектора К.К. Лыгина – одного из лучших зодчих дореволюционной Сибири. Н.И. Ассанов строил по-купечески, с размахом – все было устроено в лучших традициях того времени – конюшни, постройки для дворни, великолепный сад с беседкой. Весь усадебный комплекс, включая беседку, выполнен в модном в начале XX в. стиле модерн (рис. 8).

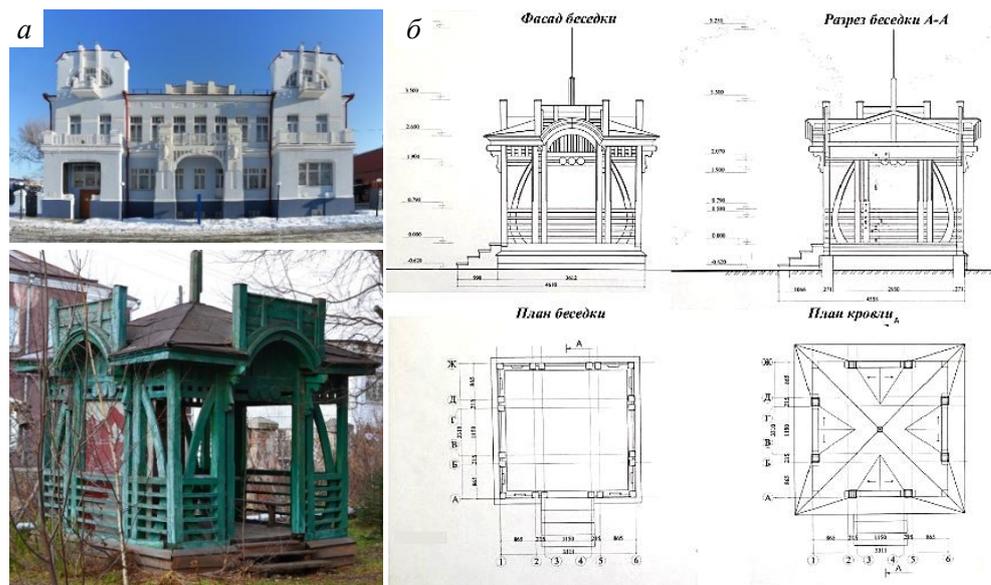


Рис. 8. Беседка в стиле модерн по ул. III Интернациональной, г. Бийск (а); чертежи беседки из дипломной работы А.П. Семина (б), материалы архива кафедры РИРАН ТГАСУ, 2006 г.

Fig. 8. Art Nouveau arbor on III Internatsionalnaya Street, Biysk (a); drawings of the arbor from the diploma work by A.P. Semin (b). Archival documents, 2006

Беседки, как и большинство элементов исторического благоустройства города, выполнялись из дерева, в плане они представляли различные конфигурации: круглые, прямоугольные, шестигранные. Беседки имели колонны и резные детали в качестве декоративного убранства [12]. Беседки, входившие в состав усадеб, возведенных по проектам архитекторов, чаще всего выполнялись в едином стиле с остальными постройками, в результате чего формировался выразительный архитектурный ансамбль.

Большая часть улиц жилой застройки г. Томска второй половины XIX – начала XX в. была представлена деревянными усадьбами. Бульжное мощение имели в основном центральные улицы, большинство улиц жилых кварталов имели грунтовое покрытие. Для комфортного передвижения пешеходов вдоль улиц устраивались деревянные тротуары в 3–5 досок шириной около 30–40 см каждая (рис. 9, 11). Вдоль главных улиц ширина тротуара была достаточна для прохода



Рис. 11. Старый Томск. Художник В.Ф. Попов, 1963 г.
Fig. 11. Old Tomsk. Piece by artist V.F. Popov, 1963



Рис. 12. Дворянская улица в г. Томске. Конец XIX в.
Fig. 12. Dvoryanskaya Street in Tomsk. The end of the 19th century

При решении задач благоустройства на исторических пространствах города архитекторам и дизайнерам необходимо учитывать влияние малых архитектурных форм, озеленения на восприятие улиц и зданий. Сохранение и воссоздание элементов благоустройства при реконструкции исторических территорий – важная и сложная задача, которая связана с необходимостью внедрения нового и сохранения исторического контекста. Формируя облик города, специалисты должны понимать, что жители и гости города ценят его не за модернизацию, а за сохранение традиций, являющихся основой его идентичности. Сохранение атмосферы города, свидетельств его становления и развития является основой любых проектных работ в исторических городах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Каталевская Е.С., Ситникова Е.В. Усадьба купца Голованова на ул. Солдатской (совр. ул. Красноармейская, 71) в г. Томске // Инвестиции, градостроительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения : материалы XII Международной научно-практической конференции, 1–4 марта 2022 г. Часть 1. Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2022. С. 305–309. EDN: YDSFDE
2. Жузева Е.С., Ситникова Е.В. Деревянные ворота в усадебной застройке Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 1 (60). С. 50–59. EDN: XWFAIV
3. Жузева Е.С., Ситникова Е.В. Деревянные ворота в исторической застройке г. Томска // Региональные архитектурно-художественные школы. 2017. № 1. С. 107–111. EDN: YXEDST
4. Савельев М.В. Особенности пространственной архитектурно-художественной организации деревянной входной группы сибирской городской усадьбы конца XIX – начала XX вв. : специальность 17.00.04 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата искусствоведения / Савельев Матвей Вячеславович. Барнаул : Алтайский государственный университет, 2017. 26 с.
5. Савельев М.В., Поляков Е.Н. Традиции народного зодчества в архитектурно-художественном декорировании входной группы сибирской городской усадьбы периода XIX – начала XX в. // Вестник Томского государственного университета. Культурология и искусствоведение. 2016. № 1 (21). С. 155–170. DOI: 10.17223/22220836/21/18. EDN: VQTDYV

6. «Любитель», сохранивший город. Как Павел Коханенко создал фотолетопись Томска 1960-х. URL: <https://obzor.westsib.ru/article/506571> (дата обращения: 21.05.2024).
7. Ситникова Е.В., Булычева А.Ю. Классицизм в деревянной жилой архитектуре города Томска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 3. С. 18–34.
8. Каталевская Е.С., Ситникова Е.В. Купеческие усадьбы в планировочной структуре г. Томска конца XIX – начала XX века // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 7–23. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-7-23. EDN: IQGEOQ
9. Каталевская Е.С., Ситникова Е.В. Формирование усадебной застройки квартала № 301 в городе Томске в конце XIX – начале XX века // Избранные доклады 69-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, 20 апреля 2023 г. Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2023. С. 437–446. EDN: ALKQGM
10. Богданова О.В. Сибирский шедевр архитектора Хомича. Томск : Красное знамя, 2004. 68 с.
11. Томск. Часть 22. Подземелье купца Хамитова. URL: <https://permyakovr.livejournal.com/96013.html> (дата обращения: 15.05.2024).
12. Тропина А.В. Роль благоустройства в формировании исторического облика города // Избранные доклады 66-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых, 21–25 сентября 2020 г. Томск : Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 391–399.

REFERENCES

1. *Katalevskaya E.S., Sitnikova E.V.* Merchant Golovanov Estate on Soldatskaya Street (71, Krasnoarmeyskaya Street) in Tomsk. In: *Proc. 12th Int. Sci. Conf. 'Investments, Construction, Real Estate as Drivers of Socio-Economic Development and Life Quality of Population'*. Tomsk: TSUAB, 2022. Pp. 305–309. EDN: YDSFDE (In Russian)
2. *Zhuzeeva E.S., Sitnikova E.V.* Wooden Gates of Mansion Houses in Siberia. *Vestnik of Tomsk State University of architecture and Building*. 2017; 1 (60): 50–59. EDN: XWFAIV (In Russian)
3. *Zhuzeeva E.S., Sitnikova E.V.* Wooden Gates in Historical Buildings of Tomsk. *Regional'nye arkhitekturno-khudozhestvennye shkoly*. 2017; (1): 107–111. EDN: YXEDST (In Russian)
4. *Savelyev M.V.* Spatial Architectural Organization of Wooden Gates of Siberian Estate in 19–20th Centuries. PhD Abstract. Barnaul: Altai State University, 2017. 26 p. (In Russian)
5. *Saveliev M.V., Polyakov E.N.* Folk Architecture in Architectural and Artistic Decoration of Siberian City Estate Gates in 19–20th Centuries. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Kul'turologiya i iskusstvovedenie*. 2016; 1(21): 155–170. DOI: 10.17223/22220836/21/18. EDN: VQTDYV (In Russian)
6. The "amateur" who saved the city. How Pavel Kohanencko created a photographic chronicle of Tomsk in the 1960s. Available: <https://obzor.westsib.ru/article/506571> (accessed May 21, 2024). (In Russian)
7. *Sitnikova E.V., Bulycheva A.Y.* Classicism in Wooden Architecture of Tomsk City. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014; (3): 18–34. (In Russian)
8. *Katalevskaya E.S., Sitnikova E.V.* Merchant Estates in Tomsk Planning Structure Late in The 19th and Early 20th Centuries. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (1): 7–23. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-7-23. EDN: IQGEOQ (In Russian)
9. *Katalevskaya E.S., Sitnikova E.V.* Estate Building Development in 301 Quarter in Tomsk in 19–20th Centuries. In: *Proc. 69th Sci. Conf. of Students and Young Scientists*. Tomsk: TSUAB, 2023. Pp. 437–446. EDN: ALKQGM (In Russian)
10. *Bogdanova O.V.* Siberian Masterpiece of Architect Khomich. Tomsk: Krasnoznamya, 2004. 72 p. (In Russian)
11. Tomsk. Part 22. Merchant Khamitov's Dungeon. Available: <https://permyakovr.livejournal.com/96013.html> (accessed May 15, 2024). (In Russian)
12. *Tropina A.V.* Landscaping in City Historical Image Formation. In: *Proc. 69th Sci. Conf. of Students and Young Scientists*. Tomsk: TSUAB, 2020. Pp. 391–399. (In Russian)

Сведения об авторах

Каталевская Екатерина Сергеевна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ezhuzeeva@mail.ru

Ситникова Елена Владимировна, канд. архитектуры, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, elensivtomske@yandex.ru

Authors Details

Ekaterina S. Katalievskaya, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 634003, Tomsk, pl. Solyanaya, 2, ezhuzeeva@mail.ru

Elena V. Sitnikova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, elensivtomske@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 18.07.2024
Одобрена после рецензирования 30.07.2024
Принята к публикации 17.09.2024

Submitted for publication 18.07.2024
Approved after review 30.07.2024
Accepted for publication 17.09.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 99–112.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 99–112.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 711:004

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-99-112

EDN: AEWFP0

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ В РФ

Татьяна Алексеевна Маметова, Дмитрий Викторович Карелин

Новосибирский государственный

архитектурно-строительный университет (Сибстрин),

г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Статья раскрывает понятие цифровой модели городской территории как обязательного инструмента управления городскими процессами. *Актуальность* изучения нормативно-правового обеспечения цифровой модели городской территории имеет огромное значение в свете стремительного развития цифровых технологий в городской среде. Настоящее исследование может послужить основой для создания нормативных актов или их трансформации, способствующих устойчивому и гармоничному развитию городской среды.

Цель исследования – определить значимость нормативно-правового аспекта при создании цифровой модели городской территории и конкретизировать его инструментарий. Объект исследования – геоинформационные платформы общегородского значения. Предмет исследования – уровень возможности их формирования в законодательном поле Российской Федерации. Авторы предполагают процесс создания цифровой модели городской территории неотвратимым ввиду тенденции развития градостроительной деятельности на территории РФ.

На основе теоретических *методов* анализа и синтеза различных источников были получены следующие *результаты*: сформирована схема источников атрибутивной информации цифровой модели городской территории; конкретизирован нормативно-правовой аспект формирования цифровой модели городской территории как основа развития геоинформационной системы на всех уровнях значимости; упорядочены требования нормативно-правовых актов строительной отрасли к цифровой модели городской территории; определены детали правового поля как инструменты, требующие отражения в цифровой модели городской территории.

Ключевые слова: умный город, цифровая модель, городские территории, градостроительная документация, геоинформационные системы общегородского значения

Для цитирования: Маметова Т.А., Карелин Д.В. Нормативно-правовое обеспечение цифровой модели городской территории в РФ // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 99–112. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-99-112. EDN: AEWFP0

ORIGINAL ARTICLE

REGULATORY SUPPORT OF DIGITAL MODEL OF URBAN TERRITORY IN THE RUSSIAN FEDERATION**Tat'yana A. Mametova, Dmitrii V. Karelin***Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, Novosibirsk, Russia*

Abstract. The article studies the digital model of the urban area as a mandatory tool for managing urban processes. The study of the regulatory support of the digital model is of great importance in the light of the rapid development of digital technologies in the urban environment.

Purpose: To determine the regulatory support significance in creating the digital model of the urban area and its tools. Geographic information platforms of citywide importance are studied as well as their formation in the legislative field of the Russian Federation. It is assumed that the process of creating the digital model of the urban area, is inevitable in view of the development trend of urban planning in the Russian Federation.

Methodology/approach: Based on theoretical analysis and synthesis of various sources of information, the diagram is constructed for information sources on the digital model of the urban area. The regulatory support of the digital model is specified as a basis for the development of geographic information system at all levels of significance. Requirements for regulatory acts of the construction industry for the digital model are formulated. Aspects of the legal field are identified as tools that require reflection in the digital model of the urban area.

Value: This research can underlie the creation of regulations or their transformation to contribute to the sustainable and harmonious development of the urban environment.

Keywords: smart city, digital model, urban area, urban planning documentation, geographic information system

For citation: Mametova T.A., Karelin D.V. Regulatory Support of Digital Model of Urban Territory in the Russian Federation. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 99–112. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-99-112. EDN: AEWFP0

Цифровая модель городской территории (ЦМГТ) – это мультиколлинеарные пространственные данные, содержащие машиночитаемые классификаторы кодов, описывающие городскую территорию в мультимедийном формате. Они включают в себя данные о зданиях и сооружениях, линейных объектах, элементах зеленых насаждений, климатических и геологических условиях и т. д. на территории города в текстовом описании и/или визуальном представлении. ЦМГТ может использоваться для анализа и планирования существующей городской среды, а также для создания новых проектов и строительства [1].

По своей сути ЦМГТ и геоинформационная система общегородского значения (ГИСОГД) равны, т. к. ставят перед собой одну и ту же цель. В минимальных возможностях системы – статическое представление информации для анализа. В максимальных возможностях – динамическое изменение системы в реальном времени с возможностью прогнозирования и принятия управленческих решений.

Главное различие этих систем – масштаб. ГИСОГД разрабатывается для решения конкретных градостроительных задач оперативного функционирования, в то время как ЦМГТ рассчитана на полноценное управление муниципалитетом и ежедневное использование (для получения информации и услуг) го-

рожанами, с возможностью передачи информации, а также для структур города с целью прогнозирования и регулирования отношений.

В настоящее время использование ЦМГТ или же ГИСОГД является актуальным направлением градостроительной деятельности, вектор развития которого определен на всех уровнях государственной власти еще в начале этого десятилетия [2]. Использование ЦМГТ целесообразно, т. к. геоинформация систем составляет порядка 80 % от общего количества данных, необходимых для планирования и прогнозирования территориального развития, осуществления хозяйственных и иных комплексных специальных задач сложных организационно-технических систем (СОТС) [3]. Данный инструмент целесообразен для улучшения качества управления городом, анализа и оценки урбанизационных процессов оптимизации использования ресурсов [4].

Концепция умного города формируется на всех этапах управления территорией: Единая информационная система (ЕИС) страны включает в себя совокупность ЦМГТ муниципальных образований (МО), которая состоит из цифровых информационных моделей (ЦИМ) частных земельных участков (ЗУ). В границах РФ, согласно ГрК, функционирует ФГИС ТП как частный представитель ЕИС территории государства. Таким образом, невозможно не отметить принцип «пазла» (рис. 1).

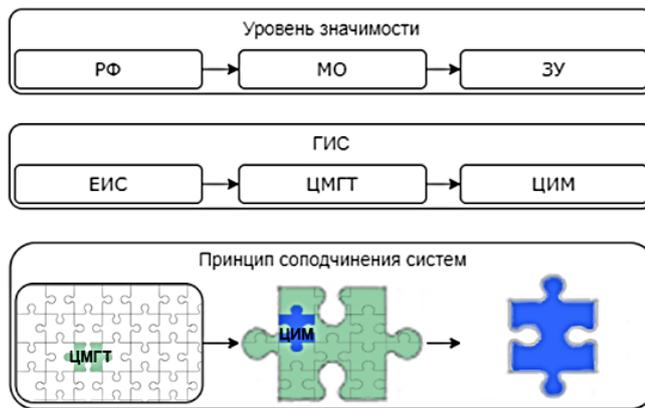


Рис. 1. Иерархия соподчинения ГИС
Fig. 1. Hierarchy of GIS subordination

При этом конечный «кусочек пазла», как и их совокупность, должны отражать в себе перечень компонентов¹:

1. Хранилище архивных документов.
2. Система электронного документооборота.
3. Система межведомственного взаимодействия.
4. Система управления базами данных.
5. Система автоматизированной подготовки документов.
6. Система автоматизированного проектирования.

¹ Свердловская область // Министерство строительства и развития инфраструктуры Свердловской области: официальный сайт. URL: <https://goo.su/NrZHeDY> (дата обращения: 25.11.2023).

Данные компоненты отвечают за решение задач в трех стадиях: «архив», «сейчас», «прогноз» (рис. 2). Первая стадия требует цифровизации и систематизации информации с бумажных носителей. Ее исполнение предъявляет ряд требований к оценке значимости, классификации и представлению уже имеющихся пространственных данных. Вторая стадия предполагает рабочее программное обеспечение, которое в режиме реального времени позволит вносить изменения, анализировать и управлять системой. Эта стадия, очевидно, определяет создание динамической СОТС умного города, которая станет результатом коллаборации нескольких профессиональных областей (архитекторов, градостроителей, программистов, инженеров и т. д.). Третья часть предполагает использование высокочастотной нейросети прогнозирования проектирования городской среды².

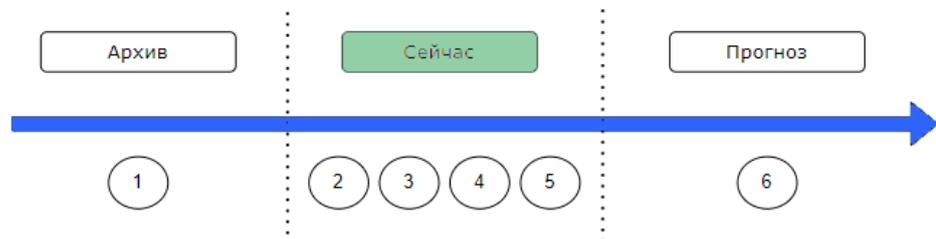


Рис. 2. Стадии формирования ГИС
Fig. 2. Stages of GIS formation

Цифровая модель территории предполагает межведомственную работу муниципалитета и междисциплинарную деятельность специалистов, следовательно, определение главенствующего ведомства проблематично. В последние десять лет основным источником формирования документов, регламентирующих деятельность ЦМГТ, является Минстрой РФ при участии Минцифры РФ и Минэкономразвия РФ. Нормативные требования ЦМГТ, определенные на основе работы со структурой нормативных актов строительной отрасли РФ, не всегда достаточны.

Кроме того, в рамках работы по цифровизации отрасли Минстроем РФ сформированы методические рекомендации «Внедрение цифровых решений в систему градостроительного проектирования на основе подхода «Умный город»», которые разработаны для широкого круга экспертов в сфере урбанистики, в том числе для государственных служащих городов и регионов, градостроителей и создателей цифровых решений для умных городов. Рекомендации нацелены на формирование разномасштабных стратегий, программ, планов и инициатив цифровой трансформации отрасли с позиции концепции «Умный город»³.

«Умный город» – это градостроительная концепция интеграции множества информационных и коммуникационных технологий (ИКТ), в том числе

² Портал ГИС ОГД. URL: <https://gisogd.mos.ru/home> (дата обращения: 09.05.2023).

³ Внедрение цифровых решений в систему градостроительного проектирования на основе подхода «Умный город»: методические рекомендации Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293727/4293727093.pdf> (дата обращения: 01.06.2024).

системы Интернет вещей (IoT), для управления городской инфраструктурой: транспортом, образованием, здравоохранением, системами ЖКХ, безопасности и т. д. Целью создания умного города является улучшение качества жизни населения с помощью технологии городской информатики для повышения эффективности обслуживания и удовлетворения нужд резидентов⁴.

Не менее острой проблемой создания и эксплуатации ЦМГТ является потребность в большом количестве ресурсов: данных, инструментов их обработки и конкретных лиц, которые не только аккумулируют информацию (представители государственных органов, муниципальных служб, бизнес-структур, экспертов и населения города), но и управляют ею (градостроители, геодезисты, программисты, аналитики, экологи и др.). Значимым вопросом при формировании системы являются требования к ее инструментам, т. к. именно от них будут зависеть количество и качество данных, методология обработки, хранения и передачи.

В Российской Федерации необходимость, состав и нормативно-правовая значимость ГИСОГД определены гл. 7 ГК (Статья 56) и рядом основополагающих обязательных документов федерального уровня. Это Постановление Правительства Российской Федерации от 13.03.2020 № 279 «Об информационном обеспечении градостроительной деятельности», Приказ Минстроя России от 06.08.2020 № 433/пр «Об утверждении технических требований к ведению реестров государственных информационных систем обеспечения градостроительной деятельности, методики присвоения регистрационных номеров сведениям, документам, материалам, размещаемым в государственных информационных системах обеспечения градостроительной деятельности, справочников и классификаторов, необходимых для обработки указанных сведений, документов, материалов, форматов предоставления сведений, документов, материалов, содержащихся в государственных информационных системах обеспечения градостроительной деятельности», Приказ Минэкономразвития России от 09.01.2018 № 10 (ред. от 06.09.2023) «Об утверждении Требований к описанию и отображению в документах территориального планирования объектов федерального значения, объектов регионального значения, объектов местного значения и о признании утратившим силу приказа Минэкономразвития России от 7 декабря 2016 г. № 793» и др. Следовательно, регламент ЦМГТ должен быть определен прежде всего в правовом поле.

Однако основной проблемой сферы становится отсутствие полноценной ЦМГТ. Некоторые города успешно используют геоинформационные системы своих территорий. Например, ГИСОГД – эксплуатируемая в соответствии с требованиями нормативных правовых актов Российской Федерации и города Москвы информационная система, содержащая сведения, копии документов и материалов о развитии территорий, об их застройке, о существующих и планируемых к размещению объектах капитального строительства и иные необходимые для осуществления градостроительной деятельности сведения [5].

⁴ Умные города (Smart cities). URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Умные города \(Smart cities\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Умные_города_(Smart_cities)) (дата обращения: 09.05.2023).

Однако для создания полноценной ЦМГТ не хватает инструментов решения не только специальных задач.

В связи с этим вопрос реализации и эксплуатации ЦМГТ на современном этапе развития невозможно недооценивать: необходима систематизация требований к модели через определение нормативно-правовых инструментов реализации, что и является целью исследования.

Основными теоретическими методами данной работы являются анализ и синтез. С их помощью были решены следующие задачи исследования:

- сформировано представление о систематизации нормативно-правового поля Российской Федерации;
- обобщена нормативная информация о трех стадиях формирования ГИС на всех уровнях правовой значимости;
- определены однозначные требования и уточнены конкретные инструменты ЦМГТ, необходимые для комплексного решения задач управления городской системой.

В Санкт-Петербурге реализуется проект «Цифровой Петербург»⁵, который систематизирует в единый каталог городские информационные сервисы для удобства горожан. Параллельно ему развивается региональная геоинформационная система Санкт-Петербурга, которая представляет собой единое хранилище пространственных данных об объектах недвижимости, включая достоверные и актуальные сведения о земельных участках, зданиях (сооружениях), градостроительных зонах, объектах культурного наследия и охранных зонах⁶. Сегодня данные системы не имеют общих целей, но в перспективе их развития интеграция сервисного проекта в РГИС может стать базисом для функционирования первой ЦМГТ.

За рубежом ряд городов также придерживаются политики создания ЦМГТ на базе системы умного города.

В научной литературе степень разработанности темы функционирования и развития городских территорий через различные инструменты управления представлена в трудах основоположников теории градостроительства В.Л. Глазычева, Д. Джекобс, А.П. Ивальницкого, В.Н. Семенова, Д.И. Шейнис и др. Огромный вклад в развитие данного научного направления современных исследователей. В их числе Е.А. Ахмедова, М.В. Шубенков, А.В. Крашенинников и др.

Вопросам управления городской инфраструктуры через цифровизацию посвящены исследования Института пространственного развития при Минстрое РФ, Российского института градостроительства и инвестиционного развития «Гипрогор» и др. В частности, комплексный инфраструктурный план регионального развития (КИПРР) Института территориального планирования «Град» включен в качестве научного достижения в альбом «Инновационные предложения Российской академии архитектуры и строительных наук» за 2021 г.

А.Н. Береговских более двадцати лет возглавляет ИТП «Град»⁷: ее научно-публицистические работы являются неотъемлемой частью развития

⁵ Цифровой Петербург. URL: <https://spbtech.site/mainPortal#/services> (дата обращения: 09.05.2023).

⁶ Геоинформационная система Санкт-Петербурга. URL: <https://www.rgis.spb.ru/map/MainPages/Targets.aspx> (дата обращения: 09.05.2023).

⁷ Институт территориального планирования «ГРАД». URL: <https://itpgrad.ru/team/rukovoditel-institut/beregovskikh-anna-nikolaevna/> (дата обращения: 30.11.2023).

ГИС-систем в России как в рамках коммерческого, так и научного аспектов [6]. С одной стороны, ею признана необходимость внедрения целостной системы требований к созданию и использованию пространственных данных в градостроительной сфере для обеспечения автоматизации процесса проверки соответствия всех град-документов, выгрузки документов в трех стадиях: «архив», «сейчас», «прогноз», перестройки карт перспективного развития, быстрой выдачи заключений. С другой стороны, определена необходимость комплексной доработки системы правового регулирования данной сферы [7].

На территории России нормативно закреплено формирование ГИС различного уровня. Сегодня в свободном доступе размещена ФГИС, а также локальные платформы для большинства крупных городов РФ. Их соответствие как требованиям нормативно-правового поля, так и иным критериям, определенным задачами и требованиями пользователей различного уровня, спорно [8], но активная деятельность в этом направлении ведется рядом коммерческих компаний: 2GIS, 3Liz, ТОРИНС, ЦСИ «Интегро» и др.

В г. Новосибирске более 30 лет работает компания ООО «ГЕОКАД плюс» [9]. Основные задачи организации связаны с разработкой и внедрением сложных объектно-ориентированных информационных систем кадастрового и геоинформационного назначения. Наиболее успешными проектами ООО «ГЕОКАД плюс» являются цифровые интернет-ресурсы «Градостроительный атлас Томска» и «TOMSK-3D»: важнейшие источники информации о градостроительных изменениях и о проектах развития города [10]. Данный опыт был отмечен ГИС-ассоциацией как лучшая муниципальная практика [11].

Практическая значимость ЦМГТ признана в коммерческом секторе не только компаниями, основная цель которых – создание ГИС как программного продукта, но и организациями, занимающимися, прежде всего, строительной и градостроительной деятельностью. В их числе, например: «Яуза-проект», MASTER'S Plan, «Параметрика», A101, АйВІМ, «Самолет», ПИК и др.

Компания «Яуза-проект», по данным официально сайта, является лидером в области планирования городских территорий России и мира. Основной продукт работы данной компании – мастер-план развития территории. Основная идея – работа по пяти направлениям: социология, инженерия и экология, транспорт, зонирование, экономика и управление. Основной инструмент реализации пространственных решений – геоинформация, которая представляет собой не только существующую картину среды, но и прогностическую, как положительную, так и отрицательную. Компания не ставит целью создание геоинформационной среды, но для представления результатов своей работы, обоснования принятых проектных решений и отражения полной городской ситуации специалистами создаются ее элементы⁸.

Проектное бюро «Параметрика» предлагает комплексное решение задач различной сложности с привлечением современных IT-технологий и собственного программного обеспечения (ПО) Urbanbot⁹. Urbanbot – система, которая уже сегодня может стать частью третьей стадии «прогноз» ЦМГТ, т. к. содер-

⁸ Яуза-проект. URL: <https://jauzaproject.com/> (дата обращения: 30.11.2023).

⁹ Параметрика. URL: <https://parametrica.team/> (дата обращения: 30.11.2023).

жит в себе модуль ГИС для срочного анализа землепользования и имеет инструменты моделирования мастер-плана территории.

Основным преимуществом ПО является снижение временных затрат на проектирование с одиннадцати месяцев до двух, что способствует уменьшению стоимости проектирования в целом. Снижение временных и финансовых затрат возможно за счет: неклассического подхода к проектированию и финансовому анализу (Urbanbot на основе анализа территории создает детальные концепции в пределах бюджета проекта); автоматизации процессов и максимального использования BIM; автоматизированного изменения экономических показателей в соответствии с реалиями рынка на всех стадиях проектирования и выбора наиболее эффективной модели застройки на конечном этапе (максимизация ТЭП) и др.

Исследование ГИС-систем часто оторвано от их нормативного определения и связано с другими аспектами. Например, с историей создания и анализа существующих платформ [3, 12, 13], их теоретической классификацией [14, 15], предложением исследований по созданию концепции [16–18] и непосредственного программного обеспечения (с перечнем конкретных задач) [19], авторскими методиками расчета градостроительных показателей [13, 20]. При этом основой исследования является опыт использования или создания данных систем, а не их законодательное определение, что указывает на неполноту в научно-исследовательском контексте отечественной законодательной основы геоинформационных систем. Р.В. Амелин [21] определяет пять основных нормативных критериев ГИС: основа создания ГИС – нормативно-правовые акты; использование ГИС обязательно ввиду государственного принуждения; функционал и организация ГИС регламентируются законодательными актами; внедрение ГИС устанавливает специальные права и обязанности для всех участников, поскольку регламентируется нормативами; ГИС – официальный источник информации.

Р.В. Амелин обосновывает невозможность функционирования ГИС-систем без нормативно-правовой документации, признает ее недостаточность на пороге четвертой технологической революции, но не рассматривает возможные пути изменения сложившейся ситуации.

О.С. Сергеева приводит ряд основополагающих документов создания ГИС-систем и примеры судебной практики в отношении авторского права [22].

Нормативно-правовая система строительной отрасли перешла в Россию из СССР и во многом не меняла своей структуры, только актуализировалась в соответствии с требованиями времени (рис. 3).

Требования градостроительной документации к цифровой модели сводятся к необходимости отражения в системе основных задач данных документов в визуальном и текстовом представлении, а также к возможности беспрепятственного извлечения информации и работы с данными в системе.

Схемы территориального планирования – это один из видов градостроительной документации по территориальному планированию, который определяет градостроительную стратегию и условия формирования среды жизнедеятельности населения на определенной территории. Инструменты, необходимые для реализации этого и иных документов, приведены на рис. 4.

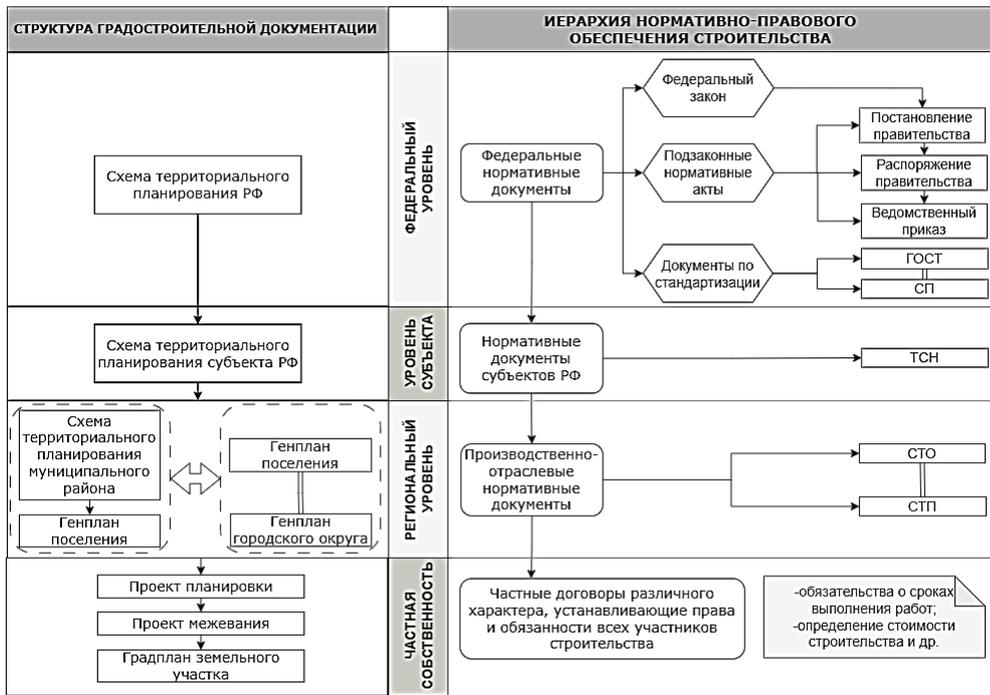


Рис. 3. Система документации строительной отрасли
 Fig. 3. Documentation of the construction industry



Рис. 4. Необходимые инструменты цифровой модели для реализации градостроительных задач различных уровней
 Fig. 4. Necessary tools of the digital model for the implementation of urban planning tasks at various levels

Определение инструментов, требующихся согласно нормам строительной отрасли, ограничено недостаточностью источников. Строительных правил для цифровизации городских территорий, подобно капитальным объектам строительства, не существует¹⁰, наиболее полноценно разработана документация федерального уровня. Нормативные акты регионального уровня не имеют четкой структуры и могут отличаться на разных участках территории страны, поэтому на данный момент не могут быть обобщены. Стандарты, используемые для нормирования системы, имеют как строительную, так и информационную, экономическую направленность (рис. 5).

ДОКУМЕНТЫ ФЕДЕРАЛЬНОГО УРОВНЯ	ОСНОВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИЕ ЦИФРОВУЮ МОДЕЛЬ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ	ИНСТРУМЕНТЫ, КОТОРЫЕ ТРЕБУЕТСЯ ОТРАЗИТЬ В ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
Федеральный закон	ФЗ от 29.12.2004 № 190-ФЗ "Градостроительный кодекс РФ"	<ul style="list-style-type: none"> Сведения о границах зон с особыми условиями использования территорий и об их характеристиках, в том числе об ограничениях использования земельных участков в границах таких зон План наземных и подземных коммуникаций Решения о резервировании земель или решения об изъятии земельных участков для государственных и муниципальных нужд Дела о застроенных или подлежащих застройке земельных участках Иные сведения, документы, материалы
Постановление правительства	ПП РФ от 06.07.2015 № 676 ПП РФ от 13.03.2020 № 279 ПП РФ от 12.09.2020 № 1416 ПП РФ от 28.09.2020 № 1558 ПП РФ от 07.06.2022 № 1040	<ul style="list-style-type: none"> Документы территориального планирования всех уровней значимости Нормативы градостроительного проектирования Градостроительное зонирование Правила благоустройства территории Планировка территории Инженерные изыскания Искусственные земельные участки и др.
Распоряжение правительства	РП РФ от 21.08.2006 № 1157-р РП РФ от 02.09.2021 № 2424-р РП РФ от 27.12.2021 № 3883-р	Внедрение следующих технологий информационного моделирования: обработки больших данных; систем распределенного реестра; виртуальной и дополненной реальности; быстродействующих систем обработки информации; пространственного анализа и моделирования; в области искусственного интеллекта; интернета вещей; проводной и беспроводной передачи данных и др.
Ведомственный приказ	Приказ МинЭкономРазвития РФ от 01.08.2007 № 74/120/20-пр Приказ МинЭкономРазвития РФ от 09.01.2018 № 10-пр Приказ МинСтроя РФ от 06.08.2020 № 430/пр	<ul style="list-style-type: none"> Пункты государственной геодезической сети и сетей сгущения Объекты гидрографии и гидротехнических сооружений Кварталы, здания, строения, их части и долговременные ограждения Улицы и проезды в населенных пунктах и автодорожная сеть для межселенных территорий Объекты административного деления всех уровней Объекты промышленной, инженерной и социальной инфраструктуры Растительный покров Объекты железнодорожной сети и др.
ГОСТ	ГОСТ Р 52055-2003 ГОСТ Р 52155-2003 ГОСТ Р ИСО 19105-2003 ГОСТ Р ИСО 19133-2003 ГОСТ Р 52438-2005 ГОСТ Р 52571-2006 ГОСТ Р 52572-2006 ГОСТ Р 5269-2016 ГОСТ Р 5296-2016 ГОСТ Р 5297-2016 ГОСТ Р 58570-2016 ГОСТ Р 10.0.03-2019 ГОСТ Р 10.0.04-2019	<ul style="list-style-type: none"> Наглядное представление трехмерного образа местности с топологическими связями и характеристиками в зависимости от времени суток, года и обстановки на экранах индивидуального и коллективного пользования Возможность наглядного зрительного восприятия рельефа, пространственных форм, размеров и положения наземных и подземных объектов местности, коммуникаций Многоплановость изображения элементов и объектов местности Измеримость изображения Визуальная оценка взаимного пространственного расположения объектов Содержание данных, точность местоположения которых соответствует требованиям нормативных документов федерального органа исполнительной власти по геодезии и картографии, предъявляемым к точности топографических карт и планов соответствующих масштабов Соответствие действительному состоянию местности Выполнение в единой системе координат Содержание необходимого и достаточного состава атрибутивных данных Топологическая корректность данных как внутри слоя, так и между слоями и др.

Рис. 5. Необходимые инструменты цифровой модели для реализации задач различных уровней, отраженных в нормативных актах строительной отрасли

Fig. 5. Necessary tools of the digital model for the implementation of tasks at various levels, which are reflected in construction industry regulations

В целом нормативно-правовое обеспечение цифровой модели городской территории в России является достаточно развитым и регулируется рядом законов, нормативных документов и стандартов. Развитие данной сферы деятельности актуально как для научного, так и для управленческого и коммерческого сообщества. В настоящем исследовании была предпринята попытка:

¹⁰ Реестр Сводов Правил. URL: <https://www.faufcc.ru/technical-regulation-in-constuction/formulary-list/> (дата обращения: 09.05.2023).

- выявить структуру нормативно-правовых источников информации для цифровой репрезентации городской территории;
- провести детализацию правовых аспектов разработки ЦМГТ с использованием существующих геоинформационных систем;
- систематизировать требования нормативно-правовых документов строительной отрасли к цифровой модели городской территории;
- выявить ключевые моменты правового поля как средства, требующего отражения в цифровой модели городской территории.

Таким образом, ЦМГТ может стать универсальным градостроительным документом, который объединит в себе многие правовые акты. Однако для более эффективного использования ЦМГТ необходимо продолжать исследования и разработки в этой области. Одним из основных направлений развития является формирование наполнения инструментария некоторыми наборами данных – описание требований к ним станет следующим этапом изыскания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Розенберг И.Н. Геоинформационная модель // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 5-4. С. 675–676. URL: <https://applied-research.ru/article/view?id=9487> (дата обращения: 25.11.2023).
2. Росреестр предложил сформировать экспертную группу по развитию геоинформационных технологий и пространственных данных // CNews : [сайт]. URL: https://www.cnews.ru/news/line/2020-02-05_rosreestr_predlozhit_sformirovat (дата обращения: 20.11.2023).
3. Панамарева О.Н. Анализ уровня представления географических информационных платформ за рубежом и в России, перспективы их развития // Вестник МФЮА. 2021. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-urovnya-predstavleniya-geograficheskikh-informatsionnyh-platform-za-rubezhom-i-v-rossii-perspektivy-ih-razvitiya> (дата обращения: 19.11.2023).
4. Федотов А.Л. Основы геоинформационных систем. Москва : Спутник+, 2013. 102 с.
5. Митягин С.А., Соболевский С.Л. и др. Цифровая модель города: принципы и подходы к реализации // International Journal of Open Information Technologies. 2019. № 12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-model-goroda-printsipy-i-podhody-k-realizatsii> (дата обращения: 20.11.2023).
6. Береговских А.Н. Информационно-аналитическая система управления развитием территорий (НАС УГРТ). Исследование. Концепция. Омск, 2011. 178 с. ISBN: 978-58042-0187-7.
7. Государственное и муниципальное управление развитием территорий: градостроительство и пространственные данные : [сайт]. URL: <https://itpgrad.ru/education/articles/gosudarstvennoe-i-munitsipalnoe-upravlenie-razvitiem-territoriy-gradostroitelstvo-i-prostranstvennyye/> (дата обращения: 30.11.2023).
8. Маметова Т.А., Александрова Е.А., Бурба М.О. Анализ геоинформационных систем в России и за рубежом // Информационное моделирование в задачах строительства и архитектуры : материалы VII Международной научно-практической конференции / под общ. ред. А.А. Семенова ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2024. С. 22–34.
9. Общество с ограниченной ответственностью «ГЕОКАД плюс». URL: <https://geocad.ru/> (дата обращения: 01.06.2024).
10. Автоматизированная информационная система обеспечения градостроительной деятельности (АИС ОГД) города Томска : [сайт]. URL: <https://geocad.ru/projects/informatsionnyeproekty/munitsipalnuu-uroven/ais-obespechenie-gradostroitelnoy-deyatelnosti-g-tomska-ais-ogd-tomska-/> (дата обращения: 01.06.2024).
11. Корнев В.И. Использование цифровых технологий и 3D-моделирования в градостроительной деятельности (на примере города Томска) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 70–82. URL: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-6-70-82>

12. Ляхова Н.И. Развитие геоинформационных систем в инфраструктуре пространственных данных России // РЭиУ. 2022. № 4 (72). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-geoinformatsionnyh-sistem-v-infrastrukture-prostranstvennyh-dannyh-rossii> (дата обращения: 25.11.2023).
13. Рада А.О., Гавриленко И.В., Колесник А.В. О влиянии геоинформационных технологий на экономику региона // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2021. № 1 (19). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vliyani-geoinformatsionnyh-tehnologiy-na-ekonomiku-regiona> (дата обращения: 25.11.2023).
14. Шуришин Е.А., Олехнович Я.А. Геоинформационные системы в строительстве и анализ точности измерений // Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 23 (75). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnye-sistemy-v-stroitelstve-i-analiz-tochnosti-izmereniy> (дата обращения: 25.11.2023).
15. Шайтура С.В., Гранкин В.Ф., Коломейцев А.В., Кожяев Ю.П., Байгутлина И.А. Основные направления использования геоинформационных систем в землеустройстве и земельном кадастре // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-ispolzovaniya-geoinformatsionnyh-sistem-v-zemleustroytve-i-zemelnom-kadastre> (дата обращения: 25.11.2023).
16. Ротанова И.Н., Юнаков В.С. Подходы к созданию региональной ГИС Алтайского края // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2022. № 4 (28). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-sozdaniyu-regionalnoy-gis-altayskogo-kraya> (дата обращения: 25.11.2023).
17. Малочкин В.Ю. Разработка механизма комплексной оценки состояния агроландшафтов на основе региональной геоинформационной системы Советского района Ставропольского края // Московский экономический журнал. 2022. № 9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-mehanzima-kompleksnoy-otsenki-sostoyaniya-agrolandshaftov-na-osnove-regionalnoy-geoinformatsionnoy-sistemy-sovetskogo> (дата обращения: 25.11.2023).
18. Аль Савафи М.Х. Геоинформационные технологии в градостроительной деятельности // Вестник БГТУ имени В.Г. Шухова. 2021. № 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnye-tehnologii-v-gradostroitelnoy-deyatelnosti> (дата обращения: 25.11.2023).
19. Грязнова Н.В., Сайтибрагимов А.Э. Цифровая параметрическая градостроительная документация // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. № 2 (37). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-parametricheskaya-gradostroitel'naya-dokumentatsiya> (дата обращения: 25.11.2023).
20. Мхитарян С.В., Мусатова Ж.Б., Муртузалиева Т.В., Тимохина Г.С., Широценская И.П. Методика оценки транспортной доступности капитальных объектов мегаполиса на основе геоинформационных данных // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2021. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-transportnoy-dostupnosti-kapitalnyh-obektov-megapolisana-osnove-geoinformatsionnyh-dannyh> (дата обращения: 19.11.2023).
21. Амелин Р.В. Правовые проблемы создания и использования государственных информационных систем // Труды Института государства и права РАН. 2018. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovye-problemy-sozdaniya-i-ispolzovaniya-gosudarstvennyh-informatsionnyh-sistem> (дата обращения: 19.11.2023).
22. Сергеева О.С. Правовое регулирование обращения с пространственными данными в среде ГИС // Географический вестник. 2017. № 3 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-obrascheniya-s-prostranstvennymi-dannymi-v-srede-gis> (дата обращения: 03.12.2023).

REFERENCES

1. Rosenberg I.N. Geoinformation Model. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2016; (5-4): 675–676. Available: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=9487> (In Russian).
2. Rosreestr proposed to form an expert group on the development of geoinformation technologies and spatial data. Available: www.cnews.ru/news/line/2020-02-05_rosreestr_predlozhit_sfornirovat (accessed November 20, 2023). (In Russian)

3. *Panamareva O.N.* Representation of Geographic Information Platforms in Russia and Abroad. Development Prospects. *Vestnik MFYuA.* 2021; (4). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-urovnya-predstavleniya-geograficheskikh-informatsionnyh-platform-za-rubezhom-i-v-rossii-perspektivy-ih-razvitiya> (In Russian)
4. *Fedotov A.L.* Basics of Geographic Information Systems. Moscow: Sputnik+, 2013. 102 p. (In Russian)
5. *Mityagin S.A., Sobolevsky S.L., et al.* Digital City Model: Principles and Approaches to Implementation, International Journal of Open Information Technologies, Moscow, Russia, 2019; (12). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-model-goroda-printsipy-i-podhody-k-realizatsii> (In Russian)
6. *Beregovskikh A.N.* Information and Analytical System for Managing the Territory Development. Omsk: Omskblankizdat, 2011. 178 p. (In Russian)
7. State and Municipal Management of Territorial Development. Available: <https://itpgrad.ru/education/articles/gosudarstvennoe-i-munitsipalnoe-upravlenie-razvitiem-territoriy-gradostroitelstvo-i-prostranstvennye/> (accessed November 30, 2023). (In Russian)
8. *Mametova T.A., Aleksandrova E.A., Burba M.O.* Analysis of Geoinformation Systems in Russia and Abroad. In: *Proc. 7th Int. Conf. 'Information Modeling in Construction and Architecture'*. A.A. Semenova (Ed.). Saint-Petersburg, 2024. Pp. 22–34. (In Russian)
9. Limited Liability Company “GEOCAD Plus”. Available: <https://geocad.ru/> (accessed June 1, 2024). (In Russian)
10. Automated information system for supporting urban planning activities in Tomsk. Available: <https://geocad.ru/projects/informatsionnye-proekty/munitsipalnyy-uroven/ais-obespechenie-gradostroitelnoy-deyatelnosti-g-tomska-ais-ogd-tomska-/> (accessed June 1, 2024). (In Russian)
11. *Korenev V.I.* Digital Technologies and 3D Modeling of Urban Planning (the Tomsk Case Study). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture.* 2020; 22 (6): 70–82. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-6-70-82> (In Russian)
12. *Lyakhova N.I.* Development of Geoinformation Systems in Spatial Data Infrastructure of Russia. *Regional'naya ekonomika i upravlenie.* 2022; 4 (72). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-geoinformatsionnyh-sistem-v-infrastrukture-prostranstvennyh-dannyh-rossii> (In Russian)
13. *Rada A.O., Gavrilenko I.V., Kolesnik A.V.* Influence of Geoinformation Technologies on Regional Economy. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Politicheskie, sotsiologicheskie i ekonomicheskie nauki.* 2021; 1 (19). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vliyani-geoinformatsionnyh-tehnologiy-na-ekonomiku-regiona> (In Russian)
14. *Shurshilin E.A., Olekhovich Ya.A.* Geoinformation Systems in Construction and Analysis of Measurement Accuracy. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'.* 2021; 23 (75). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnye-sistemy-v-stroitelstve-i-analiz-tochnosti-izmereniy> (In Russian)
15. *Shaitura S.V., Grankin V.F., Kolomeyts A.V., Kozhaev Yu.P., Baygutlina I.A.* Main Directions of Using Geoinformation Systems in Land Management and Land Cadastre. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii.* 2022; (2). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-ispolzovaniya-geoinformatsionnyh-sistem-v-zemleustroystve-i-zemelnom-kadastre> (In Russian)
16. *Rotanova I.N., Yunakov V.S.* Approaches to Creation of Regional Gis of the Altai Region. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii.* 2022; 4 (28). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-sozdaniyu-regionalnoy-gis-altayskogo-kрая> (In Russian)
17. *Malochkin V.Yu.* Development of a Mechanism for Comprehensive Assessment of the Condition of Agrolandscapes Based on the Regional Geoinformation System of the Sovetsky District of the Stavropol Territory. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal.* 2022; (9). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-mehanizma-kompleksnoy-otsenki-sostoyaniya-agrolandshaf-tov-na-osnove-regionalnoy-geoinformatsionnoy-sistemy-sovetskogo> (In Russian)
18. *Al Sawafi M.H.* Geoinformation Technologies in Urban Planning Activities. *Vestnik BGTU imeni V.G. Shukhova.* 2021; (6). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoinformatsionnye-tehnologii-v-gradostroitelnoy-deyatelnosti> (In Russian)

19. Gryaznova N.V., Saitbragimov A.E. Digital Parametric Urban Planning Documentation. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2021; 2 (37). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-parametricheskaya-gradostroitel'naya-dokumentatsiya> (In Russian)
20. Mkhitarian S.V., Musatova Zh.B., Murtuzaliyeva T.V., Timokhina G.S., Shirochenskaya I.P. Methodology for Assessing Transport Accessibility of Capital Facilities in a Mega City Based on Geoinformation Data. *Modernizatsiya. Innovatsii. Razvitie*. 2021; (4). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-transportnoy-dostupnosti-kapitalnyh-obektov-megapolisana-osnove-geoinformatsionnyh-dannyh> (In Russian)
21. Amelin R.V. Legal Problems of Creating and Using State Information Systems. *Trudy Instituta gosudarstva i prava RAN*. 2018; (4). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovye-problemy-sozdaniya-i-ispolzovaniya-gosudarstvennyh-informatsionnyh-sistem> (In Russian)
22. Sergeeva O.S. Legal Regulation of Handling Spatial Data in GIS Environment. *Geograficheskiy vestnik*. 2017; 3 (42). Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-obrascheniya-s-prostranstvennymi-dannymi-v-srede-gis> (In Russian)

Сведения об авторах

Маметова Татьяна Алексеевна, аспирант, ассистент, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, t.peregutova@sibstrin.ru

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

Authors Details

Tat'yana A. Mametova, Research Assistant, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, t.peregutova@sibstrin.ru

Dmitrii V. Karelin, PhD, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, d.karelin@sibstrin.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 15.12.2023
Одобрена после рецензирования 24.09.2024
Принята к публикации 25.09.2024

Submitted for publication 15.12.2023
Approved after review 24.09.2024
Accepted for publication 25.09.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 113–126.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 113–126.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 728.53

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-113-126

EDN: IVLSCX

ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТУРИСТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ (НА ПРИМЕРЕ ЮГА РОССИИ)

Яна Викторовна Довбня, Елена Степановна Астахова

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

Аннотация. В статье анализируется отечественный и зарубежный опыт проектирования экологических туристических комплексов, рассматриваются особенности их архитектурной организации, дается описание и сравнение трех архитектурных моделей экологических туристических комплексов, а также выявляются основные экологические приемы их проектирования.

Актуальность темы исследования определяется следующими факторами: увеличением туристического потенциала территорий юга России и страны в связи с изменившимися условиями и направлениями туристических потоков; растущим интересом общества к экологии и вследствие этого появлением нового вида туристической архитектуры – экотуризма, одновременно с недостаточным опытом его теоретических исследований и проектирования.

Цель исследования – выявление архитектурных особенностей экологических туристических комплексов и разработка проектных предложений таких комплексов для юга России.

Результатом исследования является анализ формообразующих факторов: градостроительных, архитектурно-планировочных, функциональных, экологических и прочих, влияющих на архитектуру экологических туристических комплексов, а также их классификация по организационной структуре, функциональному содержанию, степени доступности, социальной эффективности и факторам экологичности. Предложена концепция экологического туристического комплекса для юга России, выполнен экспериментальный проект на территории пригородной зоны города Краснодара.

Рассмотрены особенности организации экологического туризма в условиях природной среды, а также возможность экологического просвещения населения в процессе отдыха. Предложены архитектурные модели экологических туристических комплексов: приключенческого, научного и рекреационного с элементами экологического образования, проведен их сопоставительный анализ, на основе которого произведен выбор самой эффективной модели для юга России.

Ключевые слова: архитектура, архитектурные особенности, архитектурная организация, классификация туристических комплексов, экологический туристический комплекс, архитектурные модели, экологический туризм

Для цитирования: Довбня Я.В., Астахова Е.С. Особенности архитектурной организации экологических туристических комплексов (на примере юга России) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 113–126. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-113-126. EDN: IVLSCX

ORIGINAL ARTICLE

ARCHITECTURAL ORGANIZATION OF ECOLOGICAL TOURIST COMPLEXES (THE SOUTH RUSSIA CASE STUDIES)**Yana V. Dovbnya, Elena S. Astakhova***Academy of Architecture and Arts, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*

Abstract. This article analyzes the domestic and foreign experience in design of ecological tourist complexes, their architectural organization, three architectural models of ecological tourist complexes, and identifies the main design techniques. The relevance is determined by the growing interest of society in ecology; an increase in the tourist potential of the territories of southern Russia due to changing conditions; the emergence of a new type of tourist architecture, as well as an insufficient amount of design experience.

Purpose: To identify the architecture of ecological tourist complexes and develop design proposals for such complexes in the south of Russia.

Methodology/approach: The analysis of formative factors: urban planning, architectural planning, functional, environmental, affecting the architecture of ecological tourist complexes, their classification by organizational structure, functional content, accessibility, social efficiency and environmental factors. The concept of an ecological tourist complex in Krasnodar is proposed.

Research findings: The organization of ecological tourism in the natural environment, environmental education of the population in the process of recreation are considered. Architectural models of ecological tourist complexes are proposed: adventure, scientific and recreational elements of environmental education, their comparative analysis, and selection of the effective model for Krasnodar.

Keywords: architecture, architectural organization, tourist complex, architectural model, ecological tourism

For citation: Dovbnya Ya.V., Astakhova E.S. Architectural Organization of Ecological Tourist Complexes (The South Russia Case Studies). Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 113–126. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-113-126. EDN: IVLSCX

Введение

Одним из популярных направлений отдыха человека, активно развивающимся во всем мире, является экологический туризм. По определению Международного общества экотуризма (The International Ecotourism Society) экологический туризм – это туризм, включающий путешествия в места с относительно нетронутой природой с целью получить представление о природных и культурно-этнографических особенностях данной местности, не нарушающий целостности экосистем и создающий такие экономические условия, при которых охрана природы и природных ресурсов становится выгодной для местного населения [1, 2].

Активный интерес к экотуризму по всему миру обусловлен ухудшением экологической обстановки в городах, насыщением традиционных туристических мест и ростом благосостояния, способствующего высвобождению свободного времени. Однако главная цель экотуризма заключается в сохранении окружающей среды, внимательном отношении к ней и понимании, что природные и культурные ценности являются основными достопримечательностями человеческой

цивилизации. Корректно организованный экологический туризм помогает более эффективно сохранять природу, чем другие меры или строгие запреты.

Растущий интерес общества к экологическому туризму в последние годы стал толчком к развитию нового типа архитектуры, которая могла бы объединить в себе эстетику, комфорт и экологическую устойчивость. В этом контексте архитектурная организация экологических туристических комплексов становится ключевым фактором для создания уникальной атмосферы и поддержания окружающей среды. Она учитывает потребности не только людей, культурного контекста, но и природного окружения [3].

Одним из инструментов формирования экологической архитектуры являются национальные системы сертификации, которые фокусируются на определенном аспекте, важном для данной страны: энергоэффективности (LEED), экологии (BREEAM), создании долговременной среды жизнедеятельности (DGNB). Для России главенствующим является качество строительства и создание комфортной внутренней среды [4].

Модели экологических туристических комплексов в мировой архитектуре

Детальное изучение опыта проектирования архитектурных объектов экотуризма разных стран позволило выделить четыре модели экологических туристических комплексов (ЭКТ): *российская, западная, американская и африканская* – и определить их ведущие принципы в зависимости от природного и экологического потенциала территорий и степени развития различных видов туризма [5].

Основными принципами архитектурной организации туристических комплексов, свойственными всем моделям, являются: доступность для разных групп населения; комфортность отдыха; ориентация на рациональное использование природных ресурсов; тесная взаимосвязь планировочной и композиционной структуры, а также ландшафтных характеристик и т. д.

Западной модели свойственно: преобладание функций отдыха и оздоровления; централизованный тип композиционного решения; расположение преимущественно на прибрежных территориях и в парковых зонах; преобладание конных и пеших маршрутов на территории комплексов. Особенностью западной модели является восприятие окружающего мира в целом. Например, экологический отель Lefay Resort & SPA Lago di Garda, построенный на озере Гарда на севере Италии (рис. 1) [6]. Туристический комплекс Lefay Resort расположен в заповедной зоне, построен с использованием экологически чистых материалов, не загрязняет окружающую среду и предлагает клиентам блюда из продуктов местного производства.

Особенности *американской модели*: преобладание приключенческой функции и функции экопросвещения; блочный или павильонный тип композиционного решения; расположение преимущественно на прибрежных территориях и в парковых зонах; включение водных маршрутов в концепцию комплексов. Архитектура экологических комплексов американской модели часто напоминает деревенские хижины из местных материалов. Например, комплекс GoldenEye в Северной Америке (рис. 2) [7] представляет собой комплекс вилл,

коттеджей и пляжных хижин в сочетании с премиальным спа-комплексом. В комплексе есть органическая ферма, в которой посетители могут заняться рыбной ловлей и защитой морских черепах.



Рис. 1. Экологический отель Lefay Resort & SPA Lago di Garda, Италия [6]
Fig. 1. Ecological hotel Lefay Resort & SPA Lago di Garda, Italy [6]

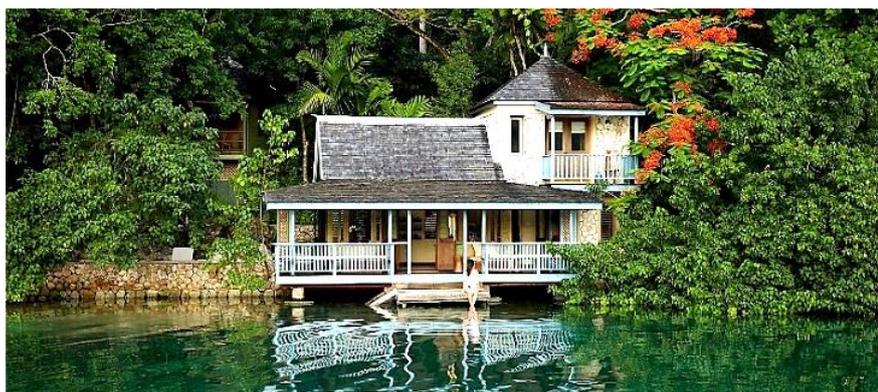


Рис. 2. Экологический отель GoldenEye, г. Оракабесса, Ямайка [7]
Fig. 2. Ecological hotel GoldenEye, Oracabessa, Jamaica [7]

Африканская модель отличается преобладанием приключенческой функции, павильонным типом композиционного решения, расположением преимущественно на прибрежных и пустынных территориях, в горной местности. В основу развития экотуризма по африканской модели легли неповторимое природное своеобразие и культурно-национальная самобытность. Например, экологический туристический комплекс The Outpost Lodge в Южной Африке, расположенный на окраине национального парка Крюгера (рис. 3) [8]. Основным принципом экологического комплекса Outpost Lodge является оказание наименьшего воздействия на ландшафт и окружающую среду, т. к. он находится в дикой нетронутой природе.



Рис. 3. Экологический отель Outpost Lodge, Южная Африка [8]
Fig. 3. Ecological hotel The Outpost Lodge, South Africa [8]

Российская модель отражает возможность размещения экологических туристических комплексов в самых разнообразных природно-климатических и геолого-ландшафтных условиях, что обуславливает их разнообразие. Российская модель может включать в себя особенности трех других моделей экологических туристических комплексов, но при этом она также имеет свои особенности. Основные принципы российской модели архитектурной организации ЭКТ:

- проектирование в разных видах рекреационных территорий в связи с богатым природным потенциалом страны;
- учет природных и ландшафтных особенностей конкретного региона;
- адаптация под существующий природный массив и интеграция объекта в окружающую среду;
- взаимосвязь климатических условий конкретного региона с архитектурно-художественным и планировочным решением объекта;
- включение функции экологического просвещения в концепцию объекта.

Примером может служить концепция экоотеля «Волна» в д. Пlosки Конаковского р-на Тверской области, разработанная IND Architects с учетом уникального существующего ландшафта на берегу Волги (рис. 4) [9].



Рис. 4. Концепция экоотеля «Волна» в д. Пlosки Конаковского р-на Тверской обл., Россия [9]
Fig. 4. The concept of eco-hotel "Volna" in the village of Ploski, Konakovsky district, Tver region, Russia [9]

В отеле использованы натуральные материалы, интегрированы ферма и теплица, архитектура адаптирована под существующий природный массив и окружающую среду.

Экологическая архитектура в настоящее время набирает популярность во всем мире, но чаще всего понятие «экологичность» выражается в деталях, не влияющих на внешний облик сооружения. В процессе изучения и исследования приемов устойчивого развития можно добиться внедрения в архитектуру новых технологий и возможностей экологичности, которые будут визуально выделять экологическую архитектуру на фоне стандартных архитектурных объектов.

На основе анализа мирового опыта проектирования экологические туристические комплексы можно разделить на три основные группы:

1. По видам туристической деятельности.
2. По типу рекреационной территории – комплексы на территории водных объектов, на прибрежных территориях, в лесных массивах, в парковых зонах, в горной местности и др.
3. По композиционной структуре – централизованные, блочные, павильонные и др.

Классификация по виду туристической деятельности

Экологические туристические комплексы можно систематизировать по виду туристической деятельности (рис. 5): приключенческие, научные, рекреационные с элементами экологического образования, экофермы и уникальные туристические комплексы на особо охраняемых природных территориях (ООПТ).



Рис. 5. Классификация экологических туристических комплексов по виду туристической деятельности

Fig. 5. Classification of ecological tourist complexes by tourism activity

Приключенческие экологические туристические комплексы в основном проектируются в окружении природы со спортивными или экстремальными целями (в горах, под водой, в экстремальных природных условиях). Примером является проект горнолыжного комплекса «Ведучи», Чеченская Республика, Россия, Альфапроект [10].

Научные экологические туристические комплексы могут располагаться в любых природных условиях, однако их деятельность направлена на осуществление возможности проведения научных исследований в данной природной среде в сочетании с отдыхом. Характер этих комплексов наиболее полно реализован в проекте курорта Nautilus, Vincent Callebaut Architectures, Филиппины [11].

Экофермы предоставляют посетителям возможность ознакомиться с устойчивым сельским хозяйством и принципами охраны окружающей среды (с применением различных видов экологической активности) и возможностью кратковременного размещения туристов на территории (с небольшой вместимостью). Например, туристический центр Treehouse, США, 2014, Архитектурное бюро Mithun [12].

Рекреационные экологические туристические комплексы с элементами экологического образования и воспитания сочетают отдых в окружении природы с ее наблюдением и изучением, что реализовано в проекте RACV Torquay Resort, Австралия, 2015 (архитектурное бюро Wood Marsh Architects) [13].

Туристические комплексы на особо охраняемых природных территориях – это уникальные объекты с программами и различными видами активности по экологическому просвещению, с возможностью кратковременного размещения туристов. Пример: база отдыха «Открытые Кижы», о. Кижы, Карелия, 2019 [14].

Принципы архитектурной организации экологических туристических комплексов

На основе анализа проектирования объектов экологического туризма были сформулированы основные принципы архитектурной организации ЭКТ комплексов:

– принцип экологической устойчивости – обеспечение экологической безопасности человека и природы с помощью приемов устойчивой архитектуры (применение местных и экологичных материалов, сокращение отходов и вредных выбросов, эффективное использование энергии, воды, внимание к поддержанию здоровья посетителей, сохранение природной среды и т. д.);

– принцип взаимодействия существующей природной среды с создаваемым объектом – построение взаимосвязи архитектурного образа комплекса с природной средой, климатическими и ландшафтными характеристиками в зависимости от региона проектирования и его особенностей;

– принцип разнообразия – совмещение различных видов туризма и применение различных архитектурных решений в комплексе;

– принцип мобильности – позволяет доставить рекреационные модули в труднодоступные природные районы (по земле, воздуху, воде) и создать на их основе туристическую среду, соблюдая экологические требования при строительстве и эксплуатации;

– принцип архитектурно-художественной выразительности – создание привлекательного архитектурного облика комплекса в гармонии с окружающей застройкой и природной средой.

Параметры экологичности ЭТК. Параметры экологичности являются основным принципом в архитектурной организации экологических туристических комплексов. Основные из них – экологически чистые строительные материалы и энергоэффективные технологии. Наиболее значимым фактором любого материала является его жизненный цикл: добыча сырья – его переработка – производство готовой продукции – транспортировка – применение материалов – эксплуатация – утилизация, с возможностью повторного использования в строительстве [10, 15].

Среди других параметров экологичности ЭТК можно выделить использование местных материалов, озеленение фасадов и общественных пространств в здании, ландшафтный дизайн, управление отходами, сбор и повторное использование воды, а также отсутствие транспорта на территории комплекса и др. Все перечисленные приемы служат важнейшим условием при проектировании экологических туристических комплексов, а также способствуют повышению устойчивости и экологического вклада объекта в сохранение окружающей среды.

Модели архитектурной организации ЭТК на юге России

На основании проведенного исследования авторами статьи предложены три модели архитектурной организации экологического туристического комплекса для юга России: приключенческий (рис. 6), научный (рис. 7) и рекреационный (рис. 8).

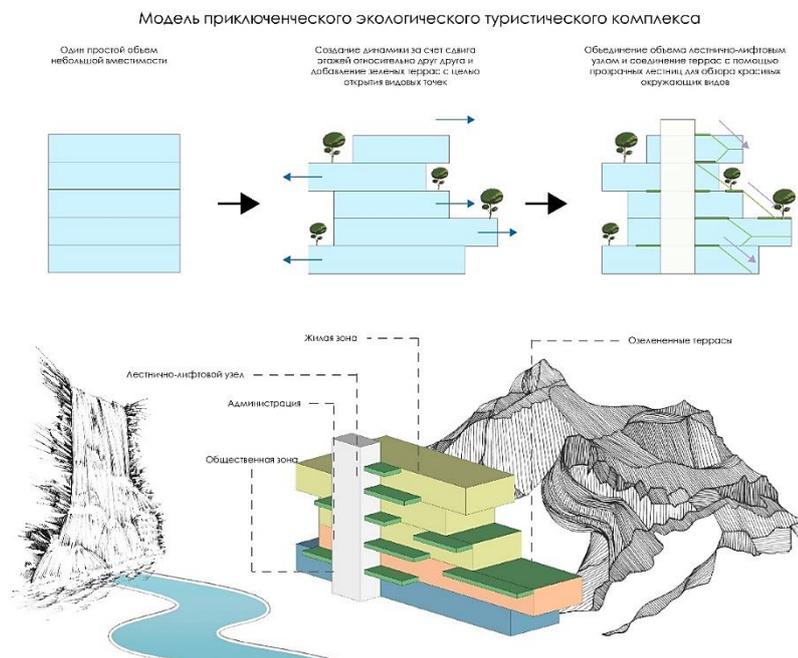


Рис. 6. Модель приключенческого экологического туристического комплекса
Fig. 6. Model of adventure ecological tourism complex

Модель приключенческого экологического туристического комплекса (рис. 6) предполагает размещение объекта чаще всего в экстремальных природных условиях (в горах, под водой, на деревьях и т. п.). В связи с этим предлагается проектирование компактного объема небольшой вместимости. Комплекс находится в окружении природных живописных ландшафтов, поэтому для создания более природо-интегрированной архитектуры объем усложняется с помощью добавления террас и объединяется стеклянным прозрачным блоком лестнично-лифтового узла. По функциональному наполнению он включает минимальный набор помещений: общественная зона, администрация, жилая зона и открытые террасы.

Научный экологический туристический комплекс (рис. 7) предполагает размещение в природной среде с возможностью ее изучения (может быть доступен научным сотрудникам, студентам, школьникам). В связи с этим формируется один большой объем, с помощью сдвигов и добавления плоского объема создается композиция, позволяющая связать архитектурный объект с природой. Озеленение фасадов, кровли, а также создание моста, соединяющего объем в уровне третьего этажа с внешней средой, добавляет обычному научному комплексу параметры экологичности. Сохраняя функции приключенческого экологического комплекса, научный комплекс расширяет их за счет научно-образовательного направления, включения элементов природно-интегрированной архитектуры в научно-образовательных целях.

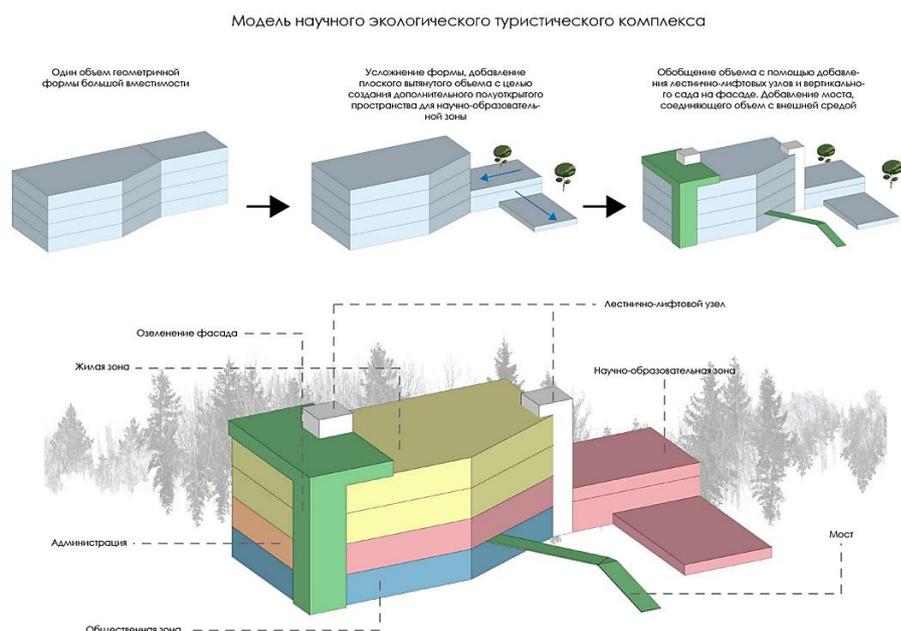


Рис. 7. Модель научного экологического туристического комплекса
 Fig. 7. Model of scientific ecological tourism complex

Рекреационный комплекс (рис. 8) строится на основе научной модели. Однако в данном случае акцент делается на отдых и оздоровление с элементами

образования, интегрированными в отдых. Данный комплекс предназначен для всех групп населения. Он представляет собой один большой объем, но более сложной геометрической формы, подчеркивающей окружающую природную среду за счет использования большого количества террас и других озелененных общественных пространств, а также атриума в архитектурном решении. В ландшафтном решении также используются экологические прогулочные тропы, которые позволяют принять на себя всю антропогенную нагрузку на ландшафт. По функциональному наполнению рекреационный комплекс имеет общественную, административную, жилую зоны, а также зону экологического образования, спа-комплекс и озелененные террасы, атриум и другие пространства.

Модель рекреационного экологического туристического комплекса с элементами экологического образования и воспитания

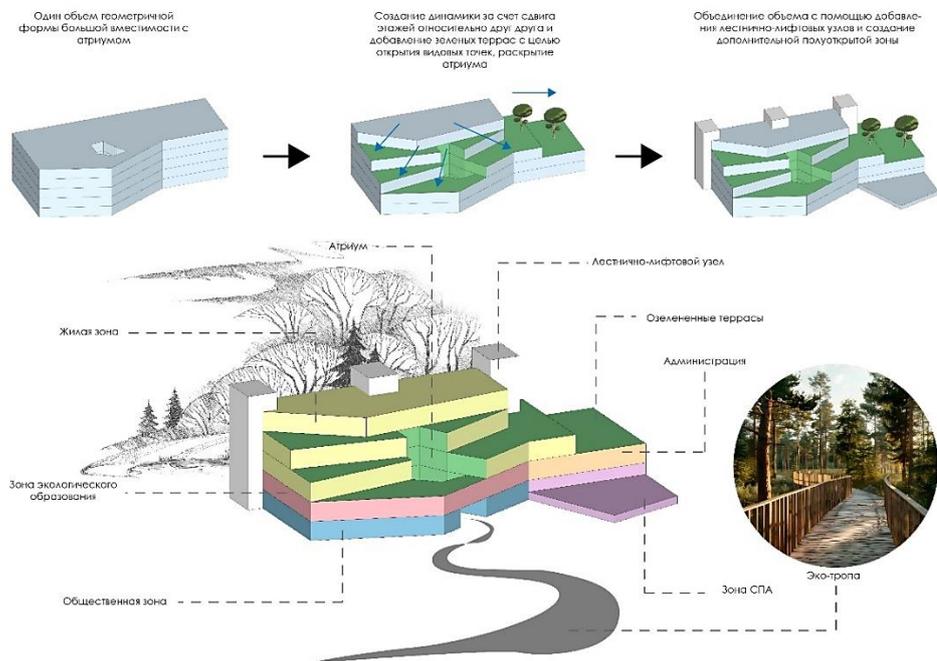


Рис. 8. Модель рекреационного экологического туристического комплекса
Fig. 8. Model of recreational ecological tourist complex

В соответствии с данной классификацией и на основе анализа опыта проектирования была проведена сравнительная оценка приключенческого, научного и рекреационного типов экологических туристических комплексов. В качестве критериев сравнения выступали: доступность для различных групп населения, функциональное наполнение, сложность организации, социальная эффективность, затраты на проектирование и строительство, размещение, площадь участка, экономический эффект.

По результатам сравнительного анализа наиболее эффективным типом экологического туристического комплекса на юге России по типу туристической деятельности является рекреационный экологический туристический комплекс

с элементами экологического образования и воспитания, т. к. он может сочетать как функции объектов отдыха и оздоровления, так и приключенческих объектов, при этом имея наибольшую социальную и экономическую эффективность для повышения туристического и экологического потенциала региона размещения.

Особенности благоустройства территории ЭТК

Одним из ключевых аспектов проектирования туристических комплексов является учет специфики рекреационной территории и ее взаимодействие с природными условиями. Генеральный план обуславливает общую пространственную концепцию комплекса, где сочетаются элементы архитектуры и ландшафта. Важно также учитывать воздействие посетителей на природу территории комплекса.

Одной из главных особенностей средового решения экологического туристического комплекса является проектирование экологических маршрутов на территории. *Экологическая тропа* – это специально оборудованный маршрут, проходящий через различные экологические системы и другие природные объекты, архитектурные памятники, имеющие эстетическую, природоохранную и историческую ценность.

В процессе взаимодействия человека с территорией комплекса природная среда подвергается антропогенному воздействию, в результате чего происходит вытаптывание зеленого покрова линейного характера. Экологическая тропа в данном случае принимает на себя основную нагрузку и помогает человеку наладить контакт с природой, не подвергая ее негативному воздействию. Использование природных материалов при проектировании тропы, оставшихся после санитарной очистки леса, повышает экономичность и экологичность проекта.

Экологическая тропа дает возможность непосредственного взаимодействия с природными объектами, наблюдения за животным миром, растительностью, водными и горными образованиями, что способствует формированию уважения к природе и понимания ее ценности, воспитанию экологического сознания. Включение элементов экологического образования в маршрут экологической тропы (интерактивные информационные зоны, экскурсии с экологическими гидами, взаимодействие с природой и др.) играет важную роль в формировании экологического сознания.

Объемно-планировочное решение ЭТК

Архитектурно-планировочное решение экологического туристического комплекса главным образом опирается на концепцию устойчивого развития.

Выбор объемно-планировочного решения объекта должен основываться на следующих принципах:

– *принцип «зеркала»* – отражение особенностей ландшафта в архитектуре комплекса: создание объемно-пространственной структуры, подчиненной природной среде, использование природных цветов и материалов, внедрение в архитектуру фрагментов природной среды;

– *принцип «симбиоза»* – эффективное взаимодействие архитектуры и среды – использование архитектурных приемов для эффективного взаимодействия с природными ресурсами (солнечные батареи, озелененные кровли);

– принцип «положительного воздействия» – комплексная оценка принятых архитектурных решений и их воздействия на окружающую природу с целью обеспечения суммарного положительного воздействия (экологические тропы);

– принцип «самообеспечения» – использование архитектурных решений для самодостаточного функционирования (солнечные батареи, доочистка ресурсов), принцип актуален с учетом удаленности комплекса от центра города;

– принцип «воспроизводства» – воспроизведение в архитектуре ЭТК местной растительности и прочих элементов природного окружения в конструктивных элементах здания и в решениях ландшафтного дизайна [11, 16];

– принцип «тройной перспективы» [12, 17] – проектирование с учетом многоплановости восприятия: разработка композиционных решений в структуре удаленного восприятия (панорамные виды с акватории и противоположного берега).

Результаты исследования:

– выявлены архитектурные особенности проектирования экологических туристических комплексов, определены принципы их организации;

– определены принципы экологичности в организации ЭТК;

– проведена классификация экологических туристических комплексов (по видам туристической деятельности, типу рекреационной территории и композиционной структуре);

– проведен сравнительный анализ архитектурных моделей экологических туристических комплексов;

– определены принципы концепции устойчивого развития для архитектурных решений экологических туристических комплексов.

Выводы

Выявленные архитектурные особенности экологических туристических комплексов и разработанные в процессе исследования их возможные архитектурные модели позволили определить стратегию проектирования ЭТК для юга России.

По результатам сравнительного анализа определено, что наиболее эффективным типом экологического туристического комплекса на юге России является рекреационный экологический туристический комплекс с элементами экологического образования и воспитания, т. к. он может сочетать функции как объектов отдыха и оздоровления, так и приключенческих объектов, при этом имея наибольшую социальную и экономическую эффективность для повышения туристического и экологического потенциала региона размещения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Экологический туризм на пути в Россию*. Принципы, рекомендации, российский и зарубежный опыт / под ред. Е.Ю. Ледовских, Н.В. Моралевой, А.В. Дроздова. Тула : Гриф и К, 2002. 284 с.
2. *Экотуризм на пути в Россию* : материалы Международного семинара по экотуризму. European Commission. Петрозаводск, 2001.
3. *Ремизов А.Н.* Логика экоустойчивой архитектуры // *Онтология проектирования*. 2016. Т. 6. № 4 (22). С. 541–554.

4. Ремизов А.Н. Экоустойчивая архитектура как процесс // Жилищное строительство. 2016. № 4. С. 48–51.
5. Довбня Я.В. Особенности архитектурной организации экологических туристических комплексов // Неделя науки 2023 : сборник тезисов. В 2 частях ; Южный федеральный университет. Ростов-на-Дону ; Таганрог : Изд-во Южного федерального университета, 2023. С. 21–23.
6. Pinterest // Lefay Resort & SPA Lago di Garda. URL: www.pinterest.de/pin/253679391483428608 (дата обращения: 14.03.2024).
7. Вилла Флеминга в Голденей на Ямайке // Bond Lifestyle. URL: www.jamesbondlifestyle.com/news/win-trip-fleming-villa-goldeneye-jamaica (дата обращения: 14.03.2024).
8. The Outpost // Unraveling the Wonders of the Northern Kruger : URL: www.rare-earth.co.za/properties/the-outpost (дата обращения: 14.03.2024).
9. Концепция экоотеля «Волна» // archi.ru. URL: [archi.ru. URL: //archi.ru/projects/russia/15187/konceptsiya-eko-otelya-volna](http://archi.ru/projects/russia/15187/konceptsiya-eko-otelya-volna) (дата обращения: 14.03.2024).
10. Всесезонный горнолыжный курорт «Ведучи» // ИнженерАль. URL: www.ingeneral.ru/projects/vsesezonnyy-gornolyzhnyy-kurort-veduchi (дата обращения: 14.03.2024).
11. Nautilus Eco-Resort // Vincent Callebaut Architectures. URL: www.vincent.callebaut.org/object/170831_nautiluscoresort/nautiluscoresort/projects (дата обращения: 14.03.2024).
12. Архитектура эко-туристических объектов // Хвоя. URL: www.hvoya.wordpress.com/2014/03/21/mithun (дата обращения: 14.03.2024).
13. RACV Torquay Resort // Kane. URL: www.kane.com.au/project/racv-torquay-resort (дата обращения: 14.03.2024).
14. Туристско-рекреационный кластер «Открытые Кижы» // Открытые Кижы. URL: www.openkizhi.ru/ (дата обращения: 14.03.2024).
15. Стратегия развития экоустойчивой архитектуры в России : [сайт]. URL: <http://rsabc.ru/publicatsii/strategiya-razvitiya-ekoustoychivoy-arkhitektury-v-rossii-a-n-remizov478.html> (дата обращения: 14.03.2024).
16. Колодин К.И. Интерьер загородной улицы. Москва : Архитектура-С, 2015. 416 с. ISBN 978-5-9647-0273-3.
17. Николаева А.С. Принципы архитектурной организации туристско-рекреационных комплексов на озере Байкал // Вестник Евразийской науки. 2019 № 1. URL: <https://esj.today/PDF/31SAVN119.pdf>

REFERENCES

1. Ledovskikh E.Y., Moraleva N.V., Drozdov A.V. (Eds.) Ecological Tourism on the Way to Russia: Principles, Recommendations, Russian and Foreign Experience. Tula: Grif i K, 2002. 284 p. (In Russian)
2. Ecotourism on the Way to Russia. In: *Proc. Int. Seminar on Ecotourism. European Commission*. Petrozavodsk, 2001. (In Russian)
3. Remizov A.N. Logic of Sustainable Architecture. *Ontologiya proektirovaniya*. 2016; 6 (4): 541–554. Available: www.ontology-of-designing.ru/article/2016_4%2822%29/11_Remizov.pdf (In Russian)
4. Remizov A.N. Eco-Sustainable Architecture. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2016; (4): 48–51. (In Russian)
5. Dovbnya Ya.V. Architectural Organization of Ecological Tourist Complexes. *Nedelya nauki*. Rostov-on-Don; Taganrog, 2023. Pp. 21–23. (In Russian)
6. Pinterest. In: Lefay Resort & SPA Lago di Garda. Available: www.pinterest.de/pin/253679391483428608 (accessed March 14, 2024).
7. Fleming's Villa in Goldeneye, Jamaica. Available: www.jamesbondlifestyle.com/news/win-trip-fleming-villa-goldeneye-jamaica (accessed March 14, 2024).
8. The Outpost. Unraveling the Wonders of the Northern Kruger. Available: www.rare-earth.co.za/properties/the-outpost (accessed March 14, 2024).
9. The concept of the eco-hotel "Volna". Available: www.archi.ru/projects/russia/15187/konceptsiya-eko-otelya-volna (accessed March 14, 2024).
10. All-season ski resort "Veduchi". Available: www.ingeneral.ru/projects/vsesezonnyy-gornolyzhnyy-kurort-veduchi (accessed March 14, 2024).

11. Nautilus Eco-Resort. Available: www.vincent.callebaut.org/object/170831_nautiluscoresort/nautiluscoresort/projects (accessed March 14, 2024).
12. Architecture of Eco-Tourist Sites. Available: www.hvoya.wordpress.com/2014/03/21/mithun (accessed March 14, 2024).
13. RACV Torquay Resort. Available: www.kane.com.au/project/racv-torquay-resort (accessed March 14, 2024).
14. Tourist and Recreational Cluster "Open Kizhi". Available: www.openkizhi.ru/ (accessed March 14, 2024).
15. Strategy for the development of eco-sustainable architecture in Russia. Available: www.rsabc.ru/ru/publikatsii/strategiya-razvitiya-ekoustoychivoy-arkhitektury-v-rossii-a-n-remizov478.html (accessed March 14, 2024).
16. *Kolodin K.I.* The Interior of Country Street. Moscow: Arkhitectura-S, 2015. 416 p. (In Russian)
17. *Nikolaeva A.S.* Principles of Architectural Organization of Tourist and Recreational Complexes on Lake Baikal. *Vestnik Evraziiskoi nauki.* 2019; 1 (11). Available: www.esj.today/PDF/31SAVN119.pdf (accessed March 14, 2024). (In Russian)

Сведения об авторах

Довбня Яна Викторовна, магистрант, Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39, yanagon@sfedu.ru

Астахова Елена Степановна, канд. архитектуры, доцент, Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39, esastahova@sfedu.ru

Authors Details

Yana V. Dovbnya, Graduate Student, Academy of Architecture and Arts of Southern Federal University, 39, Budennovskii Ave., 344082, Rostov-on-Don, Russia, yanagon@sfedu.ru

Elena S. Astakhova, PhD, A/Professor, Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University, 39, Budennovskii Ave., 344082, Rostov-on-Don, Russia, esastahova@sfedu.ru

Вклад авторов

Довбня Я.В. – исследование; написание исходного текста; иллюстрации; итоговые выводы.

Астахова Е.С. – научное руководство; концепция исследования; доработка текста; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

Dovbnya Y.V. – research; writing–original draft preparation; visualization; conclusions.

Astakhova E.S. – supervision; conceptualization; writing–review and editing; conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 30.05.2024
Одобрена после рецензирования 15.06.2024
Принята к публикации 17.09.2024

Submitted for publication 30.05.2024
Approved after review 15.06.2024
Accepted for publication 17.09.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 127–150.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 127–150.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 721.03.055:692.6

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-127-150

EDN: KMCZBA

КОНСТРУКЦИИ КАМЕННЫХ ЛЕСТНИЦ В ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ НА ПРИМЕРЕ АРХИТЕКТУРЫ ТОМСКА КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX ВЕКА

**Александр Алексеевич Кутуков, Лариса Степановна Романова,
Евгения Николаевна Колокольцева**

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

Аннотация. В статье рассматриваются конструктивные особенности каменных лестниц в исторической застройке, исследуются их изменения в процессе эксплуатации на примере главного корпуса Томского государственного университета, построенного в 1878–1888 гг., и здания на ул. Гоголя, 12, постройки 1908 г.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью учёта особенностей конструкций исторических лестниц при проведении ремонтных и ремонтно-реставрационных работ на объектах культурного наследия и исторических зданиях для максимального сохранения их подлинности.

Цель исследования – изучить конструкции каменных лестниц конца XIX – начала XX в., применявшихся в России и Томске.

Источниковой базой исследования стали издания по строительному искусству конца XIX – начала XX в., что позволило изучить типы и конструкции лестниц, характерные для исследуемого временного периода. Применение комплексного подхода, включающего анализ литературы и общего состояния конструкции, способствовало достижению поставленной цели.

Результаты исследования. В статье впервые собран и обобщён материал по типовым конструктивным решениям каменных лестниц обозначенного временного периода и выявленным особенностям лестниц, применённых на исторических зданиях Томска.

Теоретическая значимость исследования заключается в выявлении конструктивных особенностей каменных лестниц конца XIX – начала XX в. в жилых и общественных зданиях г. Томска.

Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности их использовании при проведении ремонтно-реставрационных работ на жилых и общественных каменных объектах исторической застройки Томска исследуемого временного периода.

Ключевые слова: памятник архитектуры, исторический объект, каменные лестницы, сохранение, реставрация

Для цитирования: Кутуков А.А., Романова Л.С., Колокольцева Е.Н. Конструкции каменных лестниц в исторической застройке на примере архитектуры Томска конца XIX – начала XX века // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 127–150. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-127-150. EDN: KMCZBA

ORIGINAL ARTICLE

**STONE STAIRCASE DESIGN IN HISTORICAL BUILDINGS
IN TOMSK LATE IN 19th AND EARLY 20th CENTURIES**

Aleksandr A. Kutukov, Larisa S. Romanova, Evgeniya N. Kolokoltseva
Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The paper studies the stone staircase design in Russia and Tomsk on the example of the main building of the former Tomsk Imperial University built in 1878-1888, and the building 12 on Gogol Street built in 1908.

The relevance of the article is conditioned by the necessity to consider historical staircases when carrying out repair and restoration works on the objects of cultural heritage and historical buildings for the maximum preservation of their authenticity.

Purpose: To study the design of stone staircases late in the 19th and early 20th centuries in Russia and Tomsk. The study is based on the analysis of books and manuals on the construction art in 19–20th centuries, allowing to study the types and design of staircases characteristic to that period.

Methodology/approach: The article collects and generalizes the material on typical structural solutions of stone staircases in the historical buildings of Tomsk. An integrated approach including the literature review contributes to the goal achievement.

Practical implications: The obtained results can be used in repair and restoration of residential and public stone objects of historical buildings in Tomsk.

Value: The identification of stone staircase design in the 19–20th centuries in residential and public buildings of the city of Tomsk.

Keywords: architectural monument, historical site, stone staircases, conservation, restoration

For citation: Kutukov A.A., Romanova L.S., Kolokol'tseva E.N. Stone Staircase Design in Historical Buildings in Tomsk Late in 19th and Early 20th Centuries. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 127–150. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-127-150. EDN: KMCZBA

Введение

Конструкции каменных лестниц в исторических зданиях России конца XIX – начала XX в. имеют множество особенностей, многие из которых уже не применяются. Учёт этих особенностей необходим при проведении ремонтных и ремонтно-реставрационных работ на объектах культурного наследия и исторических зданиях для максимального сохранения их подлинности.

Цель исследования – изучить конструкции каменных лестниц конца XIX – начала XX в., применявшихся в России и Томске. Исследование основано на анализе литературы по строительному искусству конца XIX – начала XX в., что позволило изучить типы и конструкции лестниц, характерные для исследуемого временного периода. Комплексный подход, включающий анализ литературных источников и общего состояния конструкции, способствовал достижению поставленной цели.

В статье впервые собран и обобщён материал по типовым конструктивным решениям каменных лестниц и выявленным особенностям, применённым на исторических зданиях Томска.

Теоретическая значимость исследования заключается в выявлении конструктивных особенностей каменных лестниц конца XIX – начала XX в. в жилых и общественных зданиях г. Томска.

Результаты исследования могут быть использованы при проведении ремонтно-реставрационных работ на жилых и общественных каменных объектах исторической застройки Томска исследуемого временного периода.

Изначально лестницы несли исключительно практическую функцию, позволяя перейти с одного этажа на другой. В эпоху Ренессанса фокус внимания перешёл к эстетической стороне этого конструктивного элемента. Лестница стала неотъемлемой частью фасада здания, его интерьера, кроме того, она отражала архитектурный стиль эпохи, ей придавали различные символические смыслы. В настоящее время отсутствие знаний об особенностях конструкций каменных лестниц приводит к утрате их первоначального облика в процессе реставрации [1].

В настоящей работе лестницы исследовались только с точки зрения их конструкции и функционального назначения.

Типы лестниц и их габариты

Пространство, ограниченное стенами и занимаемое лестницей, именуется «лестничной клеткой». Любая лестница состоит из наклонных и горизонтальных плоскостей – маршей и площадок. Каждая ступень включает в себя вертикальную и горизонтальную части – подступёнок и проступь соответственно. Важными характеристиками лестниц являются габариты и пропорции отдельных элементов, соответствующих анатомическому строению и психологическим особенностям человека. Вопрос удобства пользования лестницами исследовался с давних времен. По словам античного архитектора Витрувия: «Действительно, если высоту этажа от верхнего наката до уровня пола внизу разделить на три части, то пять таких частей дадут правильной длины наклон лестничных тетив. Поэтому четыре части, каждая такой же величины, как одна из трех, составляющих высоту между накатом и уровнем пола, должны отойти от отвеса, и здесь надо поставить нижние опоры тетив. При таком устройстве будет правильно выполнено размещение ступеней лестниц» [2].

К устройству лестниц в конце XIX – начале XX в. приступали после завершения основного объёма здания, когда завершился процесс осадки. Измерив длинным бруском реальную высоту этажа, на этом бруске отмечали высоту подступёнков, по которым потом вычерчивали профили ступеней мелом непосредственно на стене. Так же выстраивались и горизонтальные размеры. Своды и арки укладывали на кружалах. В сборной конструкции лестничного марша большое значение придавали постоянству габаритов. Так, Г. Иссель указывает, что один марш от другого в горизонтальной проекции не может отличаться более чем на $\frac{1}{2}$ – $\frac{1}{4}$ части ступени [3, 4].

В каменных домах лестницы и выходы на улицу по закону и исходя из требований пожарной безопасности ставили не более чем на 12 саженой (25–26 м) друг от друга. Лестницы разделяли на парадные – шириной от 5 до 9 аршин (3,6–6,4 м), чистые – от 2 до 4 аршин (1,4–2,9 м), чёрные – от 1,5 до 2 аршин (1,07–1,4 м), чердачные и погребные – от 1 до $1\frac{1}{2}$ аршина (0,7–1,07 м). Полезная ширина лестницы измеряется до поручней. Рекомендованной высотой перил

и поручней считали 19 вершков, или 84,5 см. Высоту лестничного марша закладывали не менее чем на $\frac{1}{2}$ аршина (35 см) больше среднего роста человека. Соответственно, если высота потолка мала, то размеры лестничных маршей делали различными – более низкий короче и с меньшим количеством ступеней [3].

Количество ступеней и их размер были (и остаются) созависимыми, регулируемые высотой этажа, конфигурацией лестницы и усреднённым и немного абстрактным «удобством» для человека. Инженер В.Р. Бернгард советовал в одном лестничном марше размещать не более 13–18 ступеней; другой инженер М.Е. Романович рекомендовал 10–12 ступеней или ориентироваться на площадки через каждые 10, 15 или 20 ступеней, как и зарубежные специалисты, например профессор Nussbaum [5]. Если лестница была слишком длинной, то примерно через каждые 15 ступеней необходимо было выполнять площадки. При высоте этажей более 6 аршин лестницу рекомендовали делать трёхмаршевой. Эти значения были получены эмпирически и обуславливались средней высотой подъёма человека по лестнице без потребности в передышке [1, 6, 7].

Удобная ширина шага человека составляет 12–14 вершков (53,4–62,3 см), а подъём, как считали, требует примерно в два раза больше усилий. Из этих данных следует, что соотношение высоты (a) и ширины (b) ступени должно составлять уравнение, где $S = 2a + b = 12–14$ вершков. Следует отметить, что это значение для парадных лестниц в общественных зданиях чаще принимали как $S = 12$ вершков (53,4 см), для парадных лестниц жилых домов – $S = 13$ вершков (57,8 см), а для чёрных и служебных лестниц – $S = 14$ вершков (62,3 см). Наибольшая высота ступеней не должна была превышать 4 вершков (17,9 см), иначе ширина проступи получалась бы недостаточной – менее 6 вершков (26,7 см). Более подробные значения приведены в табл. 1 [7, 8].

Таблица 1

Значения габаритов ступеней в зависимости от назначения лестницы*

Table 1

Step dimensions depending on the staircase purpose

Высота ступени, вершки	Высота ступени, см	Ширина ступени, вершки	Ширина ступени, см	Назначение лестниц
2	8,89	8	35,56	Для роскошных парадных лестниц
$2\frac{1}{2}$	11,11	7	31,12	
$2\frac{3}{4}$	12,22	$6\frac{1}{2}$	28,89	
3	13,34	7	31,12	Для обычных парадных или чистых лестниц
$3\frac{1}{4}$	14,45	$6\frac{1}{2}$	28,89	
$3\frac{1}{2}$	15,56	6	26,67	
$3\frac{1}{2}$	15,56	7	31,12	Для служебных лестниц
$3\frac{3}{4}$	16,67	$6\frac{1}{2}$	28,89	
4	17,78	6	26,67	
$4\frac{1}{4}$	18,89	$5\frac{1}{2}$	24,45	

*В.Р. Бернгард, в обработке А.А. Кутукова [6].

Инженер Г. Иссель [4] предпочитал следующие пропорции подступёнка и проступи:

- для главных лестниц – 15–17:31 или более удобные: 17:29, 18:27;
- боковых лестниц – 19:24–26;
- служебных лестниц – 20:22.

Ориентиром служили также значения ширины шага S и размеры ступни из таблицы В.Г. Залесского (табл. 2). В среднем принимали $S = 63$ см, $a = 27$ см [9].

Таблица 2

Значения ширины шага и размера ступни человека

Table 2

Step width and size of human foot

Параметры	Длина шага S , см	Размер ступни a , см
Для мужчины	69	27
Для женщины	61	24
Для детей	54	21

Существовал и графический способ определения относительных размеров лестницы (рис. 1) при любом её уклоне. Ниже представлен пример для шага в 63 см и высоты подъёма, равной половине шага, – 31,5 см. Развитием данного способа является таблица Вальтера и Корхаммера (рис. 2) [10].

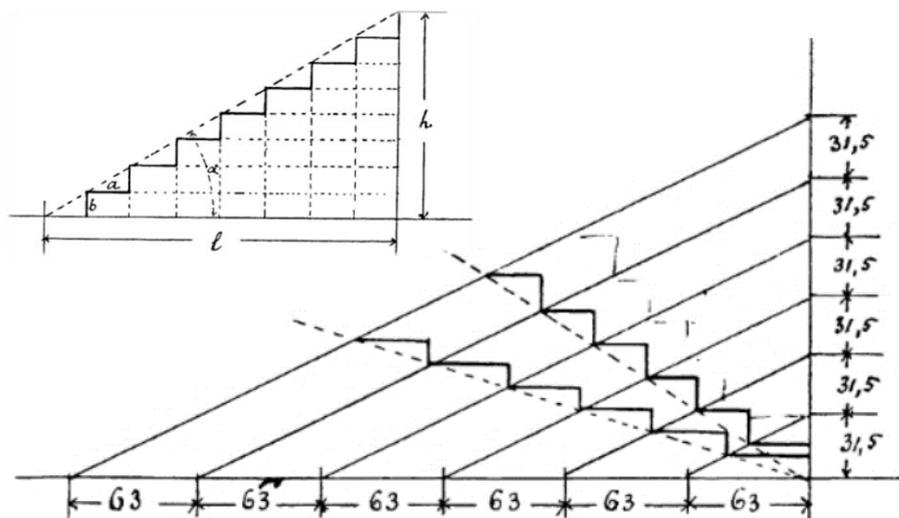


Рис. 1. Графический способ определения размеров ступеней. В.Г. Залесский, 1914 г. [9]
 Fig. 1. Graphical method of determining step dimensions. V.G. Zalessky, 1914 [9]

Кроме того, размеры ступеней исследовал Dr. Mothes и рекомендовал формулу архитектора Wilcke: $S = a + 2/3b$. Другие архитекторы ориентировались на формулу Warth: $S = a + 1,33b = 52$ см и на формулу инженера G.H. Bruns: $S = a + 1,5b = 543$ мм [8].

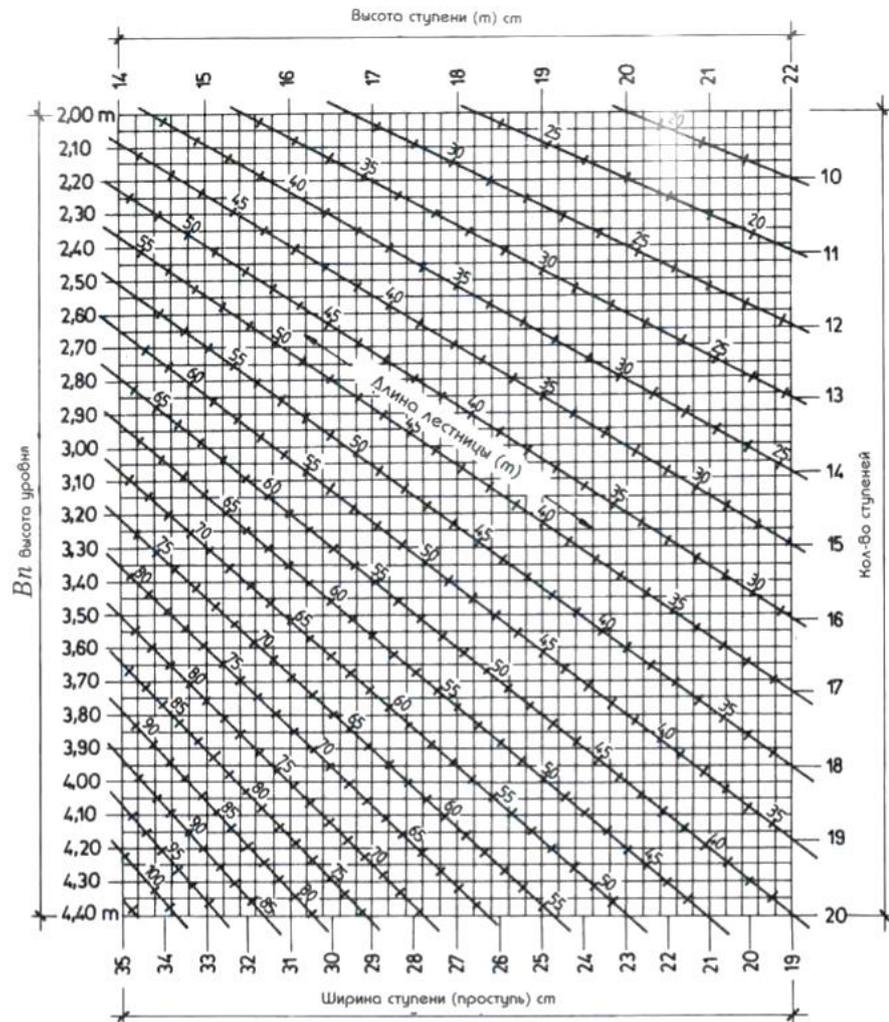


Рис. 2. Таблица Вальтера и Корхаммера для расчёта размеров ступеней при заданной длине пролёта и высоте уровня [10]

Fig. 2. Walter and Korhammer table for calculating step size at a given span length and height [10]

При проектировании различных лестниц, вне зависимости от используемых материалов и назначения, иногда в них устраивали забежные ступени, иначе называемые поворотными. Данный способ позволяет разместить больше ступеней на меньшей площади и, соответственно, сократить горизонтальную проекцию лестничного марша при той же высоте его подъёма без серьёзного уменьшения рабочей ширины проступи. Для забежных ступеней в самой узкой части проступь не должна была быть меньше 2 вершков (9 см), а по линии всхода – равной ширине прямых ступеней¹. Устройство лестниц с забежными ступенями рекомендовано только при наличии отдельной прямой лестницы,

¹ Линия всхода – это усреднённая траектория подъёма человека по лестнице, проходящая через середины ступеней и лестничных маршей.

которая позволяет вносить на верхние этажи или спускать с них габаритные и тяжёлые предметы. Проектирование и расчёт лестниц с забежными ступенями или винтовых производили различными способами, в частности способом развёртки, полуокружностей и пропорционального деления [4].

Конструкции наружных лестниц

Согласно строительному уставу, ступени крыльца не могли выступать за красную линию более чем на 8 вершков (35–36 см). Для стока воды ступени устраивались с небольшим уклоном (около $\frac{1}{8}$ дюйма), который с износом только увеличивался. В северных районах устраивали меньше ступеней снаружи (одну-две), т. к. зимой они становились скользкими и требовали постоянной очистки [7].

Крыльца подвергаются перепадам температур и другим атмосферным явлениям, поэтому требования к долговечности используемых материалов повышены. Существовал способ устройства всего крыльца из кирпича, требовавший установки его на ребро и покрытия поверхностным слоем цементно-песчаного раствора. Однако данный способ отмечен как не рекомендованный ввиду своей ненадёжности и недолговечности. Гораздо практичнее облицовка терракотовой плиткой, цельным камнем, металлом (часто чугуном) или древесиной. Например, в качестве материала ступеней мог служить песчаник и гранит (путиловская плита в Санкт-Петербурге, тарусский камень в Москве) [1]. Открытость конструкции крыльца воздействию атмосферных осадков требует устройства защиты от их влияния. Так, форма ступеней содержала в себе специальные пазогребневые соединения или канты (рис. 3), предотвращающие просачивание влаги сквозь стыки ступеней. Размер нахлёста верхней ступени над нижней составлял 2–4 см [4].

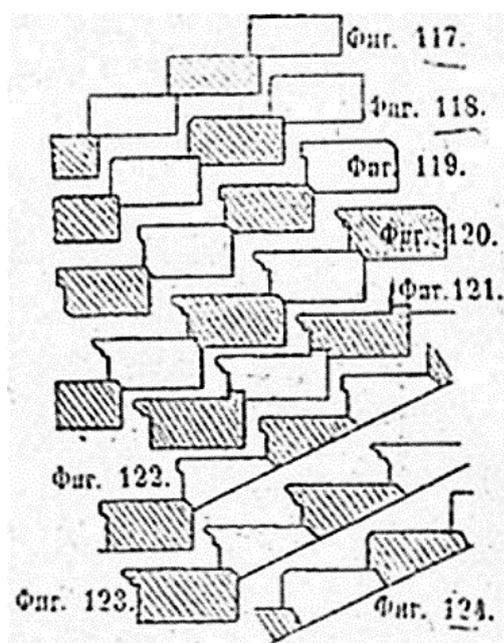


Рис. 3. Профили ступеней наружных лестниц. Г. Иссель, 1917 г. [4]

Fig. 3. Profiles of outdoor stair treads. G. Issel, 1917 [4]

Существовало несколько конструкций устройства крыльца. На рис. 4 показан способ устройства крыльца на двух боковых щековых стенах, или щёках. При небольшом количестве ступеней толщину щеки делали в 25 см, при более чем 6 ступеней – увеличивали до 38 см. При этом ступени укладывали по принципу косоуров или тетивы, т. е. с опорой ступеней на плоскость щеки или с заделкой концов внутрь. Под ступенями, помимо фальцев, выполняли гидроизолирующий защитный слой из асфальта или цемента. Если длина цельного участка ступени превышала 2–2,5 м для песчаника и известняка или 3 м для гранита, то добавляли дополнительную стенку в 2 кирпича для сокращения свободного пролёта [4].

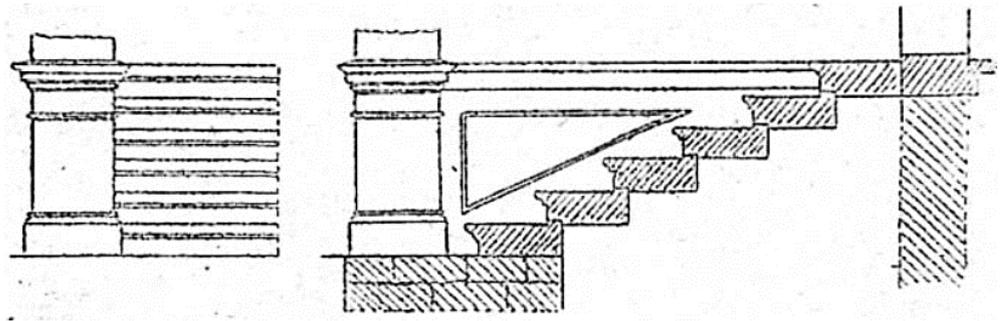


Рис. 4. Конструкция крыльца на двух щёках. Г. Иссель, 1917 г. [4]

Fig. 4. Porch construction on two cheeks. G. Issel, 1917 [4]

На рис. 5 изображено устройство наружного крыльца на кирпичной арке, сложенной на цементном растворе и перекинутой от фундамента до каменных столбов, выведенных до горизонта земли [3].

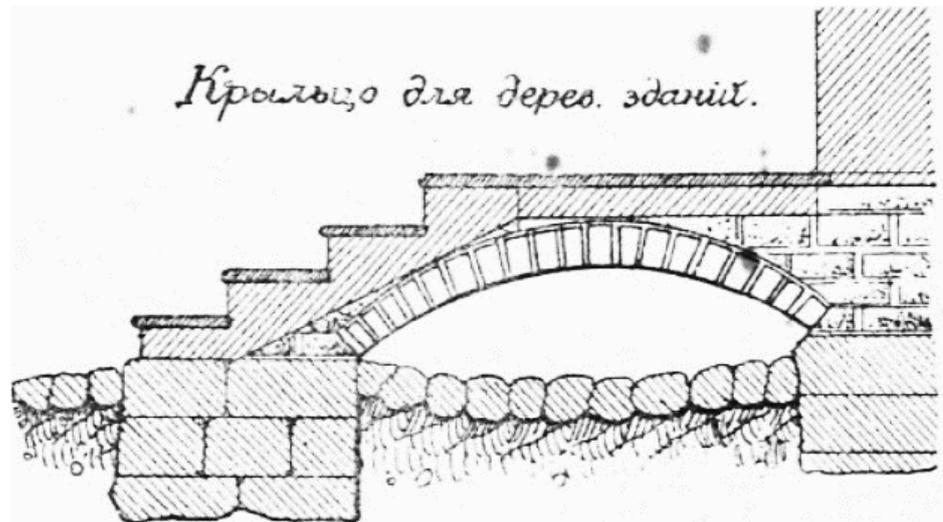


Рис. 5. Профили ступеней наружных лестниц. Л. Брониш, В. Фишер, 1914 г. [3]

Fig. 5. Profiles of outdoor stair treads. L. Bronisch, W. Fischer, 1914 [3]

Конструкции внутренних лестниц

Внутренние лестницы составляли из цельного камня или из набора более мелких камней, кирпича. Обшивка ступеней выполнялась из камня, деревянных сосновых или дубовых досок толщиной 5–7 см на проступи и 2–3 см толщиной на подступёнке, цементного покрытия (вариант недолговечный), железных полос и пластин. Материал ступеней не должен быть ни слишком мягок – это приводит к их быстрому истиранию, ни слишком твёрд – такой материал делает их более скользкими. Если применяли особо твёрдый материал, например гранит или порфир, то его обычно покрывали ковром или линолеумом. Линолеум в те времена – напоминающий кожу материал из эластичной пробковой массы и натуральной олифы толщиной 3–4 мм. Для фиксации коврового покрытия использовали металлические (железные никелированные, бронзовые или медные) прутья, продетые сквозь кольца, заделанные в ступени (рис. 6). Если оставляли ступени без покрытия, то ни в коем случае не шлифовали [1, 7].

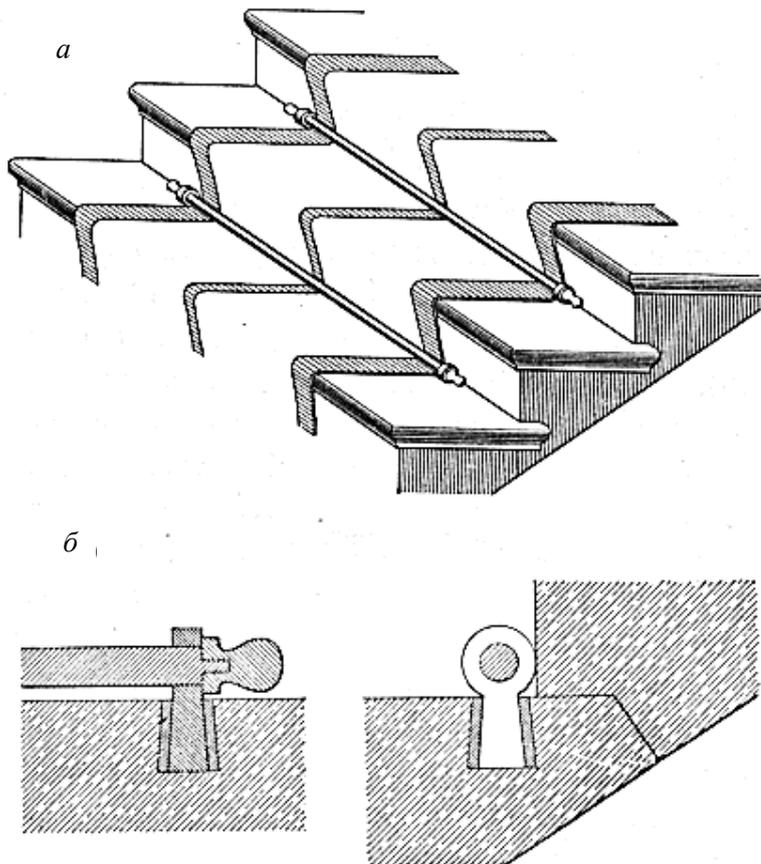


Рис. 6. Способы устройства крепежа коврового покрытия на лестнице. В.Р. Бернгард, 1903 г. [7]:

a – изометрическое изображение; *b* – сечения

Fig. 6. Methods of carpet fixing on stairs. W.R. Berngard, 1903 [7]:

a – isometric image; *b* – cross sections

Внешнее ребро ступеней больше всего подвержено износу, поэтому нередко использовали отделку железом. Для того чтобы сберечь нужный угол, его скашивали или закругляли (рис. 7).

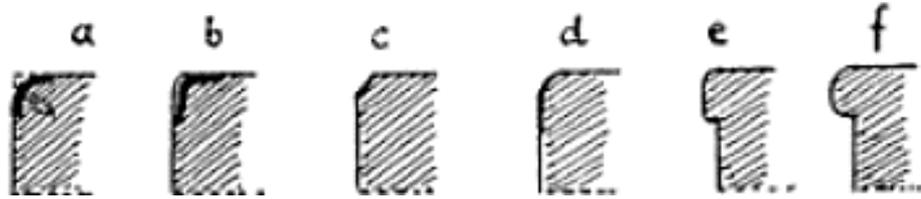


Рис. 7. Способы отделки ребер ступеней. М.Е. Романович, 1903 г. [1]:

a, b – металлом; *c, d* – подтёской; *e, f* – подтёской с выпуском

Fig. 7. Methods of finishing ribs of steps. М.Е. Романович, 1903 [1]:

a, b – with metal; *c, d* – by undercut; *e, f* – by undercut with a release

На рис. 8 представлена схема распиловки и подтёски камня для ступеней. Данный способ чаще применялся для ступеней внутренних лестниц, поскольку позволял экономней расходовать более дорогой, чем снаружи, материал, обеспечить меньший вес конструкции и создать ровную поверхность нижней части марша. Внутреннюю поверхность марша, в зависимости от назначения лестницы, оставляли как есть, подшивали древесиной или оштукатуривали. Металлические балки, если использовались, красили или обматывали железной проволокой, пространство за ней могли заполнять щебнем или углём. Поверхность проволоки оштукатуривали алебастром [1].

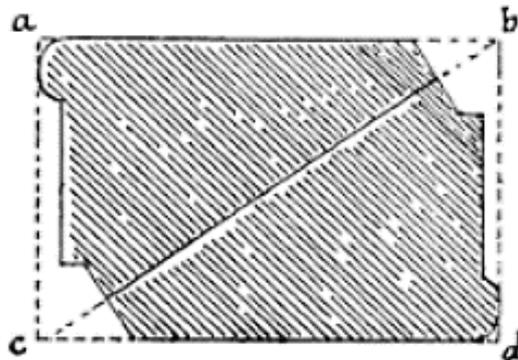


Рис. 8. Схема распиловки и подтёски камня для ступеней. М.Е. Романович, 1903 г. [1]

Fig. 8. Scheme of sawing and stone undercutting for steps. М.Е. Романович, 1903 [1]

Конструкции висячих лестниц

Принцип работы висячих лестниц основан на заделке концов ступеней в стены с передачей нагрузки от вышележащих ступеней к нижележащим до самой площадки. Концы ступеней при свободной длине до 0,65 сажени (1,4 м), согласно рекомендациям В.Р. Бернгарда, заделывались в стены не менее чем на 0,12 сажени (25 см), а при длине от 0,65 до 1 сажени (1,4–2,1 м) – на 0,18 сажени

(38 см). При этом Г. Иссель писал о заделке на 13 см при 1,5-метровом вылете и на 25 см при большем вылете ступеней. Применявшийся материал – песок, известняк, гранит и сиенит.

Сопряжение ступеней выполняли одним из трех способов: внахлесту с заходом одной ступени на другую на 1–1½ дюйма; впритык; с фальцем (рис. 9). Первые два способа были наиболее распространены, несмотря на то, что третий, более рациональный, позволял выполнять заделку ступеней на 0,06 сажени (12 см). Размеры фальцев при этом составляли: горизонтальная часть – около 1 дюйма, нормальная к маршу – 1½ дюйма. Заглублённые в стену концы часто не обтесывали, сохраняя прямоугольную форму (рис. 10) [7].

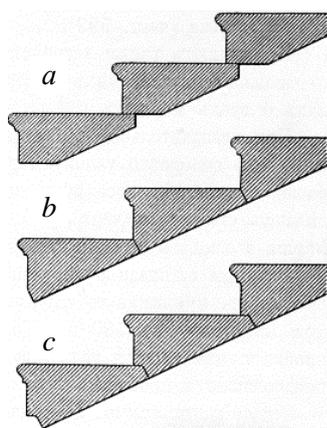


Рис. 9. Схемы сопряжения ступеней.
В.Р. Бернгард, 1903 г. [7]:
а – внахлестку; б – впритык;
с – фальцевое

Fig. 9. Schemes of step joining.
W.R. Berggard, 1903 [7]:
а – lap joint; б – snugly joint;
с – rebate

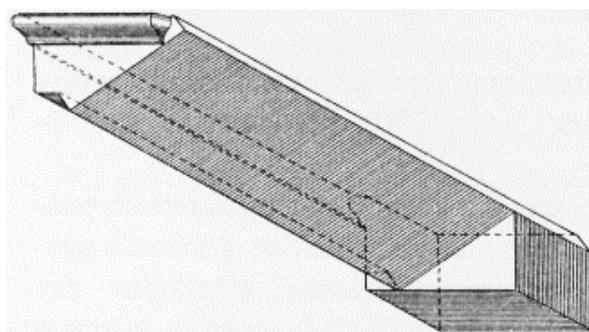


Рис. 10. Метод подтески висячей ступени с прямоугольным участком. В.Р. Бернгард, 1903 г. [7]

Fig. 10. Undercutting a hanging step with a rectangular section. W.R. Berggard, 1903 [7]

Ширина свободного конца ступеней обычно не превышала 1,5 см, однако для конструкций из железобетона и металлов могла быть увеличена. Заделка площадочной ступени в стену выполнялась на 5–6 вершков (22–26 см), заделка остальных составляла 3 вершка (13,4 см). Обязательным условием было чередование, когда каждая 4-я и 5-я ступень снова заделывалась в стену на 6 вершков. Нижней поверхности марша придавали форму плоской кривой с подъемом в центре 4–5 см (рис. 11). Монтаж висячих ступеней производился только после возведения стен, для заделки использовали цементный или алебастровый раствор. Однако Г. Иссель рекомендовал обратное: выполнять возведение лестниц такой конструкции одновременно со стенами, поддерживая ступени снизу до отверждения раствора. Лестничные площадки выполняли из цельных плит. Промежуточные площадки могли заделывать в стену насквозь, а угловым достаточно было опоры по двум сторонам. В этой конструкции также применимы площадки на балках или сводах [1, 4].

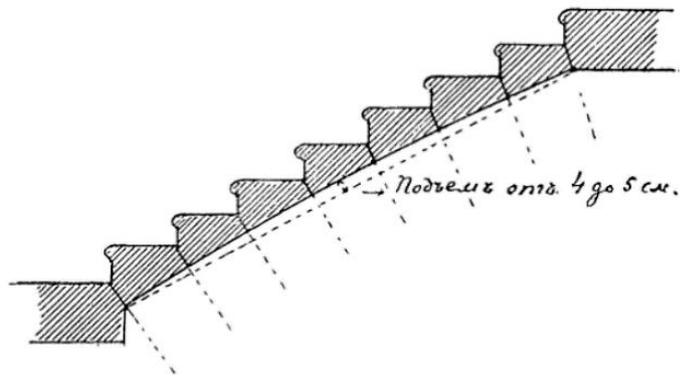


Рис. 11. Форма марша висячей лестницы. М.Е. Романович, 1903 г. [1]
 Fig. 11. Hanging ladder shape. M.E. Romanovich, 1903 [1]

Конструкции лестниц с опорой на две стены

Лестницы исключительно с опорой на стены выполнялись редко. Данный способ был надёжным, но скрадывал много пространства и света. Часто таким способом возводили только первый марш с целью создания эксплуатируемого пространства кладовой или помещения швейцара (рис. 12). При устройстве более чем одного марша опору ступеней на стены выполняли не менее чем на 3 вершка (13,4 см). Толщина средней стенки составляла 1–2½ кирпича с наименьшей шириной под верхним маршем. Площадки иногда выполняли из цельных плит, поддерживаемых лучковым или крестовым плоским сводом или арками с опорой пяты на среднюю поддерживающую стенку [7].

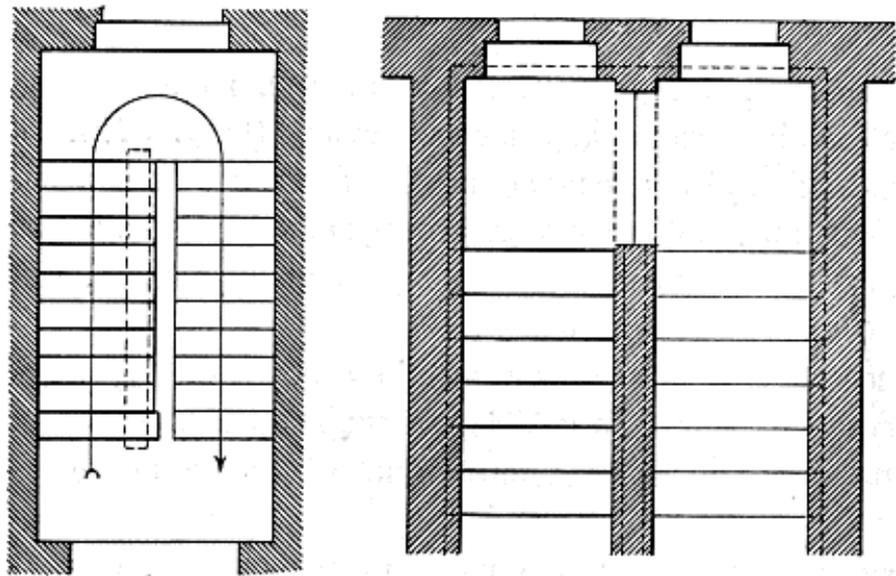


Рис. 12. План лестниц с опорой на двух стенах. В.Р. Бернгард, 1903 г. [7]
 Fig. 12. Stairs with support on two walls. V.R. Bergard, 1903 [7]

Был разработан способ повышения освещённости такой лестницы (рис. 13). В проёмах на столбах в $2\frac{1}{2}$ – $3\frac{1}{2}$ кирпича размещали ползучие арки для распределения нагрузки от маршей. Арки выполняли на цементном растворе толщиной в $1\frac{1}{2}$ кирпича и с подъёмом в $\frac{1}{9}$ – $\frac{1}{12}$ пролёта [1].

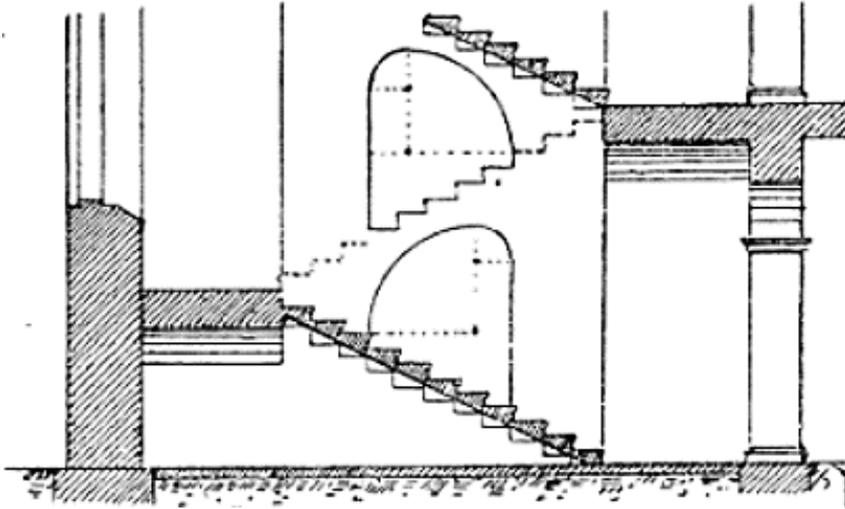


Рис. 13. Способ повышения освещённости лестниц, выполненных с опорой на две стены. М.Е. Романович, 1903 г. [1]

Fig. 13. Method of increasing illumination of staircases made with support on two walls. M.E. Romanovich, 1903 [1]

Конструкции лестниц на сводах и арках

Лестницы на сводах отличались возможностью применения более мелкого материала, например кирпича, вместо цельных плит. Конструкции таких лестниц имели вариации: своды маршей могли опираться и на внешние, и на внутренние стены, и на арки на столбах, и на металлические балки; сами своды применялись плоские цилиндрические, крестовые, парусные и пр.

Лестницы из кирпича могли устраиваться полностью на ползучих сводах, где проступи выполнялись из различных каменных плит или оштукатуривались. Более подходящим считался способ с заделкой в кирпичную кладку свода деревянных пробок трапециевидной или прямоугольной формы (рис. 14), к которым привинчивались или прибивались деревянные проступи из дуба или бука. При ширине маршей до 2,5 м толщина поперечных сводиков задавалась не более $\frac{1}{2}$ кирпича с подъёмом не менее $\frac{1}{8}$ длины пролёта или ступени. Более тонкими могли выполняться железобетонные своды (рис. 15, а) – $1\frac{1}{2}$ вершка толщиной. Для привинчивания проступей устраивались деревянные косоуры, в двух местах по длине марша заделываемые в бетон (рис. 15, б). Альтернативой являлись деревянные пробки под каждую проступь, монтируемые в бетон [1, 7].

Левая часть рис. 16 демонстрирует устройство трёхмаршевой лестницы на столбах (колоннах) и плоских парусных сводах. Парусные своды в ней распределяют нагрузку на четыре пяты. Стрела парусного свода составляет $\frac{1}{6}$ – $\frac{1}{10}$

его длины. Своды в данной конструкции рекомендовали класть на цементно-песчаный раствор, избегая тем самым потребности в металлических связях, которые, тем не менее, могли быть применены в индивидуальном порядке. При ширине лестницы больше 1,5 м и длине арки 4–5 м необходимо было выполнить утолщённый архивольт шириной в 25 см [4, 7].

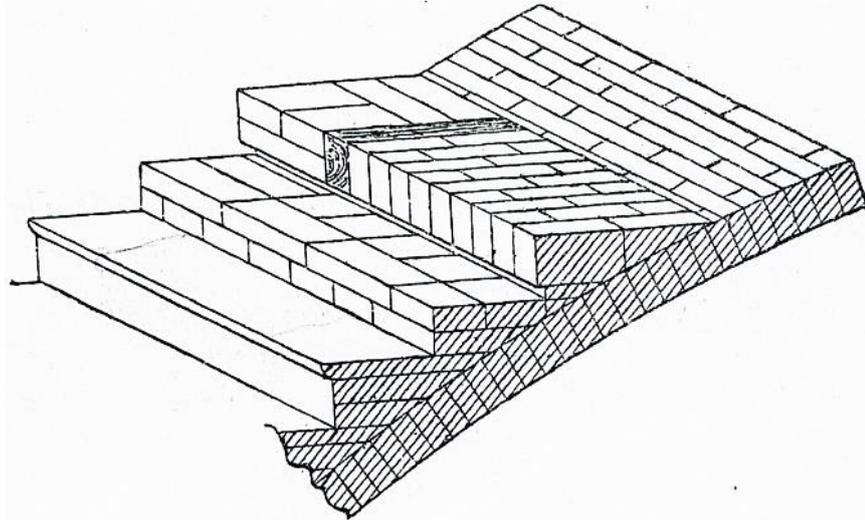


Рис. 14. Лестница на кирпичном своде с деревянной пробкой для монтажа проступей. В.Р. Бернгард, 1903 г. [7]

Fig. 14. Staircase on brick vault with wooden plug for mounting treads. W.R. Bergard, 1903 [7]

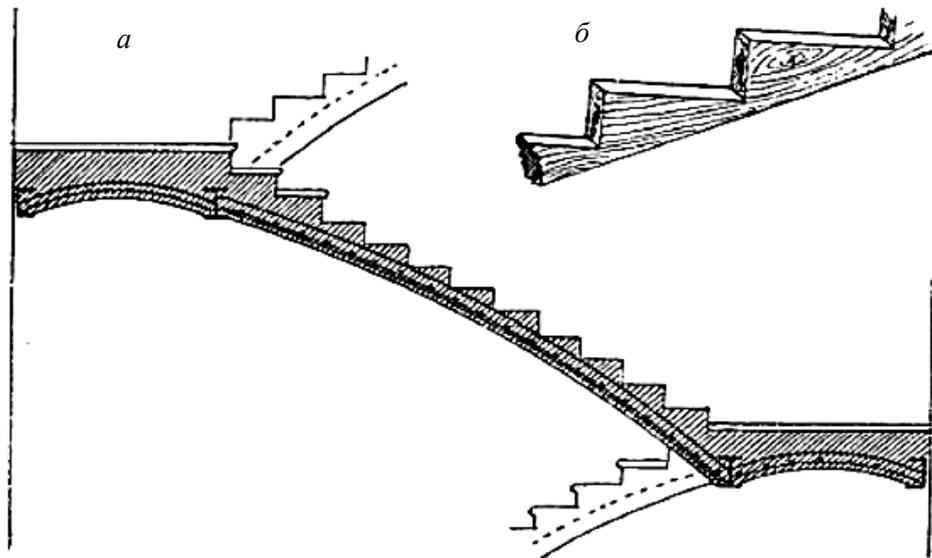


Рис. 15. Железобетонные своды маршей (а) и деревянный косоур для него (б). М.Е. Романович, 1903 г. [1]

Fig. 15. Reinforced concrete march vaults (a) and wooden ridge (b). M.E. Romanovich, 1903 [1]

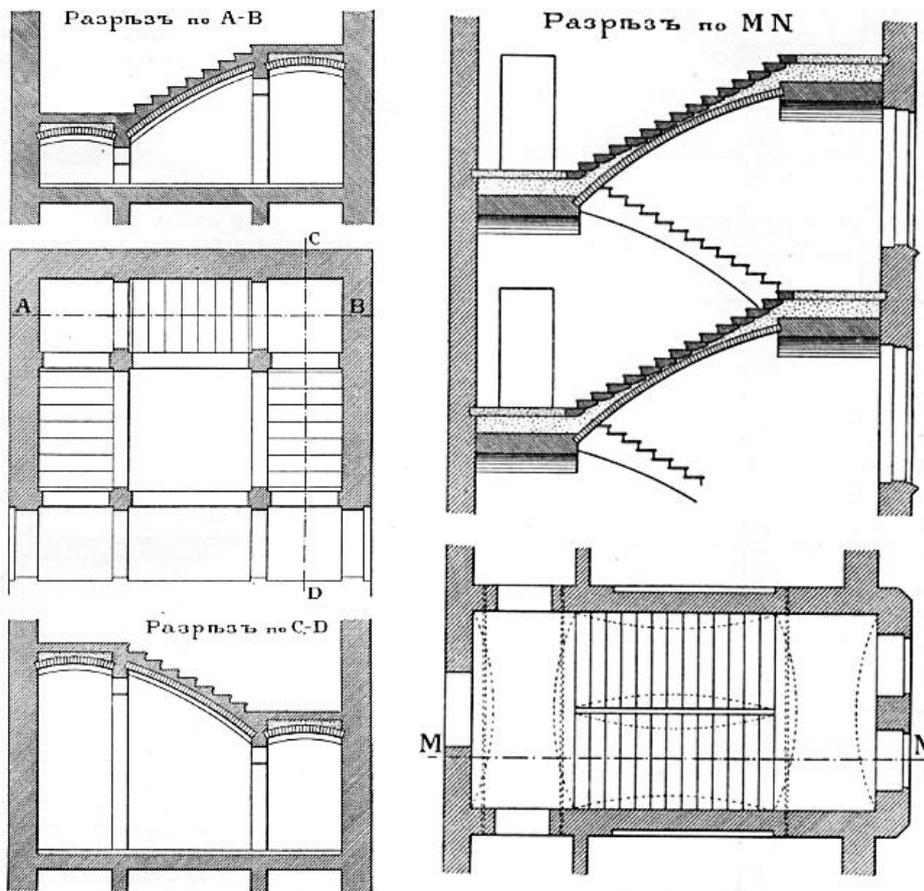


Рис. 16. Лестницы на сводах. В.Р. Бернгард, 1903 г. [7]

Fig. 16. Stairs on vaults. W.R. Berngard, 1903 [7]

В правой части рис. 16 изображены лестницы на ползучих сводах и арках: опорой для сводов, поддерживающих ступени, служат площадочные своды в $1\frac{1}{2}$ кирпича, утолщённые к пятам, с пазами под пяты ползучих сводов маршей. Ступени уложены непосредственно на ползучие своды с докомпоновкой кирпичом. Своды под маршами обычно выполняли толщиной $\frac{1}{2}$ кирпича и с выносом от $\frac{1}{9}$ до $\frac{1}{12}$ пролёта в сторону ступеней. На площадочные своды насыпали слой заполнителя: песка или просеянного строительного мусора, по которому выполнялась бетонная подготовка под материал площадки. Недостатком конструкции считали недостаточную прочность опорных частей пят ползучих сводов, вырубаемых в площадках и не способных равномерно передавать нагрузку. Для более равномерного распределения нагрузки под пяты ползучего свода подставляли рельсы или другие металлические балки [7].

Лестницы на косоурах

Лестницы на косоурах наиболее часто применялись в каменных жилых домах. Они представляют собой каменные, металлические или деревянные сту-

пени, лежащие сверху на прямых, в основном металлических, направляющих. Согласно Бернгарду, косоуры представляют собой попарно соединённые полосы 3-дюймового железа толщиной $\frac{1}{2}$ – $\frac{5}{8}$ дюйма, подкладываемые под свободные концы ступеней на расстоянии 2–3 вершка от края. В ступенях выполнены специальные углубления, а в косоурах – выступы. Де-Рошенфор указывает более широкий спектр размеров одинарных полос 3 – $3\frac{1}{2} \times \frac{5}{8}$ –1 дюйма или парных полос $2\frac{1}{4}$ – $2\frac{3}{4} \times \frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$ дюйма, стянутых хомутами (рис. 17); при этом узкие выполнялись плоскими, а широкие – с замками и закраинами. Данная конструкция подвергалась критике по нескольким критериям: сечение металлических полос не выдерживало изгибающего момента и не могло предотвратить обрушения или деформации лестницы, особенно в случае пожара, когда металл под воздействием температуры теряет свою прочность и значительно прогибается. В случаях, где данная конструкция применима, ступени часто бывали глубоко заделаны в стену (> 3 вершков); благодаря этому и естественному нахлёсту ступеней вся конструкция держала саму себя наподобие висячей. Там же, где косоур действительно работал, марши в скором времени подвергались значительным просадкам [7, 8].

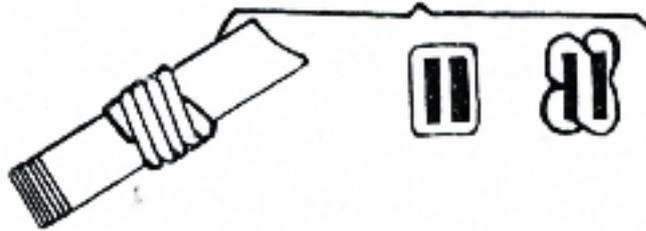


Рис. 17. Конструкция плоского косоура. Н.И. де-Рошенфор, 1916 г. [8]

Fig. 17. Flat stringer. N.I. de Roehenfort, 1916 [8]

Площадь поперечного сечения косоуров определяли из расчета собственного веса марша и временной нагрузки 180–275 пудов на 1 саж².

Более развитой формой лестницы на косоурах являлась конструкция по двутавровым или «котельным» балкам, или же фермам. Упор тетивы или косоура приходился в балки лестничной площадки, заделанные в кладку на 4 вершка (17–18 см). Крепление производили уголками на заклёпки или болты. Под марши применяли балки высотой 6–8 дюймов, для поперечной балки площадки – 5 дюймов.

Фризная ступень выполнялась как цельная, так и раздельная, на каждый марш. Небольшое смещение (рис. 18, а) позволяло использовать прямую балку косоура, без характерного (рис. 18, б) изгиба.

Лестничная площадка могла также быть оперта на продолжение балки косоура, собранной из двух других балок, соединённых пластинами на заклёпках или болтах (рис. 19) [7].

Низ косоура, поддерживающего первый марш, упирался в кирпичную кладку (рис. 20) и крепился или на болтовом соединении со специальной закладной, или через чугунный башмак.

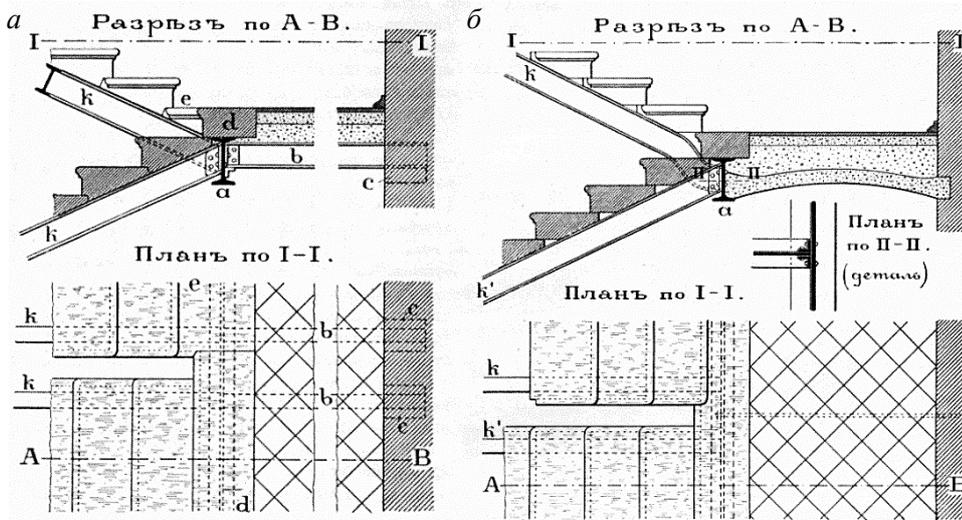


Рис. 18. Лестницы на двутавровых косоурах. В.Р. Бернгард, 1903 г. [7]:
 а – с раздельной фризовой ступенью; б – с цельной фризовой ступенью
 Fig. 18. Staircases on I-beam brackets. V.R. Bergard, 1903 [7]:
 а – with separate fascia step; б – with one-piece fascia step

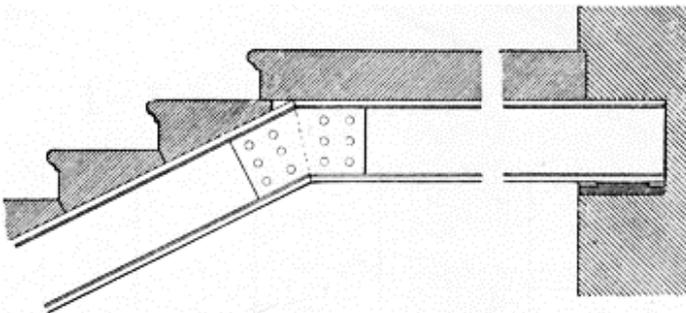


Рис. 19. Устройство лестничной площадки на продолжении профильной балки косоура. В.Р. Бернгард, 1903 г. [7]
 Fig. 19. Arrangement of stair landing on profile beam of the girder. V.R. Bergard, 1903 [7]

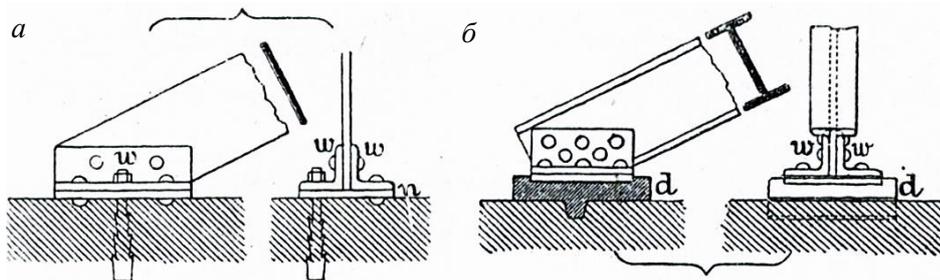


Рис. 20. Устройство нижнего узла примыкания балки косоура. М.Е. Романович, 1903 г. [1]:
 а – анкерное крепление; б – с помощью чугунного «башмака»
 Fig. 20. Arrangement of lower junction of the girder. M.E. Romanovich, 1903 [1]:
 а – anchoring; б – with the help of a cast-iron "shoe"

Как было отмечено выше, лестницы на плоских косоурах очень часто работали как висячие. Развитием этого типа конструкции стали лестницы на косоурах с одной стороны и с заделкой в стены с другой. При применении плоского косоура они во многом аналогичны висячим и косоур выполнял скорее поддерживающую функцию, чем силовую; в то время как наличие профильной балки вроде двутавра обеспечивало необходимую опору ступеням.

Лестницы в исторических зданиях Томска

Основные межэтажные связи главного корпуса ТГУ, построенного в 1878–1888 гг., остаются в рабочем состоянии и эксплуатируются до настоящего времени. В здании размещено двенадцать лестниц, четыре из которых относятся к служебным. Основной материал ступеней – камень песчаник. Габариты ступеней в среднем одинаковы. Дифференциация обусловлена в основном наличием поздней облицовки и неравномерного износа. Подлинный вид сохранили малоэксплуатируемые лестницы, ведущие в чердачное пространство.

Главная парадная лестница трёхмаршевая, расположена в осях 13-18, А-И (рис. 21), осуществляет связь между фойе, цокольным, первым и вторым этажами. Окна лестничной площадки ориентированы на запад.

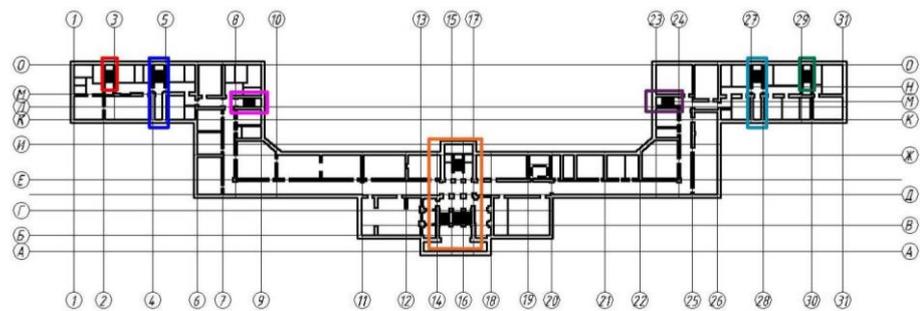


Рис. 21. План первого этажа главного корпуса ТГУ по планам БТИ, 2006 г.
Fig. 21. Plan of the ground floor of the main TSU building, 2006

Тип конструкции лестницы смешанный. Первые марши, ведущие с первого на цокольный этаж, выполнены по грунту, симметричные. Второй марш – центральный, ведущий с первого этажа до первой промежуточной площадки – на ползучих сводах, закрытых по бокам щеками. Третий марш снова выполнен симметрично, конструкция на металлических предварительно напряжённых косоурах из кованого железа; выполнено декоративное дополнение на нижней поверхности марша, имитирующее ползучий свод. Предварительное напряжение косоура из полосовой стали 7,5×1,25 см производили нагревом перед анкерровкой, чтобы температурные деформации в процессе остывания стали создали необходимое натяжение. Крепление двух расположенных рядом полос косоуров производилось металлическими хомутами, соединёнными кузнечной сваркой. Габариты первого марша – 2,51×2,4 м, высота подступёнка – 170 мм, ширина проступи – 350 мм; площадка первого этажа – 3,8×10,5 м на цилиндрическом своде. Габариты центрального марша (рис. 22) – 2,5×2,4 м, высота подступёнка –

130–140 мм, ширина проступи – 340 мм; площадка межэтажная – $2,8 \times 10,5$ м на крестовых парусных сводах, поддерживаемых колоннами. Габариты третьего марша: ширина – 3,5 м, высота подступёнка – 130 мм, ширина проступи – 350 мм. Площадка второго этажа на цилиндрическом своде – $3,5 \times 10,5$ м. Материалы: ступени из песчаника, своды кирпичные, косоуры металлические. Поверхность ступеней частично открыта современными материалами – мраморной и керамогранитной плиткой, боковые поверхности окрашены эмалевой краской. Сохранились открытыми ступени межэтажной лестницы, имеющие видимый износ, часть напольного покрытия из метлахской плитки в арочном проёме [11].



Рис. 22. Фотофиксация парадной лестницы главного корпуса ТГУ. Фото М.А. Вольных, 2016 г.
Fig. 22. Front staircase of the main TSU building. Photo by M.A. Volnykh, 2016

Вестибюльная лестница четырёхмаршевая, расположена в осях 19-20, Д-Е (рис. 21), соединяет второй и третий этажи. Окна лестничной площадки ориентированы на запад. Тип конструкции – на металлических косоурах с опиранием одной стороной на стену, а другой на косоур из железнодорожного рельса, обрезанного до зигзагообразного профиля сечения. Материал ступеней – песчаник, износ минимальный. Ширина маршей – 1,4 м, высота подступёнка – 120–130 мм, ширина проступи – 340–350 мм (рис. 23). На рис. 24 представлена часть лестничного марша с площадкой, консольный вынос которой опирается на стену и конструкцию подкоса из железнодорожного рельса обрезанного сечения² [11].

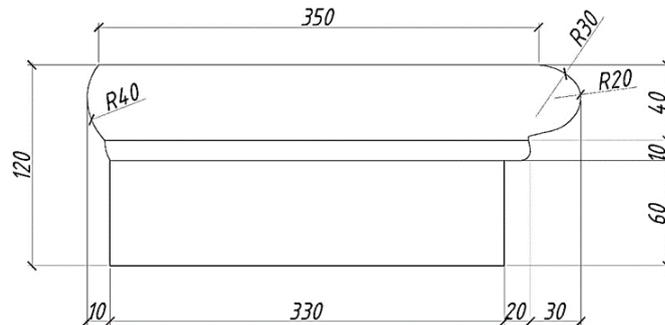


Рис. 23. Обмерочный чертеж профиля ступени. Чертёж М.А. Вольных, 2016 г.
Fig. 23. Measurement drawing of the step profile. Drawing by M.A. Volnykh, 2016



Рис. 24. Фотофиксация общего вида лестничной клетки главного корпуса ТГУ. Фото М.А. Вольных, 2016 г.
Fig. 24. General view of stairwell in the main TSU building. Photo by M.A. Volnykh, 2016

² Вольных М.А. Лестницы главного корпуса Томского Императорского университета конца XIX века: выпускная квалификационная работа. Томск: ТГАСУ, 2017. 83 с.

Лестницы в жилом доме на ул. Гоголя, 12. Объект постройки 1908 г., архитектор Т.Л. Фишель. Согласно распоряжению администрации Томской области 255-ра от 29 апреля 2014 г., здание является памятником истории и культуры регионального значения.

Поверхности лестниц объекта имеют значительный износ. Материалы на момент написания работы не определены.

Самое примечательное в лестницах этого объекта с конструктивной точки зрения – два косоура и заделка ступеней в стену (рис. 25). Такая конструкция не была описана в исследованных источниках. Кроме того, на лестницах жилого дома на ул. Гоголя, 12, отмечается наличие подшивки деревом нижней поверхности марша.



Рис. 25. Фотофиксация нижней и лицевой поверхности марша в доме на ул. Гоголя, 12, г. Томска. Фото А. Коньшиной, 2024 г.

Fig. 25. Bottom and front surface of the march in the house 12 at Gogol Street, Tomsk. Photo by A. Konshina, 2024

Выводы

В результате изучения каменных лестниц конца XIX – начала XX в. выявлено:

1. Наиболее распространенными типами каменных лестниц, применявшихся в России, являлись одно- и многомаршевые; основными конструкциями были висячая, с опорой на двух стенах, на сводах и арках и на металлических косоурах.

2. Основными характеристиками исторических каменных лестниц являются:

- а) многообразии конструкций;
- б) удобство и продуманность с точки зрения человеческой анатомии;
- в) несгораемость, кроме некоторых видов конструкций, включающих металлические несущие элементы, способные деформироваться от высоких температур;

г) многообразии отделочных материалов.

Исследованные конструкции каменных лестниц города Томска представляют собой образцы классических решений конца XIX – начала XX в. с характерными для того времени особенностями, обусловленными различными нагрузками и пропускной способностью лестниц.

Среди таких особенностей: подрезка профиля железнодорожного рельса и предварительное напряжение полосовой стали косоуров на лестницах главного корпуса ТГУ. Смешанная конструктивная схема самого здания определила разнообразие конструктивных решений парадного лестничного блока, а также технологии его исполнения. Высокие этажи и двухсветные пространства определили нестандартность лестничных маршей.

Особенность здания на ул. Гоголя, 12, – это необычная лестница с тремя точками опоры: на два косоура и стену.

Результаты настоящего исследования могут быть взяты за основу при проведении ремонтно-реставрационных работ на жилых и общественных каменных объектах исторической застройки Томска исследуемого временного периода, в частности образовательных учреждений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Романович М.Е. Гражданская архитектура. Части зданий. Том 2. Санкт-Петербург : Скоропечатня И.О. Яблонского, 1903.
2. Витрувий. Десять книг об архитектуре = Vitruvius «De architectura libri decem». Книга IX / пер. Ф.А. Петровского. Москва : Изд-во Всесоюзной академии архитектуры, 1936. URL: <https://antique.totalarch.com/vitruvius/9>
3. Бронни Л., Фишер В. Краткое руководство к строительному искусству и архитектуре. Вып. 2. Санкт-Петербург : Изд-во Г.В. Гольстена, 1914. 230 с.
4. Иссель Г. Внутренняя отделка зданий. Петроград : Изд-во Г.В. Гольстена, 1917. 150 с.
5. *Sächsischer Ingenieur, Architekten-Verein, Architekten, Ingenieur-Verein zu Hannover Organ des Sächsischen Ingenieur- und Architekten-Vereins und des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover // Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen. Gebrüder Jänecke, 1896.* URL: <https://books.google.ru/books?id=dwQwAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=ru#v=onepage&q&f=false>
6. Иноземцев В.И. Краткое руководство к строительному искусству. Санкт-Петербург : Тип. В.Я. Мальштейна, 1909. 234 с.

7. Бернгард В.Р. Курс гражданской архитектуры. Санкт-Петербург : Тип. Ю.И. Эрлих, 1903. 495 с.
8. Де-Рошенфор Н.И. Урочные положения. Петроград ; Москва : Тип. Петроградской оди-
ночной тюрьмы, 1916. 716 с.
9. Залесский В.Г. Архитектура. Краткий курс построения частей зданий. Москва : Тип. т-ва
И.Н. Кушнерова, 1904. 569 с. URL: https://www.google.ru/books/edition/Архитектура_Курс_пост/ТРУhBwAAQBAJ?hl=ru&gbpv=1&dq=Залесский+В.Г.+Архитектура.+Краткий+курс+построения+частей+зданий&printsec=frontcover
10. Косо Й. Лестницы. Дизайн и технология. Москва, 2007.

REFERENCES

1. Romanovich M.E. Civil Architecture. Parts of Buildings. Vol. 2. Saint-Petersburg: I.O. Yablonsky's printing house, 1903. (In Russian)
2. Vitruvius Pollio M. The Ten Books on Architecture. 1936. Available: <https://antique.totalarch.com/vitruvius/9>
3. Bronisch L., Fischer W. A Brief Guide to Building Art and Architecture. Iss. 2. Saint-Petersburg: Publishing House of G.V. Golsten, 1914. 230 p. (In Russian)
4. Issel G. Interior Decoration of Buildings. Petrograd: Publishing House of G.V. Golsten, 1917. 150 p. (In Russian)
5. Sächsischer Ingenieur, Architekten-Verein, Architekten, Ingenieur-Verein zu Hannover Organ des Sächsischen Ingenieur- und Architekten-Vereins und des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover. Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen. Gebrüder Jänecke, 1896. Available: <https://books.google.ru/books?id=dwQwAAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=ruv=onepage&q&f=false>
6. Inozemtsev V.I. Brief Guide to Construction Art. Saint-Petersburg: Printing House of V.Y. Malstein, 1909. 234 p. (In Russian)
7. Berngard V.R. Course of Civil Architecture Saint-Petersburg: Printing House of Y.I. Ehrlich, 1903. 495 p. (In Russian)
8. De-Roshenfor N.I. Penal Provisions . Petrograd, Moscow: Printing House of Petrograd Solitary Prison, 1916. 716 p. (In Russian)
9. Zaleskiy V.G. Architecture. Brief Course of Construction of Parts Of Buildings. Moscow: I.N. Kushnerev's printing house, 1904. 569 p. Available; www.google.ru/books/edition/Архитектура_Курс_пост/ТРУhBwAAQBAJ?hl=ru&gbpv=1&dq=Залесский+В.Г.+Архитектура.+Краткий+курс+построения+частей+зданий&printsec=frontcover p. (In Russian)
10. Koso I. Stairs Design and Technology. Moscow. 2007. p. (In Russian)

Сведения об авторах

Кутуков Александр Алексеевич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, surolk@outlook.com

Романова Лариса Степановна, канд. архитектуры, доцент, советник РААСН, член ТРО СА России, зав. кафедрой, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, lara235@yandex.ru

Колокольцева Евгения Николаевна, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2

Authors Details

Aleksandr A. Kutukov, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, surolk@outlook.com

Larisa S. Romanova, PhD, A/Professor, RAACS advisor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, lara235@yandex.ru

Evgeniya N. Kolokoltseva, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

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 27.06.2024
Одобрена после рецензирования 15.07.2024
Принята к публикации 16.09.2024

Submitted for publication 27.06.2024
Approved after review 15.07.2024
Accepted for publication 16.09.2024

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ,
СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ
ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

WATER SUPPLY, SEWERAGE,
BUILDING SYSTEMS
OF WATER RESOURCE PROTECTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 151–162.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 151–162.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 504.06

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-151-162

EDN: MNWUMI

**О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ
НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ НА ВЫВОД
ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИЗНОШЕННЫХ ВОДОПРОВОДНЫХ
И КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
С ВНУТРЕННИМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ**

**Олег Александрович Продоус¹, Дмитрий Иванович Шлычков²,
Александр Анатольевич Шестаков², Андрей Геннадьевич Челоненко²**

¹Независимый эксперт по «Водоснабжению и канализации»,

г. Санкт-Петербург, Россия

²Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет

г. Москва, Россия

Аннотация. *Актуальность.* В статье дается обоснование необходимости разработки отсутствующих в действующих нормативных документах требований на значения гидравлических характеристик водопроводных и канализационных труб с внутренними отложениями. Отсутствие таких требований приводит к изменению фактического внутреннего диаметра труб, скоростного режима потока и потерь напора на сопротивление по длине, а также к увеличению энергопотребления насосного оборудования. Представленный материал позволит эксплуатирующим организациям принимать обоснованные решения о необходимости вывода изношенных инженерных сетей из эксплуатации.

Цель. Разработать и обосновать требования на допустимую с гидравлической точки зрения толщину слоя отложений на внутренней поверхности изношенных металлических водопроводных и канализационных труб для обоснования их вывода из эксплуатации.

Методы. В качестве способа обоснования используется количественный метод оценки эффективности эксплуатации труб по гидравлическому критерию с анализом значений характеристик их гидравлического потенциала.

Результаты. Предложена специальная таблица с диапазоном количественных значений коэффициентов эффективности эксплуатации изношенных трубопроводов, по которым устанавливается остаточный период эксплуатации труб для обоснования их вывода из работы.

Выводы. Разработаны предложения для внесения в действующие СП 31.13330.2021 и СП 32.13330.2018, обосновывающие необходимость вывода из эксплуатации изношенных металлических водопроводных и канализационных трубопроводов с внутренними отложениями.

Ключевые слова: трубопроводы из стали и серого чугуна, внутренние отложения, гидравлическая оценка эффективности эксплуатации, срок службы

Для цитирования: Продоус О.А., Шлычков Д.И., Шестаков А.А., Челоненко А.Г. О необходимости разработки нормативных требований на вывод из эксплуатации изношенных водопроводных и канализационных трубопроводов с внутренними отложениями // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 151–162. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-151-162. EDN: MNWUMI

ORIGINAL ARTICLE

TOWARDS REGULATIONS OF DECOMMISSIONING EXHAUSTED WATER AND SEWER PIPELINES WITH RESIDUES

Oleg A. Prodous¹, Dmitrii I. Shlychkov²,
Aleksandr A. Shestakov², Andrei G. Chelonenko²

¹ООО "INCO-expert", Saint-Petersburg, Russia

²National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia

Abstract. The article provides a justification for the need to develop requirements for hydraulic characteristics of water and sewer pipes with internal deposits, that are absent in current regulations. The absence of such requirements leads to a change in the actual inner pipe diameter, flow rate and pressure losses, higher energy consumption of the pumping equipment.

Purpose: To develop quantitative requirements for residue layer thickness on the inner surface of exhausted water and sewer pipes to substantiate their decommissioning.

Methodology/approach: The quantitative method is used to assess the pipe operation efficiency according to the hydraulic criterion with the analysis of their hydraulic potential.

Research findings: Quantitative values are proposed for the operational efficiency of exhausted pipelines according to which the residual pipe operation is determined to justify their decommissioning. Research findings will allow organizations to make decisions on decommissioning of exhausted engineering networks.

Value: The developed proposals can be introduced in construction rules 31.13330.2021 and 32.13330.2018, justifying the need to decommission exhausted water and sewer pipelines with residues.

Keywords: steel pipeline, cast iron pipeline, internal deposits, hydraulic assessment, service life

For citation: Prodous O.A., Shlychkov D.I., Shestakov A.A., Chelonenko A.G. Towards Regulations of Decommissioning Exhausted Water and Sewer Pipelines with Residues. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 151–162. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-151-162. EDN: MNWUMI

Введение

Практикой эксплуатации металлических сетей водоснабжения и канализации из стали и серого чугуна без внутренних покрытий установлено, что на внутренней (рабочей) поверхности труб в процессе их жизненного цикла образуется слой внутренних отложений (рис. 1).

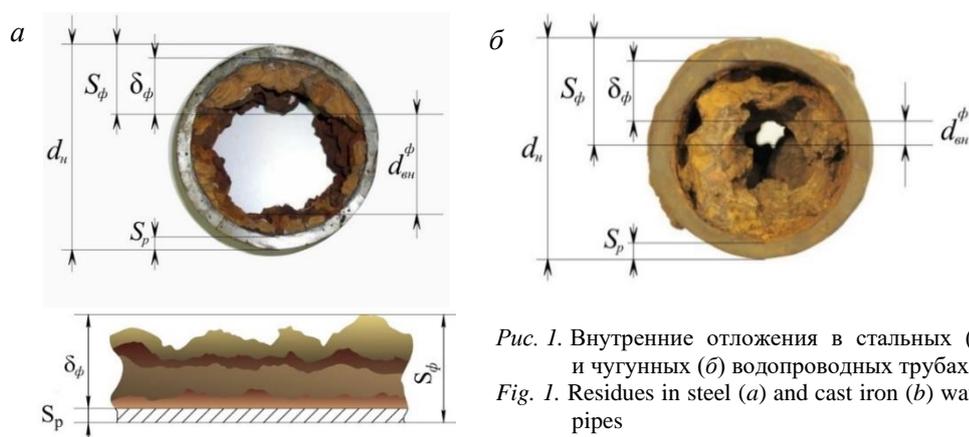


Рис. 1. Внутренние отложения в стальных (а) и чугунных (б) водопроводных трубах
Fig. 1. Residues in steel (a) and cast iron (b) water pipes

В монографии [1] впервые в отечественной и зарубежной практике описан механизм образования слоя внутренних отложений, толщина которого увеличивается во времени в зависимости от качественных характеристик транспортируемой по напорным трубам питьевой воды или сточной жидкости. Процесс образования отложений на внутренней поверхности изношенных металлических труб происходит непрерывно, вплоть до полной закупорки их внутреннего сечения, когда трубопровод невозможно эксплуатировать.

До настоящего времени окончательно не разработаны вопросы, связанные с прогнозом периода остаточной эксплуатации изношенных коммунальных сетей из металлических труб с внутренними отложениями. Авторами настоящей статьи предложены предельно допустимые с гидравлической точки зрения значения толщины слоя отложений, при достижении которых трубопровод обоснованно выводится из эксплуатации или может ограниченное время продолжать работу [2, 3].

Методы

Рассмотрим более подробно предложенный авторами метод оценки эффективности эксплуатации изношенных металлических водопроводных и канализационных сетей по коэффициенту гидравлической эффективности их работы [3].

Коэффициент гидравлической эффективности работы инженерных сетей – критерий, характеризующий их эксплуатационное состояние с учетом фактиче-

ских значений характеристик гидравлического потенциала труб ($d_{\text{вн}}^{\Phi}$, V_{Φ} , i_{Φ}) и энергопотребления насосных агрегатов, транспортирующих питьевую воду или сточную жидкость в напорном режиме [4, 5].

Гидравлический износ металлического трубопровода (труб) – это состояние внутренней (рабочей) поверхности, характеризуемое значением фактического внутреннего диаметра труб с отложениями, при котором, м,

$$d_{\text{вн}}^{\Phi} \leq d_{\Phi}^{\text{доп}}; \quad d_{\text{вн}}^{\Phi} = (d_{\text{н}} - 2S_p) - 2\delta, \quad (1)$$

где $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр труб (ГОСТ), м; S_p – толщина стенки трубы по сор-таменту, м; δ – толщина слоя внутренних отложений, м, измеряется с помощью ультразвукового толщиномера [6]; $d_{\Phi}^{\text{доп}}$ – допустимый с гидравлической точки зрения фактический внутренний диаметр труб со слоем отложений δ_{Φ} , м.

Расчет $d_{\Phi}^{\text{доп}}$ будет приведен ниже на примере.

Эксплуатационное состояние внутренней (рабочей) поверхности металлических труб определяется по результатам работы ультразвукового толщиномера. Принцип действия основан на излучении прибором ультразвуковых волн, которые отражаются от поверхности с конкретной фактической толщиной слоя внутренних отложений. Принцип его работы заключается в точном вычислении времени прохождения импульса от излучателя ультразвуковой волны до исследуемой поверхности с конкретным слоем отложений. Поскольку ультразвук отражается от границы с разнородными материалами (металлическая стенка трубы и слой внутренних отложений на ее поверхности), то измерение производится в режиме «импульс/эхо», т. е. толщиномер прослушивает эхо с противоположной стороны, между посланным прибором и отраженным от измеряемой толщины слоя отложений сигналом, за несколько миллионных долей секунды. В толщиномер занесены данные о скорости звука, поэтому зависимость для расчета δ_{Φ} имеет вид, мм:

$$d_{\text{вн}}^{\Phi} = V \cdot t / 2, \quad (2)$$

где V – скорость ультразвука; t – измеренное прибором время прохождения ультразвука, мс.

Разные материалы обладают различными свойствами передачи звуковых волн.

В твердых материалах (сталь и чугун) передача звуковых волн выше, а в мягких (слой отложений) – ниже.

Изменение значения фактического внутреннего диаметра металлических труб с внутренними отложениями $d_{\text{вн}}^{\Phi}$ допустимо только до значения $d_{\Phi}^{\text{доп}}$, обоснованного с гидравлической точки зрения. Продемонстрируем это на конкретном примере.

Условия задачи

По водопроводу из стальных электросварных труб диаметром $d_{\text{н}} = 219$ мм (0,219 м) транспортируется питьевая вода $q = 27$ л/с (0,027 м³/с). Фактическая

толщина слоя внутренних отложений $\delta_\phi = 9$ мм (0,009 м). Определить предельное значение фактического внутреннего диаметра труб $d_{\text{вн}}^\phi$, при котором трубопровод выводится из эксплуатации.

Решение

1. Определяют значение фактического внутреннего диаметра:

$$d_{\text{вн}}^\phi = (d_{\text{н}} - 2S_p) - 2\delta_\phi, \text{ м}, \quad (3)$$

где $d_{\text{н}}$ – наружный диаметр трубы (ГОСТ), м; S_p – толщина стенки трубы (ГОСТ), м;

$$S_p = 4,5 \text{ мм} = 0,0045 \text{ м};$$

$$d_{\text{вн}}^\phi = (0,219 - 2 \cdot 0,0045) - 2 \cdot 0,009 = 0,192 \text{ м}.$$

2. Вычисляют значение фактической скорости движения воды V_ϕ :

$$V_\phi = \frac{4q}{\pi(d_{\text{вн}}^\phi)^2} = \frac{4 \cdot 0,027}{3,14 \cdot 0,192^2} = \frac{0,108}{0,1158} = 0,93 \text{ м/с}.$$

3. По уточненной авторами формуле профессора Ф.А. Шевелева определяют значение фактического гидравлического уклона труб (потерь напора на сопротивление по длине в 1 пог. м):

$$i_\phi = 0,00107 \frac{V_\phi^2}{(d_{\text{вн}}^\phi)^{1,3}} = \frac{0,00107 \cdot 0,93^2}{(0,192)^{1,3}} = \frac{0,000925}{0,117} = 0,13214 \text{ мм/м}.$$

4. Рассчитывают значение фактического гидравлического уклона i_ϕ в диапазоне изменения толщины слоя внутренних отложений от 0 (новые трубы) до $\delta_\phi = 20$ мм. Данные расчета заносят в табл. 1 для построения графиков зависимостей $i_\phi = f(\delta_\phi)$ и $K_{\text{эф}} = f(\delta_\phi)$ (рис. 2, 3).

Таблица 1

Значения характеристик гидравлического потенциала труб

Table 1

Hydraulic potential values of pipes

Толщина слоя внутренних отложений δ , мм	Гидравлические характеристики труб			Коэффициент эффективности эксплуатации
	$d_{\text{вн}}^\phi$, м	V_ϕ , м/с	i_ϕ , мм/м	K_ϕ
0	0,210	0,78	0,00495	1,0
1	0,209	0,79	0,00511	0,97
5	0,200	0,86	0,00641	0,77
10	0,190	0,95	0,00837	0,59
11	0,188	0,97	0,00884	0,56
15	0,180	1,06	0,01117	0,44
20	0,170	1,19	0,01517	0,33

5. Рассчитывают значения коэффициента эффективности эксплуатации труб в диапазоне значений $\delta_\phi = 0-20$ мм.

б. Вычисляют истинное значение фактического внутреннего диаметра труб с внутренними отложениями, учитывая экспертное мнение специалистов, эксплуатирующих металлические сети водоснабжения и канализации [7], которые рекомендуют: $(d_{\text{вн}}^{\text{ф}})^{\text{ист}} \leq 0,95 \cdot d_{\text{вн}}^{\text{р}}$, м, т. е. значение $d_{\text{вн}}^{\text{ф}}$ не должно превышать 5 % от расчетного внутреннего диаметра трубы по сортаменту.

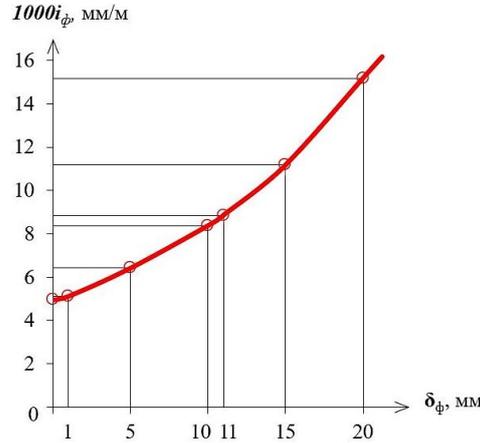


Рис. 2. График зависимости $1000i_{\text{ф}} = f(\delta_{\text{ф}})$
Fig. 2. $1000i_{\text{ф}} = f(\delta_{\text{ф}})$ dependence

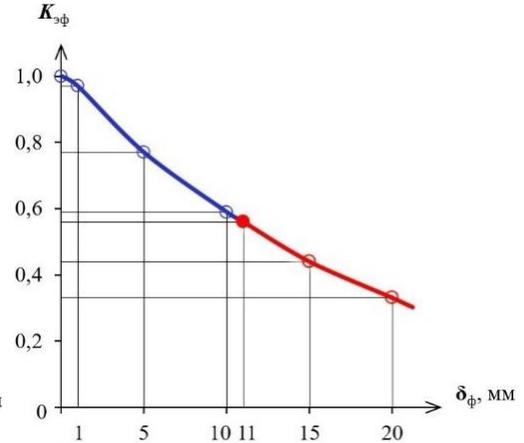


Рис. 3. График зависимости $K_{\text{эф}} = f(\delta_{\text{ф}})$
Fig. 3. $K_{\text{эф}} = f(\delta_{\text{ф}})$ dependence

Для приведенного примера это значение составляет:

$$(d_{\text{вн}}^{\text{ф}})^{\text{ист}} = 0,95 \cdot 0,210 = 0,199 \text{ м,}$$

тогда предельно допустимое значение толщины слоя внутренних отложений:

$$\delta_{\text{ф}}^{\text{пр}} = d_{\text{вн}}^{\text{р}} - (d_{\text{вн}}^{\text{ф}})^{\text{ист}} = 0,210 - 0,199 = 0,011 \text{ м} = 11,0 \text{ мм.}$$

Это предельно допустимое значение толщины слоя отложений $\delta_{\text{ф}}^{\text{пр}}$ для рассмотренного примера означает, что при меньшем значении $\delta_{\text{ф}}$ трубопровод имеет удовлетворительные с гидравлической точки зрения значения характеристик гидравлического потенциала труб, т. е. **является эффективным**.

Результаты

На основе расчетных данных, приведенных в табл. 1, построены графики зависимостей $1000i_{\text{ф}} = f(\delta_{\text{ф}})$ и $K_{\text{эф}} = f(\delta_{\text{ф}})$, анализ которых позволяет сделать следующие выводы:

- чем больше толщина слоя отложений $\delta_{\text{ф}}$, тем больше значение фактического гидравлического уклона $i_{\text{ф}}$ (потери напора на сопротивление по длине) и больше энергопотребление насосных агрегатов, транспортирующих воду потребителям или отводящим сточные воды на очистку [8];

- с увеличением значения $\delta_{\text{ф}}$ значение коэффициента эффективности эксплуатации водопроводных и канализационных сетей $K_{\text{эф}}$ увеличивается, стано-

вится короче период продолжительности их остаточной эксплуатации, оцениваемый значением этого коэффициента по специальным таблицам (табл. 2 и 3), разработанным авторами [9].

Таблица 2

Диапазон изменения $K_{эф}$ для сетей водоснабжения

Table 2

Changes in K_{ef} for water supply networks

Значение величины $K_{эф}$	Продолжительность периода остаточной эксплуатации трубопровода из стали и серого чугуна $T_{исп}$, лет
$0,95 \leq K_{эф} \leq 1$	$T_{исп} \geq 5$ лет с ежегодным контролем значений фактических потерь напора $i_{ф}$ и толщины фактического слоя отложений $\delta_{ф}$
$0,90 \leq K_{эф} \leq 0,95$	$T_{исп} \geq$ не менее 1 года с ежегодным контролем значений $i_{ф}$ и $\delta_{ф}$
$0,80 \leq K_{эф} \leq 0,90$	Трубопровод эксплуатировать нецелесообразно
$K_{эф} < 0,80$	Трубопровод эксплуатировать недопустимо

Таблица 3

Диапазон изменения $K_{эф}$ для самотечных сетей канализации

Table 3

The range of K_{ef} values for gravity sewerage systems

Значение величины $K_{эф}$	Возможность продолжения дальнейшей эксплуатации сети
$0,6 \leq K_{эф} \leq 1$	Возможно
$0,5 \leq K_{эф} \leq 0,6$	Требуется проведение гидродинамической очистки сети
$K_{эф} \leq 0,5$	Сеть эксплуатировать недопустимо

Эффективным с гидравлической точки зрения считается трубопровод, обладающий минимальными потерями напора на сопротивление по длине (гидравлическим уклоном), характеризуемый эффективной скоростью потока V и эффективным внутренним диаметром $d_{вн}$ (без внутренних отложений). Следовательно, количественная оценка эффективности эксплуатации трубопроводов систем водоснабжения и водоотведения необходима и актуальна, т. к. такая оценка позволяет прогнозировать изменение гидравлического потенциала труб в процессе их жизненного цикла «Эксплуатация» и в итоге определять период их остаточной эксплуатации до замены труб на новые [10]. Количественная оценка эффективности эксплуатации трубопроводов позволяет проводить:

- разработку прогнозов значений характеристик гидравлического потенциала труб на перспективу;
- совершенствование общепринятых методик гидравлического расчета трубопроводов водоснабжения и водоотведения с учетом толщины слоя отложений на внутренней поверхности труб.

Согласно выводам, приведенным в работе [10], количественная оценка гидравлической эффективности эксплуатации сетей водоснабжения и водоот-

ведения по величине значения $K_{эф}$ (формула (1)) позволяет определить по специальным таблицам (табл. 1 и 2) остаточный период продолжительности эксплуатации сетей водоснабжения и водоотведения до проведения гидродинамической очистки или полного выведения из эксплуатации.

Количественная оценка эффективности их эксплуатации должна производиться с помощью гидравлического критерия оценки. Таким критерием, согласно результатам исследований, проведенных авторами данной статьи и другими специалистами, является безразмерный коэффициент гидравлической эффективности эксплуатации трубопровода водоснабжения или водоотведения ($K_{эф}$), определяемый по формуле [10]:

$$K_{эф} = \frac{(d_{вн}^p)^2 V_p \cdot i_p}{(d_{вн}^ф)^2 V_ф \cdot i_ф}, \quad (4)$$

где $d_{вн}^ф$ – фактический (измеренный) внутренний диаметр труб с отложениями на момент оценки, м; V_p – скорость в новой трубе, м/с; i_p – расчетный гидравлический уклон в новой трубе, мм/м; $d_{вн}^p$ – расчетный внутренний диаметр новых труб, м; $V_ф$ – фактическая скорость в трубе с $d_{вн}^ф$, м/с; $i_ф$ – фактический гидравлический уклон на момент оценки, мм/м.

Коэффициент гидравлической эффективности эксплуатации трубопровода $K_{эф}$ – это величина, отражающая характер изменения значений гидравлических характеристик труб ($d_{вн}$, V , i) в случае образования слоя внутренних отложений рабочей поверхности труб.

В работе [11] обоснован диапазон значений величины $K_{эф}$ для водопроводных и канализационных труб из стали и серого чугуна диаметром 400 мм и для бетонных труб самотечных сетей водоотведения диаметром 400 мм. Диапазон значений $K_{эф}$ следующий:

- для водопроводных труб: $0,9 \leq K_{эф} \leq 0,95$;
- для труб канализации: $0,5 \leq K_{эф} \leq 0,6$.

Поясним, что означает значение цифр в указанном диапазоне.

Расчетной значимостью для подсчета значений $K_{эф}$ является формула (4) – отношение произведения расчетных значений характеристик гидравлического потенциала новых труб $d_{вн}$, V , i к значению произведения тех же характеристик для труб с отложениями $d_{вн}^ф$, $V_ф$, $i_ф$. Величина $K_{эф}$ изменяется в диапазоне значений: $0 \leq K_{эф} \leq 1$.

Методика оценки параметров, приведенная в табл. 2 и 3, обеспечивает возможность прогнозирования периода остаточной эксплуатации трубопроводов водоснабжения и канализации по результатам анализа величины значения основного критерия гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов $K_{эф}$, имеющих разную толщину слоя внутренних отложений ($\delta_ф$ – в водопроводных трубах и в сетях канализации).

Таким образом, на основании описанной методики прогнозирования остаточного периода эксплуатации трубопроводов, приведенного примера и анализа

нормативной документации и научной литературы, возникает необходимость разработки нормативных требований, обосновывающих вывод из эксплуатации изношенных водопроводных и канализационных трубопроводов с внутренними отложениями, которые должны быть включены в качестве обязательных в требования нормативных документов СП 31.13330.2021 и СП 32.13330.2018.

Для этого потребуется проведение комплексных специальных НИР и ОКР коллективом ученых и специалистов из разных регионов страны, которые по заданию Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ смогут провести такую работу. По результатам будут разработаны требования в действующие Своды правил, которые обеспечивают на государственном уровне:

- возможность прогнозирования продолжительности остаточного периода эксплуатации изношенных металлических трубопроводов водоснабжения и канализации с внутренними отложениями за счет контроля значений предельно допустимой толщины их слоя отложений;
- планирование финансовых затрат на реконструкцию или замену изношенных трубопроводов систем водоснабжения и канализации;
- экономии электропотребления насосно-силовым оборудованием напорных водопроводных и канализационных насосных станций;
- повышение эксплуатационного уровня предприятий, эксплуатирующих металлические водопроводные и самотечные канализационные сети городов и населенных пунктов.

Табл. 2 и 3, приведенные в настоящей работе, являются обобщением результатов исследований, проводимых авторами статьи на протяжении нескольких лет.

Предложенный авторами метод количественной оценки эффективной эксплуатации сетей водоснабжения и канализации с внутренними отложениями по значению величины коэффициента гидравлической эффективности эксплуатации трубопроводов $K_{эф}$ обеспечивает возможность:

- проведения анализа величины значений характеристик гидравлического потенциала труб с разной толщиной слоя внутренних отложений, влияющих на величину энергопотребления напорных систем водоснабжения или канализации;
- прогнозирования величины значений характеристик гидравлического потенциала труб с разной толщиной слоя внутренних отложений и фактического энергопотребления насосных агрегатов в напорных сетях водоснабжения;
- определения остаточного периода продолжительности эксплуатации до проведения реконструкции напорных сетей водоснабжения и гидродинамической очистки сетей канализации с разной толщиной слоя внутренних отложений.

Заключение

Таким образом, представленный в статье материал свидетельствует о необходимости:

- разработки специальной шкалы предельно допустимых значений σ_f для всего сортамента металлических труб из стали и серого чугуна, такая шкала может быть создана на основе проведения специальных НИР;

- разработки методики контроля значений σ_{ϕ} на стадии жизненного цикла металлических трубопроводов «Эксплуатация»;
- разработки нормативных требований (государственного стандарта), регламентирующих для конкретных условий остановку дальнейшей эксплуатации трубопровода для проведения его гидродинамической очистки от слоя внутренних отложений;
- учета предельного значения допустимой толщины слоя отложений в трубах конкретного диаметра при разработке проектов реконструкции напорных сетей водоснабжения из металлических труб.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Гидравлический расчет сетей водоотведения с внутренними отложениями. Москва : Изд-во Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), 2022. 120 с. ISBN 978-5-7264-3170-3.
2. Продоус О.А. Гидравлическое прогнозирование использования металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020. № 11 (155). С. 28–32. EDN: UXZWDB
3. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Прогнозирование возможности продолжения эксплуатации самотечных сетей водоотведения с отложениями в лотковой части труб // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2021. Т. 11. № 4. С. 646–653. URL: <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653>
4. Продоус О.А., Шпилов А.А. Гидравлический критерий обоснования необходимости разработки проектов реконструкции водопроводных сетей из металлических труб // Водные системы и технологии. 2020. № 1. С. 26–31. URL: <https://cloud.mail.ru/public/xeYp/gxLhGxHET>
5. Продоус О.А., Якубчик П.П., Шлычков Д.И. Зависимость энергопотребления насосных агрегатов напорных коллекторов водоотведения от толщины слоя осадка на внутренней поверхности труб // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2022. № 5 (245). С. 28–30. EDN: АСРКЈС
6. Толщиномеры ультразвуковые. Принцип работы // FB.ru. – URL: <https://fb.ru/article/243330/tolschinomeryi-ultrazvukovyie-printsip-raboty-i-instruksiya-proizvoditeli-otzyivyi?ysclid=lhi4pm2fwq129091241>
7. Продоус О.А., Шлычков Д.И. Систематизация гидравлического расчета металлических сетей водоснабжения и водоотведения с внутренними отложениями на стенках труб // Строительство: наука и образование. 2022. Т. 12. Вып. 3. С. 115–124. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.7
8. Продоус О.А., Шлычков Д.И., Якубчик П.П., Пархоменко С.В. Влияние толщины слоя внутренних отложений в трубопроводах систем водоснабжения и водоотведения на продолжительность периода их остаточной эксплуатации // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 6. С. 738–746. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.738-746
9. Продоус О.А. Гидравлическое прогнозирование продолжительности использования металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2020. № 11 (155). С. 28–32. EDN: UXZWDB
10. Продоус О.А., Новиков М.Г., Самбурский Г.А., Шпилов А.А., Терехов Л.Д., Якубчик П.П., Чесноков В.А. Рекомендации по реконструкции неновых металлических трубопроводов водоснабжения из стали и серого чугуна. Санкт-Петербург ; Москва : ООО «Свое издательство», 2021. 36 с.
11. Продоус О.А. Гидравлическая оценка остаточного срока службы изношенных металлических трубопроводов водоснабжения и водоотведения // Водоснабжение и водоотведение населенных мест и промышленных предприятий: эффективные решения и технологии : сб. докладов 4-й Международной конференции, Москва, 8–9 сентября 2020 г. в рамках форума «ЭКВАТЭК-2020». С. 1–9.

REFERENCES

1. *Prodous O.A., Shlychkov D.I.* Hydraulic Analysis of Drainage Networks with Residues. Moscow, 2022. 120 p. (In Russian)
2. *Prodous O.A.* Hydraulic Forecast of Metal Pipeline Life for Water Supply and Sanitation. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2020; 11 (155): 28–32. (In Russian)
3. *Prodous O.A., Shlychkov D.I.* Forecast of Continuing Operation of Gravity Flow Systems with Residues. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2021; 11 (4): 646–653. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2021-4-646-653> (In Russian)
4. *Prodous O.A., Shipilov A.A.* Hydraulic Criterion for Substantiating Reconstruction of Water Supply Systems. *Vodnye sistemy i tekhnologii*. 2020; (1): 26–31. <https://cloud.mail.ru/public/xeYp/gxLhGxHET> (In Russian)
5. *Prodous O.A., Yakubchik P.P., Shlychkov D.I.* Dependence of Energy Consumption of Pumping Systems of Pressure Collectors on Sediment Thickness in Pipes. *Konditsionirovanie*. 2022; 5 (245): 28–30. (In Russian)
6. Operation principle of ultrasonic thickness gauges. Available: <https://fb.ru/article/243330/tolschinomeryi-ultrazvukovyie-printsip-raboty-i-instruktsiya-proizvoditeli-otzyivyi?ysclid=lhi4pm2fwq129091241> (In Russian)
7. *Prodous O.A., Shlychkov D.I.* Systematization of Hydraulic Analysis of Metal Water Supply and Sanitation Networks with Residues. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. 2022; 12 (3): 115–124. Available: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2022.3.7 (In Russian)
8. *Prodous O.A., Shlychkov D.I., Yakubchik P.P., Parkhomenko S.V.* Thickness Influence of Residue Layer in Water and Sewer Pipes on Residual Operation. *Vestnik MGSU*. 2022; 17 (6): 738–746. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.6.738-746 (In Russian)
9. *Prodous O.A.* Hydraulic Analysis of Operation of Metal Water Supply and Sewer Pipelines. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2020; 11 (155): 28–32. (In Russian)
10. *Prodous O.A., Novikov M.G., Sambursky G.A., Shipilov A.A., Terekhov L.D., Yakubchik P.P., Chesnokov V.A.* Recommendations for Reconstruction of Non-Standard Metal Water Supply Pipelines Made of Steel and Gray Cast Iron. Saint-Petersburg, Moscow: Svoe izdatel'stvo, 2021. 36 p. (In Russian)
11. *Prodous O.A.* Hydraulic Analysis of Residual Service Life of Exhausted Metal Water and Sewer Pipelines. In: *Proc. 4th Int. Conf. 'Water Supply and Sanitation of Settlements and Industrial Enterprises: Effective Solutions and Technologies'*. Moscow, 2020. Pp. 1–9. (In Russian)

Сведения об авторах

Продоус Олег Александрович, докт. техн. наук, профессор, генеральный директор, ООО «ИНКО-эксперт», 190005, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 37/1, лит. А, пом. 1-Н, pro@enco.su

Шлычков Дмитрий Иванович, канд. техн. наук, доцент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, SHlychkovDI@mgsu.ru

Шестаков Александр Анатольевич, аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, S321555@yandex.ru

Челоненко Андрей Геннадьевич, магистр, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, andreicelonenco@mail.ru

Authors details

Oleg A. Prodous, DSc, Professor, Director General, ООО "INCO-expert", 37/1, Moskovskii Ave., 190005, Saint-Petersburg, Russia, pro@enco.su

Dmitriy I. Shlychkov, PhD, A/Professor, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia, SHlychkovDI@mgsu.ru

Alexander A. Shestakov, Research Assistant, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia, S321555@yandex.ru

Andrey G. Chelonenko, Master's Degree, National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoe Road, 129337, Moscow, Russia, andreicelonenco@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 04.07.2024
Одобрена после рецензирования 01.08.2024
Принята к публикации 16.09.2024

Submitted for publication 04.07.2024
Approved after review 01.08.2024
Accepted for publication 16.09.2024

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 163–172.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 163–172.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.1

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-163-172

EDN: MRHDKH

СТРАТЕГИЯ ВЫБОРА ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В АРХИТЕКТУРЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ: МАГНЕЗИТОВЫЕ ПЛИТЫ

Вахтанг Тенгизович Пипия

ООО «Арх-Консалт», г. Москва, Россия

Аннотация. Современные тенденции устойчивого развития предъявляют высокие требования к строительным материалам и изделиям. Предпочтение отдается той продукции или технологиям, которые потенциально могут быть отмечены как экологически безопасные, что и определяет *актуальность* исследования.

Объектом исследования являются магнезитовые плиты, представляющие собой строительный материал, характеризующийся высокой огнестойкостью, влагостойкостью, прочностью, звукоизоляционными и экологическими свойствами.

Цель исследования – изучение инновационного строительного материала на примере магнезитовых плит, определение их эксплуатационных характеристик, включая огнестойкость, влагостойкость, прочность и экологичность. Исследование направлено на оценку эффективности магнезитовых плит по сравнению с другими строительными материалами.

Методы исследования. В статье проведен анализ свойств плит из оксида магния как самого экологичного и безопасного инновационного строительного материала. Преимущества оцениваются через сравнительный анализ физических и механических свойств плит из оксида магния с другими доступными строительными плитами (гипсокартонными, ориентированно-стружечными).

В результате исследования выявлено, что магнезитовые плиты являются экологичным и универсальным материалом для использования в архитектурных и строительных конструкциях. Результаты исследования показали, что магнезитовая плита превосходит по выбранным параметрам другие строительные плиты, однако их стоимость выше.

Ключевые слова: инновационные материалы, энергоэффективность, архитектура, магнезитовая строительная плита

Для цитирования: Пипия В.Т. Стратегия выбора инновационных материалов в архитектуре и строительстве: магниевые плиты // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 163–172. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-163-172. EDN: MRHDKH

ORIGINAL ARTICLE

INNOVATIVE MATERIALS IN ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION: MAGNESITE PANELS

Vakhtang T. Pipia

ООО “Arch-Konsult”, Moscow, Russia

Abstract. Magnesite panels studied herein, are characterized by high fire resistance, moisture resistance, strength, sound insulation and environmental properties. The relevance is due to the modern trends in sustainable development, imposing high demands on building materials and products. Preference is given to those products or technologies that can potentially be marked as eco-friendly.

Purpose: The purpose of this work is to study magnesite panels, an innovative building material, to determine their performance characteristics, including fire resistance, moisture resistance, strength and environmental friendliness. The paper analyzes their effectiveness in comparison with other building materials.

Methodology/approach: The paper analyzes the properties of panels made of magnesium oxide as the most environmentally friendly and safe innovative building material. Their advantages are assessed through a comparative analysis of the physical and mechanical properties of magnesium oxide panels with other available building panels (gypsum panels, oriented strand panels).

Research findings: It is found that magnesite panels are an environmentally friendly and universal material in architecture and construction. It is shown that magnesite panels are superior to other building panels in the selected parameters, but are more expensive.

Keywords: innovative material, energy efficiency, architecture, magnesite panel

For citation: Pipia V.T. Innovative Materials in Architecture and Construction: Magnesite Panels. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 163–172. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-163-172. EDN: MRHDKH

Введение

Технологические инновации в строительстве представляют интерес для архитекторов, проектировщиков, предпринимателей и научных исследователей.

Существует четкая связь между архитектурной модой и развитием материалов и технологий, которые, в свою очередь, связаны с масштабными социальными проблемами (устойчивое развитие и экологизация).

С.Н. Дьяконова выявила, что в настоящее время на строительство и эксплуатацию зданий приходится около 40 % выбросов парниковых газов, при этом наибольшую долю вносят США, Китай и Россия. Таким образом, экология строительства становится одним из основных аспектов, способных повлиять на решение глобальной проблемы защиты климата и в целом содействовать устойчивому развитию [1].

Большая часть исследований сосредоточена на вопросах экологически устойчивой архитектуры и урбанизма, комплексного территориального разви-

тия, использования энергоэффективного оборудования, снижения теплопотерь в зданиях и др.

Исследований по разработке экологических строительных материалов меньше, а термин «экоматериал» часто используется как тренд маркетинговых брендов. Экологичное строительство невозможно вести без использования материалов, имеющих низкий углеродный след, повышенную биологическую устойчивость, на что указывает О.Г. Бердиева и другие авторы [2].

Результатом исследований К.А. Быстрова стал вывод о том, что энергоэффективность имеет большое значение в процессе обеспечения комфортных условий в зданиях [3]. В частности, потери тепла в ограждающих конструкциях увеличивают потребление энергии. На этом этапе необходимо предотвратить передачу тепла между внутренними и наружными помещениями с помощью пассивных систем. Одним из инновационных материалов, производимых для утепления зданий, является магнезитовая строительная плита (рис. 1).



Рис. 1. Магнезитовая строительная плита¹

Fig. 1. Magnesite panels

На основе теоретического анализа и синтеза полученных знаний определена цель настоящей работы – изучение преимуществ использования магнезитовой строительной плиты для архитектурных целей.

Задачи исследования: изучение технологических характеристик, обоснование преимуществ и недостатков, а также проведение сравнительного обзора свойств плит из оксида магния с аналогичными плитами из других материалов (гипсокартонные, цементно-стружечные и фанерные плиты).

Магнезитовая строительная плита обладает следующими характеристиками: класс воспламеняемости А1, водонепроницаемость, ударопрочность, тепло- и звукоизоляция. Материал можно использовать во многих элементах внутренней и внешней отделки зданий, таких как внешняя облицовка, внутренние перегородки, потолки, системы фальшполов. В то же время магнезитовый лист, не выделяющий вредных и токсичных газов, предотвращает образование плесени, грибка и бактерий во влажной среде.

MgO входит в состав различных природных строительных материалов, которые использовались еще в древности и прошли испытание временем [4]. Благодаря своим свойствам плита из оксида магния абсолютно безопасна и делает внутреннюю среду здания здоровой.

¹ URL: https://www.researchgate.net/figure/Magnesite-Building-Board-Url-10_fig7_370865181

С.И. Кузьмин провел анализ свойств плиты из оксида магния, которая представляет собой строительную плиту большого формата, обычно белого цвета. Магnezитовая плита изготавливается из экологически чистого природного материала, безопасного для здоровья и не выделяющего при использовании токсичных веществ [5]. Уникальной особенностью плит из оксида магния является активное потребление CO₂ из воздуха на протяжении всего жизненного цикла. Это дает постоянное очищение и улучшение качества среды в помещении. Магnezитовая пластина имеет широкое практическое применение: продукт используется для монтажа потолков, перегородок, каминов, всех видов внутренней и наружной облицовки стен, вентилируемых фасадов и в местах, где необходимо защитить здание от огня, гниения и плесени. Поверхность магnezитовых плит можно легко облицевать плиткой, оштукатурить или покрасить [6].

Согласно анализу рынка магnezитовых плит [6] мировой рынок сегментирован на шесть основных регионов, а именно: Северная Америка (США, Канада), Европа (Великобритания, Франция, Германия, Россия), Азиатско-Тихоокеанский регион (Китай, Япония, Австралия), Южная Америка (Бразилия, Аргентина), Ближний Восток (Саудовская Аравия, ОАЭ, Катар) и Африка (Египет, Южная Африка) (рис. 2).

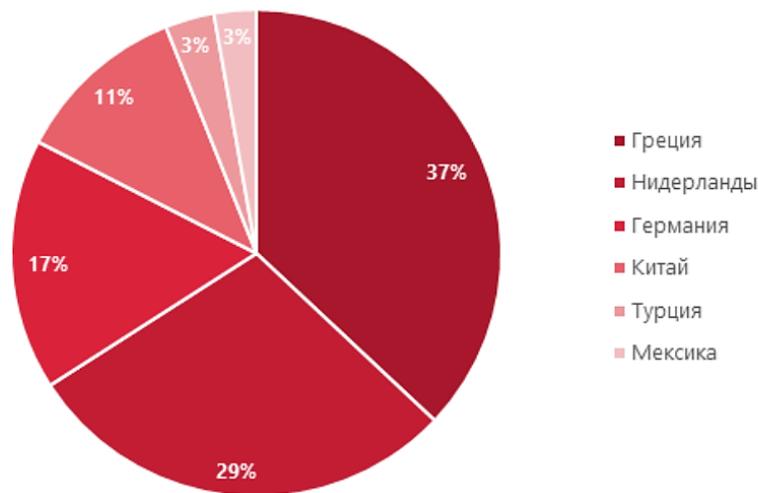


Рис. 2. Структура импорта магnezитовых плит²
Fig. 2. Import structure of magnesite panels

В этих регионах много производителей магnezитовых плит и еще больше поставщиков. Сами импортеры заявляют, что единой рецептуры производства плит MgO не существует, и плиты разных производителей значительно отличаются по своим свойствам (рис. 3). В основном магnezитовая плита состоит из оксида магния и может содержать различные добавки, улучшающие её свойства или создающие определённые характеристики. Напри-

² URL: https://www.megaresearch.ru/news_in/analiz-rossijskogo-rynka-kausticheskogo-magnezita-i-perspektivy-razvitiya-rynka-do-2023-goda

мер, компания Zhangjiagang Oriental Construction Material Co., Ltd. заявляет [6], что производимая ими плита изготовлена из оксида магния высокой чистоты, сульфата MGO ($MgSO_4$), замены хлорида магния ($MgCl_2$), высокопрочной стекловолоконной сетки, перлита.

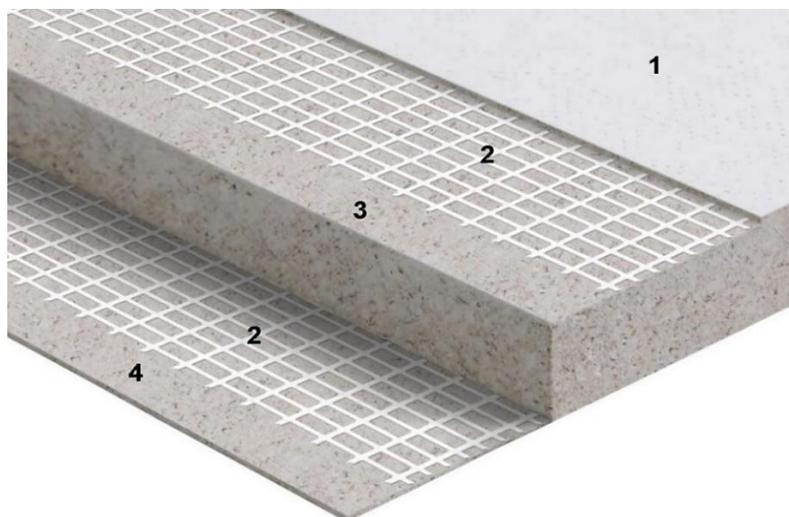


Рис. 3. Структура магнезитовых плит³:

1 – лицевая гладкая поверхность; 2 – армирующая стеклосетка; 3 – тело листа; 4 – обратная шершавая сторона

Fig. 3. Structure of magnesite panels:

1 – smooth front surface; 2 – reinforcing glass mesh; 3 – sheet; 4 – rough reverse side

Рассмотрим преимущества и недостатки плит MgO.

Положительные характеристики:

– Огнестойкость. Материал устойчив к температуре 800 °С и выдерживает воздействие открытого огня до 240 мин в составе сборных конструкций.

– Устойчивость к влаге. Плита не деформируется, не размягчается и не гниет под воздействием влаги и пара.

– Морозостойкость. Материал выдерживает более 50 циклов замораживания-оттаивания и не разрушается.

– Прочностные свойства. Магнезитовые плиты обладают хорошей ударопрочностью и повышенной прочностью на изгиб. Материал устойчив к ударам более 5 кДж/м². Прочность на изгиб составляет от 15 до 22 МПа.

– Звукоизоляция. Материал отличается хорошим звукопоглощением и обеспечивает высокую звукоизоляцию. Шумозащита 8-миллиметровой конструкции – 29 дБ.

– Теплоизоляция. Плиты MgO имеют низкие свойства теплопроводности – коэффициент теплопроводности составляет 0,216 Вт/(м·К).

– Размерная стабильность. Материал не подвержен влиянию влаги, тепла или холода.

³ URL: <https://ne-gorit.ru/osnova/sml/steklomagnezitovyj-list>

– Термический накопительный эффект. Это недавно обнаруженное свойство магнезитовой плиты, которое на 50 % выше, чем у гипсокартона.

Недостатки плит MgO:

– Цена: сегодня на рынке строительных материалов цена плит из оксида магния выше, чем аналогичных материалов.

– Спрос на магнезитовые плиты относительно невелик из-за конкуренции на рынке более дешевых материалов.

– Ограниченная доступность магнезитовых плит на рынке строительных материалов. Не много стран занимаются добычей MgO из-за недостаточной осведомленности о его свойствах.

Оценка достоинств и недостатков показывает, что плиты MgO имеют больше достоинств. Недостатки плит незначительны, однако их также необходимо учитывать при использовании. В целом можно сделать вывод о больших перспективах применения плит из магния на строительном рынке.

Самым большим препятствием на пути расширения использования плит MgO является их цена. В ходе дальнейшего исследования определим, оправдана ли высокая цена материала его физико-механическими и экологическими характеристиками в сравнении с другими материалами.

Материалы и методы исследования

Для сравнения параметров были выбраны традиционные строительные плиты различного происхождения толщиной 12 мм. Характеристики материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение параметров строительных плит

Table 1

Building panel parameters

Материал	Характеристика
Магний	MgO плита, 12×1220×2440 мм, Zhangjiagang Swissiws Co., Ltd.
Цементно-стружечная плита	Цементно-стружечная плита ЦСП-1 (гладкая, нешлифованная) «Тамак», 12×2700×1250 мм
Гипсокартон	Гипсокартон «Кнауф». Обычный ГКЛ, 2500×1200×12,5 мм
Деревянный шпон	Фанера, бук обыкновенный, 12×1250×2500 мм
Ориентированно-стружечная плита (ОСП)	OSB 3 Kronospan, 12×625×2500 мм

1. Гипсокартонные листы на основе гипса [7]. Гипсокартон представляет собой панель, изготовленную из дигидрата сульфата кальция (гипса) с добавками или без них, обычно экструдированную между толстыми листами облицовочной и подкладочной бумагой [8].

2. Древесные плиты: ориентированно-стружечная плита (ОСБ) и фанера. ОСБ – это разновидность инженерной древесины, похожая на древесно-стружечную плиту, получаемая путем добавления клея и последующего сжатия слоев древесных прядей (стружек) в определенной ориентации [9]. Была изобретена Армином Эльмендорфом в Калифорнии в 1963 г. Фанера – это материал, изготовленный из тонких слоев деревянного шпона, которые склеены вместе с соседними слоями, при этом волокна древесины повернуты на угол до 90° друг к другу [10].

3. Цементно-стружечная плита «Тамак» – одна из современных инновационных плит.

На основании имеющихся данных технической литературы, паспортов и каталогов для сравнения были выбраны следующие параметры:

- рыночная цена 1 м²;
- вес – более высокая плотность делает материал более прочным и устойчивым к изменению своей формы;
- модуль упругости – более гибкий материал, например, позволяет создавать изогнутые конструкции;
- термическое сопротивление – чем выше термическое сопротивление, тем меньше потери тепла через конструкцию;
- акустическое сопротивление – чем выше значение, тем устойчивее материал к передаче звука;
- прочность на изгиб, прочность на растяжение, прочность на сжатие;
- ударная вязкость – чем выше значение, тем долговечнее материал;
- содержание формальдегида – чем ниже содержание формальдегида, тем безопаснее материал;
- огнестойкость – группа горючести: НГ – негорючий материал, Г1 – слабогорючий, Г2 – умеренногорючий, Г3 – нормальногорючий, Г4 – сильногорючий;
- устойчивость к влаге – возможность использования во влажной среде;
- устойчивость к плесени и вредителям – способствует созданию более здоровой среды в помещении.

Результаты

Полученные в ходе сравнительного анализа данные обобщены и представлены в табл. 2.

Рассматривая ценовой фактор, можно сделать вывод, что плита MgO имеет сопоставимую (даже более низкую) цену, чем ЦСП. Цена этих двух современных плит примерно на 50 % выше, чем цена гипсокартонных или древесных плит. Такая существенная разница зависит от плотности материала. В зависимости от значения плотности различаются прочностные характеристики плит. По значению модуля упругости плиты MgO и ЦСП сопоставимы, но по остальным прочностным параметрам плита MgO показывает лучшие характеристики. По сравнению с плитами из других материалов, MgO плита имеет высокую прочность на изгиб, высокие показатели прочности на разрыв и ударную вязкость. По прочности на сжатие MgO плита несколько уступает древесным панелям, но превосходит ЦСП и гипсокартон. Магnezитовая строительная плита имеет почти вдвое лучший показатель по акустическому сопротивлению, чем все остальные плиты, и еще более существенны различия по термическому сопротивлению [11].

Таблица 2

Сравнительный анализ свойств плит

Table 2

Panel properties

Параметры сравнения	MgO плита	Цементно- стружечная плита	Гипсо- картон	Фанера	ОБС плита
Средняя цена за 1 м ² , руб.	600	550	300	250	330
Плотность, кг/м ³	1000	1350	680	600	620
Модуль упругости, МПа	6045	6800	2200	3500	3500
Термическое сопротивление, м ² К/Вт	18	11,5	2,2	16	16
Акустическое сопротивление, дБ	11	0,63	1,8	0,3	0,3
Прочность на изгиб, МПа	18	15	6,8	25	20
Прочность на растяжение, МПа	5	–	3,6	3,4	–
Прочность на сжатие, МПа	1,14	0,037	0,1042	0,12	0,12
Ударная вязкость, кгс/см ²	48	30	25	23	25
Содержание формальдегида, мг	0	0	0	max 8	max 8
Группа горючести	НГ	Г1	Г1	Г4	Г4
Устойчивость к воздействию влаги	Да	Да	Нет	Нет	Нет
Устойчивость к воздействию жи- вых организмов (грызуны и т. п.)	Да	Да	Нет	Нет	Нет

Магнезитовая строительная плита также демонстрирует высокую устойчивость к огню и имеет высокий класс огнестойкости, тогда как худшую реакцию на огонь имеют плиты на основе древесины (низкий класс огнестойкости). С точки зрения воздействия на здоровье неблагоприятными являются древесные плиты, т. к. технология их производства включает нанесение клея, в состав которого входит фенолоформальдегидная смола. Кроме того, только плиты MgO и ЦСП обладают устойчивостью к влаге, плесени и вредителям. Древесные плиты и гипсокартон такими свойствами не обладают.

Следовательно, более высокая цена плиты MgO вполне оправданна, поскольку она имеет лучшие значения практически по всем параметрам. ЦСП «Тамак» имеет еще более высокую цену, хотя лишь некоторые характеристики сопоставимы с плитой MgO.

Заключение

Строительные плиты являются неотъемлемой частью любого здания. Они имеют широкий спектр применения (стены, перегородки, полы, крыши, перекрытия), а также относительно широкую материальную базу (гипс, древесно-волоконная плита, ДСП, фанера, фиброцемент). В исследовании проанализированы свойства инновационной строительной плиты, которая изготов-

лена на основе магнезита. Во многих источниках перечисляется ряд преимуществ и свойств, превосходящих эксплуатационные характеристики традиционных гипсовых и древесных строительных плит (огнестойкость, устойчивость к плесени и вредителям, акустическая и термическая стойкость, параметры прочности, особенно прочность на растяжение и ударная вязкость, безопасность для здоровья, устойчивость к влаге, плотность материала и модуль упругости). Однако установлено, что их широкому использованию препятствует более высокая стоимость по сравнению с традиционными строительными плитами. В ходе проведенного сравнительного анализа удалось доказать, что более высокая цена магнезитовых плит оправдана их физико-механическими и экологическими свойствами.

Плита MgO показывает значительно лучшие значения по шести параметрам (прочность на изгиб, растяжение и сжатие, термическая, акустическая прочность и огнестойкость). По результатам можно сделать вывод, что магнезитовая строительная плита имеет потенциал для более широкого использования как с точки зрения цены, так и с точки зрения прочностных и других параметров.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дьяконова С.Н., Батехова А.А. Анализ использования инновационных строительных материалов // *Инновации, технологии и бизнес*. 2021. № 1 (9). С. 42–47.
2. Бердиева О.Г., Байлиева Д.Б., Халлиев Г.Ч. Инновационные материалы в архитектуре и строительстве: от прозрачной древесины до легких сейсмических усилителей // *Вестник науки*. 2024. № 4 (73). Т. 1. С. 528–531.
3. Быстров К.А., Гамаюнова О.С. Инновационные строительные материалы // *Высокие технологии в строительном комплексе*. 2022. № 2. С. 24–34. EDN: CNJKNM
4. Гришин И.А., Масалимов А.В., Андреева О.С. Непрерывный контроль как инструмент управления процессом обогащения магнезитов // *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2020. № 4. С. 4–11.
5. Кузьмин С.И., Соколов Д.А. Модель получения качественного магнезиального вяжущего из природного магнезита Савинского месторождения // *Современные технологии и научно-технический прогресс*. 2024. № 1. С. 216–217. EDN: RIQENP
6. Масалимов А.В., Смирнов А.Н., Орехова Н.Н., Гришин И.А. Состояние сырьевой базы для обнаружения перспективных источников получения оксида магния в процессах обогащения // *Вестник ЗабГУ*. 2021. № 3. С. 16–25. EDN: SHRZPY
7. Макаренко О.И. Инновационные императивы развития современных строительных материалов и технологий в жилищном строительстве // *Жилищные стратегии*. 2023. Т. 10. № 1. С. 43–60.
8. Изотов Е.А. Гипсокартон. Описание и применение в строительстве // *Наука и образование сегодня*. 2020. № 3 (50). С. 23–24.
9. Бамбетова К.В., Бегиева Б.М. Преимущества цементно-стружечной плиты // *Вопросы науки и образования*. 2022. № 1 (157). С. 75–78.
10. Маннапов А.Р., Каинов П.А. Обзор отечественных и зарубежных исследований в области технологии производства фанеры // *Современное строительство и архитектура*. 2022. № 2 (26). С. 25–29.
11. Чуркина А.В. Анализ использования фанеры как сырья // *Форум молодых ученых*. 2019. № 2 (30). С. 1645–1648.

REFERENCES

1. D'yakonova S.N., Batekhova A.A. Analysis of Innovative Building Materials. *Innovatsii, tekhnologii i biznes*. 2021; 1 (9): 42–47. (In Russian)

2. *Berdieva O.G., Baylieva D.B., Halliev G.Ch.* Innovative Materials in Architecture and Construction: From Transparent Wood to Lightweight Seismic Amplifiers. *Vestnik nauki.* 2024; 4 (73) 1: 528–531. (In Russian)
3. *Bystrov K.A., Gamayunova O.S.* Innovative Building. *Vysokie tekhnologii v stroitel'nom komplekse.* 2022; 2: 24–34. (In Russian)
4. *Grishin I.A., Masalimov A.V., Andreeva O.S.* On-line Analytical Control as a Tool for Managing a Magnesite Enrichment Process. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University.* 2020; 4: 4–11. (In Russian)
5. *Kuzmin S.I., Sokolov D.A.* Production Model of High-Quality Magnesia Binder from Natural Magnesite of the Savinsky Deposit. *Sovremennye tekhnologii i nauchno-tekhnicheskii progress.* 2024; 1: 216–217. (In Russian)
6. *Masalimov A.V., Smirnov A.N., Orekhova N.N., Grishin I.A.* Raw Material Base for Magnesium Oxide Production Promising Sources in Beneficiation Processes. *Vestnik ZabGU.* 2021; 3: 16–25. (In Russian)
7. *Makarenko O.I.* Innovative Imperatives for Developing Modern Building Materials and Housing Technologies. *Zhilishchnye strategii.* 2023; 10 (1): 43–60. (In Russian)
8. *Izotov E.A.* Drywall. Description and Application in Construction. *Nauka i obrazovanie segodnya.* 2020; 3 (50): 23–24. (In Russian)
9. *Bambetova K.V., Begieva B.M.* Advantages of Cement-Bonded Particle Board. *Voprosy nauki i obrazovaniya.* 2022; 1 (157): 75–78. (In Russian)
10. *Mannarov A.R., Kainov P.A.* Russian and Foreign Research into Plywood Production Technology. *Sovremennoe stroitel'stvo i arkhitektura.* 2022; 2 (26): 25–29. (In Russian)
11. *Churkina A.V.* Analysis of Plywood Raw Material. *Forum molodykh uchenykh.* 2019; 2 (30): 1645–1648. (In Russian)

Сведения об авторе

Пипия Вахтанг Тенгизович, главный специалист-архитектор, ООО «Арх-Консалт» (архитектурный отдел), 107061, г. Москва, пл. Преображенская, 8, pipiavakho@gmail.com

Author Details

Vakhtang T. Pipia, Chief Architect, ООО “Arch-Consult”, 8, Preobrazhenskaya Sq., 107061, Moscow, Russia, pipiavakho@gmail.com

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.
2024. Т. 26. № 5. С. 173–182.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 173–182.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-173-182

EDN: PDPPPO

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТОВ ОБЪЕЗДА РЕМОНТИРУЕМЫХ ГОРОДСКИХ ПУТЕПРОВОДОВ

Сергей Васильевич Алексиков, Аким Александрович Кандалов

*Волгоградский государственный технический университет,
г. Волгоград, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* При ремонте городских путепроводов важно обеспечить минимальные транспортные потери автотранспортом на период проведения дорожных работ.

Цель исследования – разработка методики обоснования оптимального маршрута объезда ремонтируемого городского путепровода по прилегающей к объекту улично-дорожной сети.

На основе исследований установлена зависимость средней скорости автомобилей и себестоимости перевозок от расстояния между регулируемыми перекрестками и уровня их загрузки. Разработан алгоритм обоснования маршрута объезда строительного объекта.

Результаты. На основе факторного анализа разработана методика обоснования маршрута объезда строительного объекта по существующей улично-дорожной сети с учетом уровня ее загрузки городским транспортом, состояния проезжей части, светофорных объектов, протяженности маршрута.

Ключевые слова: путепровод, маршрут объезда, уровень загрузки, улично-дорожная сеть, прочность, проезжая часть, регулируемые перекрестки

Для цитирования: Алексиков С.В., Кандалов А.А. Методы оптимизации маршрутов объезда ремонтируемых городских путепроводов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 173–182. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-173-182. EDN: PDPPPO

ORIGINAL ARTICLE

METHODS OF DIVERSION ROAD IMPROVEMENT OF OVERPASSES UNDER REPAIR**Sergey V. Aleksikov, Akim A. Kandalov***Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia*

Abstract. During the repair of motorway junctions, it is important to minimize transportation losses by urban vehicles for the period of road works.

Methodology: Factor analysis.

Purpose: The aim of research is to substantiate the best diversion road of the motorway junction under repair in the streets network adjacent to the object.

Research findings: The dependence is shown of the average speed of cars and transportation cost on the distance between signalized intersections and traffic load.

Value: An algorithm is developed for substantiation of the diversion road for construction site. Justification for the diversion road along the streets network adjacent to the object, is developed using the factor analysis and based on the traffic load, of roadway conditions, traffic lights, route length.

Keywords: motorway junction, diversion road, streets network, traffic load, strength, roadway, signalized intersection

For citation: Aleksikov S.V., Kandalov A.A. Methods of Diversion Road Improvement of Overpasses Under Repair. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 173–182. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-173-182. EDN: PDPPPO

Введение

Ремонт и реконструкция городских путепроводов часто относятся к долговременным строительным работам. Как правило, дорожные работы выполняются на одной половине искусственного сооружения с пропуском транзитного транспорта по смежной половине проезжей части (рис. 1).



Рис. 1. Движение транспорта по половине проезжей части во время ремонта путепровода

Fig. 1. Traffic on half of the carriageway during motorway junction repair

Ремонт городских путепроводов, особенно на дорогах с уровнем загрузки более 70 % и на участках, проходящих через железнодорожные пути, часто при-

водит к заторам на прилегающей к объекту улично-дорожной сети (УДС), снижению скорости транспортных потоков до 15–20 км/ч, росту аварийности, ускоренному износу проезжей части УДС [1, 2, 3]. Транспортные заторы на подъездах к ремонтируемому сооружению достигают протяженности 700–900 м в зависимости от уровня загрузки автомагистралей (рис. 2). В связи с этим при разработке проектных решений ремонта и реконструкции сооружений важно обоснованно решить задачу организации объезда ремонтируемого объекта [4].



Рис. 2. Транспортный затор при ремонте путепровода г. Волгограда⁷⁰
Fig. 2. Traffic jam during repair of the Volgograd overpass

Факторы, определяющие выбор маршрута объезда строительного объекта

Исследования особенностей организации ремонта объектов городской транспортной инфраструктуры позволили выделить основные этапы и факторы, определяющие выбор оптимального маршрута объезда ремонтируемого объекта на перегруженной более 70 % УДС [5, 6, 7, 8, 9, 10] (рис. 3). Проектные работы рекомендуется выполнять в определенной последовательности:

- предварительный анализ сложившейся УДС в районе дислокации ремонтируемого путепровода с выбором возможных вариантов маршрута объезда объекта;
- анализ возможных маршрутов объезда с учетом ширины и протяженности дорог, их пропускной способности и уровня загрузки в час пик, с учетом примыканий и пересечений в одном уровне;
- анализ интенсивности и состава движения городского и транзитного транспорта на объездных маршрутах;
- отбраковка маршрутов с высокой вероятностью образования транспортных заторов;
- прогноз движения автотранспорта по оставшимся маршрутам в период производства дорожных работ;

⁷⁰ URL: https://yandex.ru/images/search?from=tabbar&img_url

– инструментальная или визуальная оценка состояния проезжей части оставшихся маршрутов с выделением разрушенных участков дорог, подлежащих ремонту;

– расчет технических параметров транспортных потоков по оставшимся направлениям объезда: коэффициента загрузки маршрутов (Z), средней скорости транспорта (V_{cp}), времени объезда ($T_{об}$);

– поиск оптимального проектного решения по суммарным затратам (P_j) в период производства работ, включающих сметную стоимость ремонта (C_j) дорог на оставшихся маршрутах объезда и автотранспортные затраты ($\mathcal{E}^{ат}_j$). Целевая функция поиска оптимального маршрута имеет вид:

$$P_j = C_j + \mathcal{E}^{ат}_j \rightarrow \min. \quad (1)$$

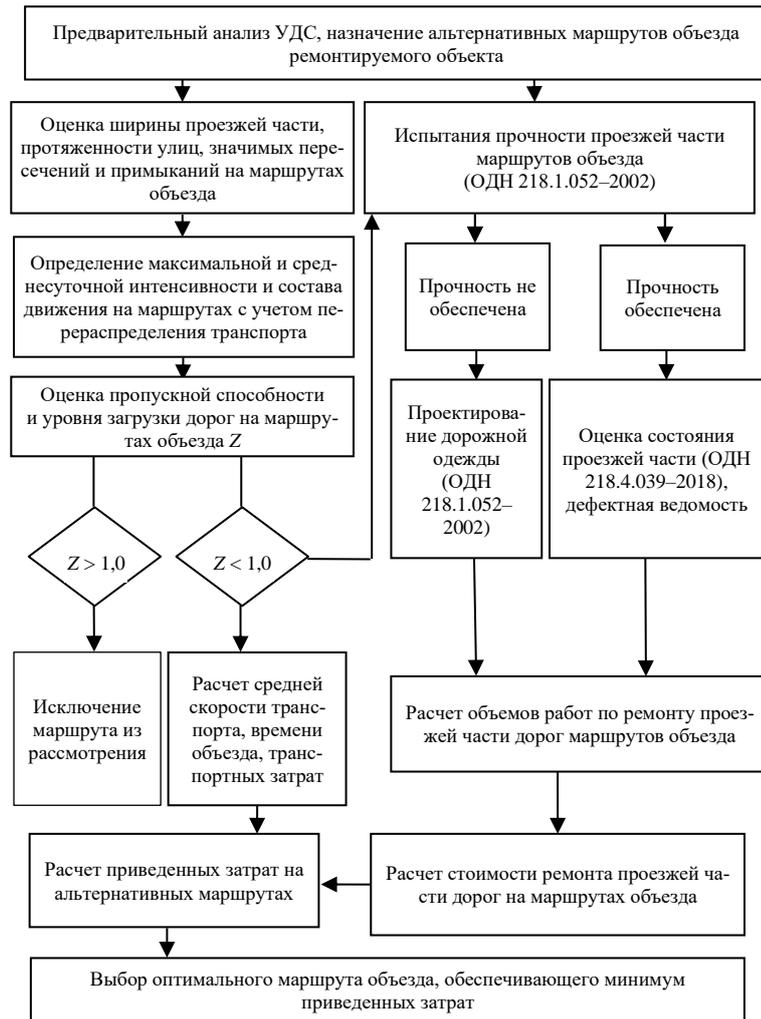


Рис. 3. Блок-схема выбора оптимального маршрута объезда ремонтируемого городского путепровода

Fig. 3. Block diagram of the best diversion road for the motorway junction under repair

Предварительный отбор возможных маршрутов объезда ремонтируемого путепровода выполняется по картографическим и другим техническим материалам группой экспертов, при этом учитывается общая протяженность объезда, ширина проезжей части и ее состояние, наличие загруженных перекрестков, максимальный уровень загрузки дорог маршрута в час пик. Маршруты разбиваются на отдельные участки-перегоны с различной шириной проезжей части и уровнем загрузки в час пик (рис. 4). Смежные участки УДС с разницей в интенсивности движения и ширине проезжей части до 5 % объединяются в один.

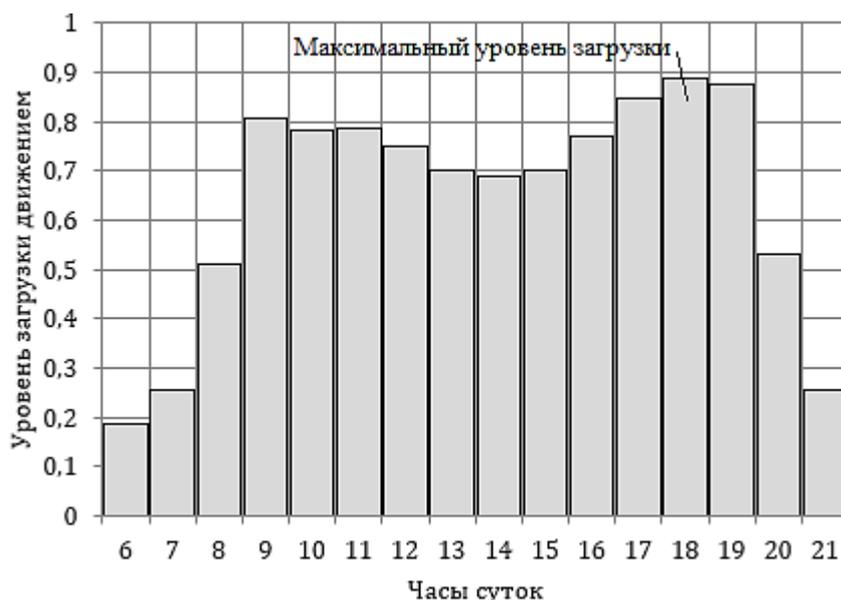


Рис. 4. Изменение уровня загрузки ул. Землячки
Fig. 4. Traffic load on Zemlyachki Street

Совокупная интенсивность движения ($N_{i,j}^{сум}$) определяется для каждого выделенного i -го участка j -го маршрута по формуле

$$N_{i,j}^{сум} = N_{i,j}^{рем} + N_{i,j}, \quad (2)$$

где $N_{i,j}$ – интенсивность до начала дорожных работ на путепроводе; $N_{i,j}^{рем}$ – дополнительная интенсивность, перенаправленная на объезд с участка ремонта путепровода.

Коэффициент загрузки ($Z_{i,j}$) для участков объездных маршрутов рассчитывается по известной формуле

$$Z_{i,j} = \frac{N_{i,j}^{сум}}{P_{i,j}}. \quad (3)$$

Расчет коэффициента загрузки требуется для выбраковки намеченных маршрутов объезда объекта. Если на одном из участков (перегонов) интенсив-

ность движения в час пик превышает его пропускную способность ($Z_{i,j} > 1,0$), данный маршрут исключается из дальнейшего рассмотрения в связи с высокой вероятностью образования транспортного затора. Маршрут признается перспективным для дальнейшего рассмотрения при выполнении условия $Z_{i,j} < 1,0$.

Известный коэффициент загрузки и протяженность маршрута позволяют рассчитать среднюю скорость транспортного потока (V_{cp}^j). Исследования авторов [2] показали, что на коротких участках УДС между светофорными объектами (перекрестками и примыканиями) протяженностью до 300–500 м на скорость транспортного потока существенно влияет расстояние между светофорами $L_{\text{п}}$ и уровень загрузки Z перегона. На коротких перегонах при уровне их загрузки движением транспорта более 80–85 % пропускной способности часто наблюдаются заторы в пределах одного-двух перегонов. При этом средняя скорость в зависимости от перечисленных выше факторов имеет вид:

$$V_{\text{cp}}^j = \frac{4,68L_{\text{п}}^{0,11}}{Z_j^{1,473}}, \quad (4)$$

где Z_j – коэффициент загрузки маршрута в целом, рассчитывается как средневзвешенная величина по формуле

$$Z_j = \frac{\sum_{i=1}^I (N_{i,j}^{\text{сум}} / P_{i,j}) l_{i,j}}{L_j}, \quad (5)$$

где $P_{i,j}$, $l_{i,j}$ – соответственно пропускная способность и протяженность i -го перегона j -го маршрута; L_j – длина j -го маршрута.

При увеличении расстояния между регулируемыми перекрестками до 600 м и более влияние регулируемых перекрестков снижается, скорость потока зависит от уровня загрузки:

$$V_{\text{cp}}^j = \frac{115,83}{e^{2,64Z_j}}. \quad (6)$$

Для оценки перспективности j -го маршрута важно знать время объезда объекта ($T_{\text{об}}^j$):

$$T_{\text{об}}^j = \sum_{j=1}^N \frac{L_j}{V_{\text{cp}}^j}. \quad (7)$$

Затраты на осуществление перевозок по j -му маршруту, согласно [11], рассчитываются по формуле

$$\mathcal{E}_j^{\text{ар}} = T_{\text{стр}} \sum_{i=1}^I N_{i,j}^{\text{сум}} (S_{i,j} \cdot L_j + C_{i,j} \cdot t_{i,j}), \quad (8)$$

где $T_{\text{стр}}$ – продолжительность ремонта или реконструкции путепровода, сут;

$N_{i,j}^{\text{сум}}$ – суточная совокупная интенсивность движения автомобилей i -го типа по j -му маршруту, авт/сут; $S_{i,j}$ – средняя себестоимость 1 авт.-км пробега автомобилей i -го типа по j -му маршруту, руб.; $C_{i,j}$ – затраты на 1 ч простоя автомо-

биля i -го типа по j -му маршруту, руб.; $t_{i,j}$ – среднесуточное время задержки одного автомобиля в местах затрудненного проезда, ч.

Себестоимость перевозки грузов и пассажиров автомобилем i -го типа рассчитывается по формуле [11]:

$$S_{i,j} = S_{\text{пер}i} + \frac{S_{\text{пост}i} + d_i}{V_{\text{сп}}^j}, \text{ руб./км}, \quad (9)$$

где $S_{\text{пер}i}$ – переменные затраты на 1 км пробега автомобиля i -го типа по маршруту, руб.; $S_{\text{пост}i}$ – постоянные затраты на 1 ч пребывания автомобиля i -го типа в наряде, руб.; d_i – часовая заработная плата водителя автомобиля i -го типа, руб.

В результате частичного или полного перераспределения транспортного потока с ремонтируемого путепровода на объездную дорогу проезжая часть на ней испытывает повышенные транспортные нагрузки, которые приводят к появлению колеевости, ямочности, сетки трещин и выбоин. В связи с этим часто возникает необходимость в дополнительном ремонте покрытия для обеспечения беспрепятственного пропуска совокупного транспортного потока в период ремонта путепровода. Устройство дополнительного слоя покрытия из плотного асфальтобетона или ЩМА обоснованно при низкой несущей способности проезжей части. При наличии на проезжей части дефектов, не связанных с низкой прочностью, достаточно проведения работ по восстановлению ровности покрытия.

Укрупненная стоимость ремонта проезжей части C_j маршрута рассчитывается по формуле

$$C_j = \sum_{r=1}^R C_{r,j} \cdot Q_{r,j} \cdot K_{r,j}, \quad (10)$$

где $C_{r,j}$, $Q_{r,j}$ – соответственно укрупненный показатель сметной стоимости (УПСС) и объем r -го вида ремонтных работ на j -м маршруте; $K_{r,j} = 1,02-1,14$ – поправочный коэффициент, учитывающий стесненные условия производства дорожно-ремонтных работ на проезжей части в условиях одновременного пропуска транспорта по смежной полосе.

Технико-экономическое обоснование оптимального маршрута выполняется путем оценки альтернативных вариантов по минимуму суммарных строительных затрат и транспортных расходов (1) за период ремонта или реконструкции путепровода.

При ремонте путепровода на дорогах с уровнем загрузки более 70 % от пропускной способности или ограниченности исходных данных и времени проектирования обоснование маршрута объезда можно выполнять по упрощенному алгоритму:

- предварительный анализ сложившейся УДС в районе дислокации ремонтируемого путепровода с назначением вариантов объезда;
- оценка намеченных вариантов маршрута объезда с выбором наилучшего группой экспертов на основании следующих показателей: протяженность объезда, ширина проезжей части, интенсивность движения, наличие перегруженных пересечений и примыканий в одном уровне и расстояние между ними;
- при наличии нескольких маршрутов, незначительно отличающихся по коэффициенту загрузки и протяженности, предпочтение следует отдавать варианту с минимальным временем объезда объекта в час пик.

Принятый маршрут объезда объекта, организация движения на нем должны быть согласованы с ГИБДД.

Заключение

Выполненные исследования показали, что в условиях высокой загрузки улично-дорожной сети (более 70 %) ремонт путепроводов приводит к существенным транспортным издержкам на маршрутах объезда, обусловленных низкой скоростью автомобилей (до 10–15 км/ч) и транспортными заторами на прилегающей УДС, повышенной аварийностью, повышенным износом дорог, используемых для объезда. В связи этим при разработке проектной документации важно решить задачу выбора маршрута объезда ремонтируемого объекта на основе:

- 1) анализа УДС в зоне дислокации ремонтируемого путепровода с выбором конкурирующих маршрутов объезда строительного объекта;
- 2) оценки технических параметров УДС конкурирующих маршрутов объезда;
- 3) прогноза движения транспорта на конкурирующих маршрутах в период ремонта путепровода;
- 4) оценки пропускной способности улиц на маршрутах объезда по коэффициенту загрузки, с расчетом скорости транспорта, времени объезда в час пик и себестоимости перевозки;
- 5) диагностики и оценки технического состояния маршрутов объезда с обоснованием объемов их ремонта;
- 6) расчетов укрупнённой стоимости ремонта проезжей части маршрутов и автотранспортных затрат в период ремонта путепровода;
- 7) оценки альтернативных вариантов и выбора маршрута, обеспечивающего минимум суммарных транспортных и строительных затрат. В условиях загрузки УДС до 70 %, ограниченности данных и времени проектных работ выбор маршрута определяется по минимальному времени объезда ремонтируемого объекта в час пик.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Малахов Р.С., Алексиков С.В. Определение интенсивности движения городского транспорта методом краткосрочных наблюдений // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2017. № 49 (68). С. 92–98.
2. Алексиков С.В., Волченко С.В. Скоростной режим транспортных потоков городских магистралей // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : матер. IV Междунар. науч.-техн. конф., 23–25 сентября 2013 г. Волгоград : ВолГАСУ, 2013. С. 37–46.
3. Алексиков С.В., Карпушко М.О. Исследование затрат городского автотранспорта на участках ремонта улично-дорожной сети // Ресурс- и энергоэффективные технологии в строительном комплексе региона : сб. науч. тр. по матер. Междунар. науч.-практ. конф. Саратов : СГТУ, 2014. С. 348–352.
4. Алексиков С.В., Данилов И.А., Лескин А.И., Гофман Д.И. Организация ремонта городских дорог в условиях плотных транспортных потоков // Инженерный вестник Дона. 2022. № 4. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2022/7578>
5. Алексиков С.В., Лескин А.И., Гофман Д.И., Альшанова М.И. Влияние ровности дорожного покрытия на себестоимость перевозок и безопасность движения // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. № 2 (79). С. 24–31.

6. Алексиков С.В., Лескин А.И., Гофман Д.И., Альшанова М.И. Повышение пропускной способности УДС Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. № 4 (81). С. 74–83.
7. Русанов М.И., Мирошникова Н.П. Оценка влияния ремонта УДС на пропускную способность дорог // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : материалы VI Всерос. (с междунар. участием) науч.-техн. конф. мол. исследователей, Волгоград, 22–27 апреля 2019 г. / под общ. ред. Н.Ю. Ермиловой, И.Е. Степановой . Волгоград: Волгogr. гос. техн. ун-т, 2019. С. 84–85.
8. Фишельсон М.С. Транспортная планировка городов. Москва : Высшая школа, 1985. 239 с.
9. Горячев М.Г. Обоснование суммарного размера движения для расчёта нежестких дорожных одежд с учётом процесса накопления остаточных деформаций : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 1999. 250 с.
10. Ullidtz P., Larsen B.K. Mathematical model for predicting pavement performance // Transportation Research Record. 1986. № 4. P. 46–55.
11. СТО АВТОДОР 2.17–2015. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию применения временных мостов (эстакад, путепроводов) на автомобильных дорогах государственной компании «Автодор». Москва : ГК «Автодор», 2015. 98 с.

REFERENCES

1. Malakhov R.S., Aleksikov S.V. Determination of Urban Traffic Load using Short-Term Observations. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2017; 49 (60): 92–98. (In Russian)
2. Aleksikov S.V., Volchenko S.V. Speed Regime of Traffic Flows in Urban Highways. In: *Proc. 4th Int. Conf. 'Engineering Problems of Constructional Materials Science, Geotechnical Engineering and Road Construction'*. Volgograd, September 23–25, 2013. Pp. 37–46. (In Russian)
3. Aleksikov S.V., Karpushko M.O. Urban Road Transport Costs at Repair Sites of Streets Network. In: *Proc. Int. Conf. 'Resource- and Energy-Efficient Technologies in Regional Construction'*. Saratov, 2014. Pp. 348–352. (In Russian)
4. Aleksikov S.V., Danilov I.A., Leskin A.I., Gofman D.I. Urban Road Repair in Traffic Load Conditions. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2022; (4): 11. Available: www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7578 (In Russian)
5. Aleksikov S.V., Leskin A.I., Gofman D.I., Alshanova M.I. Influence of Pavement on Transportation Cost and Traffic Safety. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2020; 2 (79): 24–31. (In Russian)
6. Aleksikov S.V., Leskin A.I., Gofman D.I., Alshanova M.I. Increasing the capacity of Volgograd UDS. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2020; 4 (81): 74–83. (In Russian)
7. Rusanov M.I., Miroshnikova N.P. Assessment of the impact of UDS repair on road capacity. In: *Proc. 6th All-Russ. Conf. 'Relevant problems of Construction, Housing and Communal Services and Technosphere Safety'*, N.Y. Ermilova, I.E. Stepanova, Eds. Volgograd, April 22–27. 2019. Pp. 84–85. (In Russian)
8. Fishelson, M.S. Transport Planning of Cities. Moscow: Vysshaya shkola, 1985. 239 p. (In Russian)
9. Goryachev M.G. Total Traffic Justification for Non-Rigid Pavement Analysis with Regard to Residual Strain Accumulation. PhD Thesis. Moscow, 1999. 250 p. (In Russian)
10. Ullidtz P., Larsen B.K. Mathematical Model for Predicting Pavement Performance. *Transportation Research Record*. 1986; (4): 48–55.
11. СТО Автодор 2.17-2015. Methodological Recommendations for Feasibility Study of Temporary Bridges on Avtodor Highways. Moscow, 2015. 98 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Алексиков Сергей Васильевич, докт. техн. наук, профессор, Волгоградский государственный технический университет, 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, al34rus@mail.ru

Кандалов Аким Александрович, аспирант, Волгоградский государственный технический университет, 400005, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, 28, akim.kandalov@yandex.ru

Authors Details

Sergey V. Aleksikov, DSc, Professor, Volgograd State Technical University, 28, Lenin Ave., 400005, Volgograd, Russia, al34rus@mail.ru

Akim A. Kandalov, Research Assistant, Volgograd State Technical University, 28, Lenin Ave., 400005, Volgograd, Russia, akim.kandalov@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 19.06.2024
Одобрена после рецензирования 13.09.2024
Принята к публикации 16.09.2024

Submitted for publication 19.06.2024
Approved after review 13.09.2024
Accepted for publication 16.09.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 183–197.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 183–197.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.21.095:624.072.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-183-197

EDN: SVYQEH

О РЕСУРСНОЙ НАДЕЖНОСТИ БИСТАЛЬНЫХ БАЛОК С РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Андрей Владимирович Картопольцев

ООО «ДИАМОС», г. Томск, Россия

Аннотация. Актуальность исследования заключается в совершенствовании методики оценки ресурсной надежности металлических пролетных строений с бистальными балками изменением управляющей функции напряженно-деформированного состояния на основе резервирования и самоорганизации системы. Рассматривается эффект вариации нагрузок на несущие бистальные балки пролетных строений, действующих в течение длительного времени эксплуатации.

Цель: разработать методику оценки ресурсной надежности бистальных балок как самонастраиваемых систем при воздействии нагрузки.

Практическая значимость: оценена ресурсная надежность бистальных балок с учетом «запаздывания» текучести.

Показано, что резервирование в бистальных балках повышает показатель ресурсной надежности и технического использования.

Ключевые слова: надежность, отказ, резервирование, бистальные балки, деформации, предельное состояние

Для цитирования: Картопольцев А.В. О ресурсной надежности бистальных балок с резервированием // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 183–197. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-183-197. EDN: SVYQEH

ORIGINAL ARTICLE

TOWARDS DURABILITY OF REDUNDANT COMPOSITE BEAMS

Andrei V. Kartopoltzev

ООО “DIAMOS” Tomsk, Russia

Abstract. The relevance of the study lies in the methodology improvement of assessing the durability of metal span structures with composite beams via the control for the stress-strain state on the basis of the system redundancy and self-organization. The variation in loads on composite beams of bridge spans during a long operation, is considered herein.

Purpose: The aim of this work is to develop a methodology for estimation of durability of composite beams as self-organized systems under load.

Research findings: It is shown that redundant composite beams increase their durability and technical utilization.

Practical implications: Durability of composite beams with regard to the yield strength delay.

Keywords: durability, failure, redundancy, composite beams, deformation, limit states

For citation: Kartopol'tsev A.V. Towards Durability of Redundant Composite Beams. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 183–197. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-183-197. EDN: SVYQEH

Известно, что надежность несущих элементов пролетных строений мостов сказывается на стоимости, временных и эксплуатационных затратах, а также проявляется в виде неудобств и дискомфорта, а в определенных ситуациях грозит безопасности людей. Классическим примером являются обрушения пешеходных и автодорожных мостов [1]. Теория надежности устанавливает закономерности отказов, методы их прогнозирования и ищет способы повышения ресурсной надежности при проектировании, изготовлении металлических конструкций, а также приемы поддержания уровня требуемой надежности при эксплуатации.

Резервирование – процесс поддержания уровня нормативной ресурсной надежности бистальных балок пролетных строений в процессе длительной эксплуатации до выхода их за предел «исправных» включением в работу элементов из высокопрочной стали взамен вышедших в предельное состояние элементов балки, выполненных из стали меньшей прочности.

Механизм резервирования отображает восприятие элементом балки с более высокими механическими характеристиками материала той части перенапряжения, которое испытывает соседний элемент сечения балки, выполненный из стали меньшей прочности.

Бистальные балки представляют собой конструктивную форму со встроенной системой последовательно постоянного класса резервирования ресурсной надежности [2, 3]. Рассматривается эффект вариации нагрузок на несущие бистальные балки пролетных строений, действующих в течение длительного времени эксплуатации. В процессе статистического моделирования возможно изменение напряженно-деформированного состояния и ресурсной поэлементной надежности проявлением фактора резервирования характеристик прочности, деформативности, уровня надежности и вероятности отказов.

Резервирование в системе поэлементной ресурсной надежности балок, основанной на модели запаздывания текучести, расширяет границы предельных состояний физических и реальных моделей эксплуатационного состояния пролетных строений мостов и направлено на повышение нормативного срока службы [4].

Модель запаздывания пластического деформирования нижней части вертикальной стенки по линии жесткого сопряжения с нижним поясом бистального сечения балки объясняется режимом начального появления верхнего значения управляемых пластических деформаций, равных 0,0025, при поддержании

вающем эффекте оставшейся упругой части сечения вертикальной стенки и ее переходом со сдвигом во времени, равным t_0 , к нижнему предельному значению текучести с $\varepsilon_{\text{пл}} > 0,0025$ неуправляемого процесса деформирования и отвечающего условию

$$\int_0^{t_0} \sigma^\alpha(t) dt = C, \quad (1)$$

где $\sigma(t)$ – функция нагружения вертикальной стенки; t_0 – время запаздывания текучести; α – константа материала вертикальной стенки; C – константа следа запаздывания (критерий Кэмпбелла).

Тогда началом резервирования в балке следует считать момент включения в работу нижнего пояса на восприятие дополнительных воздействий за счет отказа пластифицированной части вертикальной стенки в течение времени t_0 , которое равно критическому времени. Применение бистальных балок, обладающих эффектом естественного резервирования для повышения ресурсной надежности, в последнее время приобретает все большее значение. Резервирование в бистальных балках по участкам в зависимости от напряженного состояния (принцип постоянного раздельного резервирования) принципиально выявлено не только для балки, но и для всего пролетного строения. Определение числа участков в бистальных балках, способных к автоматическому резервированию, основано на ряде условий надежности и функциональных особенностях основных и второстепенных элементов. В бистальных балках основной функцией нижнего пояса является восприятие изгибающего момента, который представляет основное усилие предельного состояния, тогда как вертикальная стенка отвечает за конструктивно-технологическое состояние и воспринимает в основном поперечную силу. Для моностальных балок отсутствует модель и причины для реализации резервирования из-за равенства прочностных характеристик материала элементов балок, т. е. $R_{\text{в.п}} = R_{\text{ст}} = R_{\text{н.п}}$. В бистальных балках модель резервирования обоснована положениями:

1. Применение высокопрочной стали в наиболее напряженном элементе сечения балки (нижнем поясе), что само по себе является фактором повышения конструктивной надежности.

2. Резервирование обеспечивается подключением резерва по напряжению, равного $R_{\text{п}} - \sigma_{\text{т}}^{\text{ст}} = \Delta\sigma_R$, где $R_{\text{п}}$ – расчетное сопротивление стали нижнего пояса; $\sigma_{\text{т}}^{\text{ст}}$ – предел текучести материала $\sigma_{\text{т}}^{\text{ст}} \leq R_{\text{п}}$.

3. Отсутствие необходимости в дополнительных конструктивных решениях для получения постоянного эффекта резервирования, т. к. в бистальных балках резервирование осуществляется в жестком соединении элементов нижнего пояса и стенки из двух марок стали различной прочности.

4. Выполняется принцип постоянного последовательного резервирования, при котором «отказ» балки будет считаться при отказе хотя бы одного элемента.

5. Не применим принцип параллельного резервирования, который основан на единоразовом отказе всех элементов сечения балки.

б. Резервирование бистальных балок как многоэлементной системы дискретной структуры, обладающей конструктивными и физическими свойствами, должно способствовать обеспечению собственной поэлементной структурной надежности и отвечать требованиям [5]:

- а) уменьшение интенсивности «отказов»;
- б) уменьшение среднего времени восстановления требуемого уровня работоспособности;
- в) применение надежных высокопрочных сталей и упрощение конструктивной формы;
- г) закон обеспечения ресурсной надежности бистальных балок поэлементным резервированием для повышения надежности запишется в виде

$$P = f(\lambda_c, \bar{t}_b, t, m, K_p), \quad (2)$$

где P – надежность балки; λ_c – интенсивность отказов элементов балки, входящих в систему резервирования; \bar{t}_b – среднее время восстановления нормативного состояния после включения резервирования; t – срок службы бистальных балок; K_p – критерий резервирования.

Предельным состоянием бистальной балки будет считаться такое, когда все элементы $m+1$ одновременно работают на внешнюю нагрузку. При отказе одного элемента нагрузка перераспределяется на остальные элементы, которые составляют на момент отказа резервируемую систему. Ресурсная надежность балки в течение времени \bar{t}_b может несколько снизиться за счет перераспределения нагрузки и напряженно-деформированного состояния на оставшиеся работоспособные элементы балки. Вступление резервной части элементов балки взамен ослабленных или поврежденных в процессе работы не допускает отказа всей системы.

Вероятность нормальной работы элементов бистальных балок на протяжении всего периода эксплуатации определяется условием [6, 7]

$$\left. \begin{aligned} Z &= [(1 - P_1(t))(1 - P_2(t))(1 - P_3(t)) \dots (1 - P_i(t))]; \\ Z &= Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3 \dots Z_i, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $P_i(t)$ – вероятность вывода из строя элементов балки; Z_i – вероятность нормальной работы элементов балки.

Вероятность возможного выхода из работы элементов будет определяться формулой

$$P_i(t) = (1 - Z_1)(1 - Z_2)(1 - Z_3) \dots (1 - Z_i). \quad (4)$$

Бистальные балки являются системой с постоянно включенными в работу элементами резервирования, поддерживающими безаварийную эксплуатацию на протяжении нормативного срока ресурсной надежности до случая возможного выхода за предел «исправных» хотя бы одного элемента.

Рассматривая схему одноэлементного резервирования при упругопластической работе вертикальной стенки и упругой работе нижнего пояса бистальной балки 2-го уровня, вероятность нормальной работы вертикальной стенки с огра-

ниченными пластическими деформациями, равными $\varepsilon_{\text{шт}} \cong 0,0025$, обозначим через $Z_{\text{в}}$, а нижнего пояса, выполняющего функции резервирующего элемента, через $Z_{\text{н}}$. Тогда вероятность нормальной работы элементов балки будет определяться выражением

$$Z_{\text{в.н}} = 1 - (1 - Z_{\text{в}})(1 - Z_{\text{н}}). \quad (5)$$

Обозначим вероятность повреждения бистальной балки за счет выхода за предел управляемости пластическими остаточными деформациями материала вертикальной стенки на границе сопряжения с нижним поясом через $P_{\text{с}}$, равную $P_{\text{зс}} \cdot P_{\text{зн}}$ при $Z_{\text{с}} \rightarrow 0$, указывая тем самым, что вертикальная стенка и балка в целом нуждаются в резервировании для обеспечения нормативной прочности и надёжности и $Z_{\text{в.н}} \rightarrow 1$. Для бистальных балок 1-го уровня, сочлененных из трех блоков, при $Z_{\text{с}} \neq Z_{\text{н}}$ вероятность нормальной работы системы будет определяться равенством

$$Z_{\text{н}} = \left[1 - (1 - Z_{\text{с}})^m \right]^n, \quad (6)$$

где $m = 1 + m_1$; $m_1 = 2$ – число возможных резервных элементов; $m = 3, 5, 7$.

Тогда вероятность повреждения таких систем выражается формулой

$$P_{\text{н}} = 1 - \left[1 - P_{\text{сн}}^m \right]^n, \quad (7)$$

где $P_{\text{сн}} = 1 - Z_{\text{с}}$.

Зависимость вероятности выхода бистальных балок за предел «исправных» с вероятностью повреждения резервированного элемента при $m_1 = 1$, $n = 3$ и $m = 2$ будем определять выражением

$$P_{\text{н}}^{\text{р}} \approx n \cdot P_{\text{сн}}^m. \quad (8)$$

Вероятность выхода бистальной балки за предел «исправных» без резервирования определим выражением

$$P_{\text{н}} \approx n \cdot P_{\text{с}}. \quad (9)$$

Интенсивность отказов для бистальных балок с резервированием и без резервирования характеризуется выражением $\lambda(t) = P_{\text{н}} / P_{\text{н}}^{\text{б}}$, при этом уровень надежности оценивается как

$$P = \lg \frac{1}{\Theta}, \text{ В}, \quad (10)$$

где Θ – вероятность наступления за срок службы (ресурсный период) хотя бы одного отказа; $P = 0,99$ – нормативный показатель надежности бистальных балок, соответствующий уровню надежности $P = \Phi(\gamma)$ (В) по гауссовскому уровню распределения случайных величин [8, 9]; $\Phi(v)$ – интеграл функции Лапласа; v – показатель уровня распределения надежности поэлементно в бистальной балке.

Вероятность безотказной работы бистальной балки с постоянным последовательным резервированием P_8^p равна:

$$P_8^p = \left[1 - \left(1 - \sum_i P_i^s \right)^2 \right]^r, \quad (11)$$

где $r = 3$ – число групп элементов в сечении балки (верхний пояс + вертикальная стенка + нижний пояс); s – число элементов в каждой группе в зависимости от типа бистальной балки (1-й, 2-й уровень); P_i – нормативная надежность и R_s^{ct} – расчетное сопротивление стали вертикальной стенки.

$$\text{Тогда} \quad P_i = P_{\text{ни}} = N_{\text{ни}} = \frac{R_{\text{п}}}{\gamma_n}, \quad (12)$$

где $\gamma_n = 1,0$; $N_{\text{ни}}$ – нагруженность нижнего пояса; $R_{\text{п}}$ – расчетное сопротивление стали нижнего пояса.

Формула (12) справедлива при условии, что предельное состояние балки по предложению Болотина, Потапкина соответствует выражению [9, 10, 11]

$$R_{\text{п}} \geq (1 + \beta \cdot A_{N_{\text{ни}}}) N_{\text{ни}}, \quad (13)$$

$$\text{где} \quad \beta = \left\{ 2 \left(1 + \frac{R_{\text{п}}}{N_{\text{ни}}} \right) \ln \left[\frac{\alpha}{V} \left(1 + \frac{R_{\text{п}}}{N_{\text{ни}}} \right)^{-\frac{1}{2}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}};$$

$A_{N_{\text{ни}}}$ – изменчивость нагруженности нижнего пояса; α – безразмерный коэффициент, соответствующий времени эксплуатационного ресурса $\alpha \approx 0,1-0,12$; V – вероятность возникновения предельного состояния.

Вероятность безотказной работы элемента балки $P_i = P_{\text{вп}}$ для верхнего пояса при нормативной надежности оценивается его несущей способностью по формуле

$$P_{\text{вп}} = N_{\text{вп}} = N_{\text{ср}} - 3,34(1 - n^{-0,26})\sigma_r, \quad (14)$$

где $N_{\text{ср}}$ – среднее значение нагруженности верхнего пояса – равно $R_s - \gamma_n \sigma_r$; при $n = 1$ $\sigma_r \leq R_s^{\text{вп}}$ – расчетное сопротивление материала верхнего пояса; γ_n – уровень надежности (коэффициент надежности) пояса, равного 1,3.

Для бистальных балок 2-го уровня необходимым и достаточным условием резервирования является условие

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_s^{ct}}{\varepsilon} + \varepsilon_{\text{пл}} &\geq \frac{1,1R_{\text{п}}}{E}; \\ \frac{R_{\text{п}}}{R_s^{ct}} &= 1,4-2,0; \frac{R_{\text{п}}}{\sigma_T^{ct}} &= 1,2-1,4, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где $\varepsilon_{\text{пл}} = 0,0025$, $R_{\text{п}} - \sigma_T^{ct} \geq \frac{1,1R_{\text{п}}}{E}$.

Нормативная надежность или безотказность работы части вертикальной стенки бистальной балки, расположенной выше нейтральной оси поперечного сечения, при $P_i = P_{ct}$ будет равна:

$$P_i = P_{ct} = N_{ct} = N_{cp} - 3,34(1 - n^{-0,26})\sigma_r, \quad (16)$$

где $n = 1$; $\sigma_r = R_S^{ct} - \Delta R_S$; $\Delta R_S = R_{нп} - \sigma_T^{ct}$; $\gamma_{ct} = 1,0$; $N_{cp} = \frac{Q_{нп} S}{J \cdot t_{ct}} = \frac{R_S^{ct} \cdot m \cdot \varkappa_2 \cdot J}{S}$;

$m = 1$; $\varkappa_2 = 1,21 - 1,4$ – коэффициент, учитывающий возможность развития пластических деформаций в крайних фибрах вертикальной стенки на контакте с нижним поясом в момент времени эксплуатационного ресурса [12, 13].

Деформационный критерий поведения вертикальной стенки бистальной балки в стадии резервирования, отражающий степень ограниченной повреждаемости части элемента в зоне сопряжения с нижним поясом по критерию текущей, запишем в виде [14]

$$\left(R_T^{ct}\right)^2 + \frac{8}{9} \frac{1 + \mu}{k_\phi} \left(R_T^{ct}\right)^2 = \frac{2E \cdot K}{t_{ct}}, \quad (17)$$

где R_T^{ct} – расчетное сопротивление стали стенки по пределу текучести; $\mu = 0,45$; k_ϕ – коэффициент формы сечения вертикальной стенки – 0,667–0,75; K – коэффициент неизменности объема материала стенки [10, 14]; t_{ct} – толщина вертикальной стенки.

Условие нормативной прочности и надежности бистальных балок (P_6^p), резервированных одним элементом (нижним поясом) при заданной надежности $P = 0,99$ и $r = 1$, имеет вид

$$\left. \begin{aligned} \Sigma \gamma_{fn} \cdot S_n \cdot \eta_n + \Sigma \gamma_{fg} \cdot S_g \cdot \eta_g \cdot \mu \leq \frac{R_{нп} \cdot m_1 \cdot m}{\gamma_m \cdot \gamma_n}; \\ P_6^p = \left[1 - \left(1 - \Sigma P_i^S \right)^2 \right]^r, \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

где $P_i = P_{вп} = P_{ct} = P_{нп}$ – необходимая надежность элементов бистальной балки,

равная $\left[1 - \left(1 - P^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^r$; S_n, S_g – нормативная постоянная и временная нагрузка;

A – площадь сечения балки, брутто; γ_{fn} – коэффициент надежности по постоянной нагрузке – 1,0; γ_{fg} – коэффициент надежности по временной нагрузке – 1,0; η – коэффициент сочетания нагрузок – постоянных, временных – 1,0; μ – динамическая добавка; $R_{нп}$ – расчетное сопротивление стали нижнего пояса; γ_m – коэффициент надежности по материалу – 1,05; γ_n – коэффициент надежности по назначению – 1,3; n – коэффициент условий работы материала бистальной балки – 0,9; m_1 – коэффициент условия работы стали нижнего пояса – 1,0.

Оценим надежность бистальных балок без резервирования по формуле

$$P_{ij} = 1 - \left[\sum P_i \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (19)$$

При $n = 3$ в бистальной балке с одним элементом резервирования надежность $P_1 = 1 - (1 - P_i)^2 J^n$ в \sqrt{n} больше, чем без резервирования.

Запишем в общем виде вероятность безотказной работы бистальной балки с резервированием в виде [15, 16]

$$P_6^P(t) = 1 - \left(1 - e^{-\lambda_0 t_c} \right)^{n+1}, \quad (20)$$

где $\lambda_0 = \sum_i^n \lambda_i$ – возможная интенсивность отказа любого элемента системы $n+1$; n – количество элементов резервирования для балок 1-го уровня $n=2$; для балок 2-го уровня $n=1$ [3].

Тогда вероятность отказа бистальной балки с резервированием будет

$$Q_{6(t)}^P = \left(1 - e^{-\lambda_0 t_c} \right)^{n+1}, \quad (21)$$

где $t_c = \frac{1}{\lambda_0} \left(1 + \frac{1}{n+1} \right)$ – среднее время вероятности расчетного отказа элемента в системе резервирования.

Для бистальных балок 1-го уровня в зависимости от периода ресурсной надежности среднее время безотказной работы резервированной балки изменится в зависимости от кратности элементов, участвующих в постоянном последовательном процессе резервирования, и в среднем равно 10 годам при выполнении условия

$$\lambda_0 \cdot t = \ln(n+1) = \left(\frac{n}{n+1} \right)^n. \quad (22)$$

Одновременно резервирование значительно улучшает количественные характеристики надежности бистальных балок снижением частоты отказов (плотность вероятности интервала безотказной работы элементов балки) – $a(t)$; интенсивности опасных отказов, способных вывести балку ресурсного периода эксплуатации за предел исправных. Для всех этапов ресурсной надежности с учетом резервирования целесообразно ввести количественные характеристики надежности в виде средней частоты отказов $\lambda_{cp}(t)$, равной отношению числа отказавших элементов в балке к числу замещаемых в работе в стадии резервирования. Например, при резервировании одним элементом (нижним поясом) вертикальной стенки вероятность безотказной работы $P_c(t)_{n=1}$ равна:

$$P_c(t)_{n=1} = (1 - \lambda_0 t)^{n+1}. \quad (23)$$

Тогда вероятность возможного отказа балки снижается до величины $Q_c(t)_{n=1}$, равной

$$Q_c(t)_{n=1} = (\lambda_0 \cdot t)^{n+1}. \quad (24)$$

Пример 1. $t = 10$ лет: $n = 1$; $\lambda_0 \cdot t = 0,25$; $\lambda_0 = 0,02$; $P_c(t) = 0,64$; $Q_c(t) = 0,04$.

Выполняется условие $\lambda_0 \cdot t \leq 0,25$; $e^{-\lambda_0 \cdot t} = 1 - \lambda_0 \cdot t$.

Таким образом, вероятность безотказной работы резервированной бистальной балки больше вероятности безотказной работы нерезервированной, и чем выше кратность резервирования (n), тем выше безотказность (рис. 1).

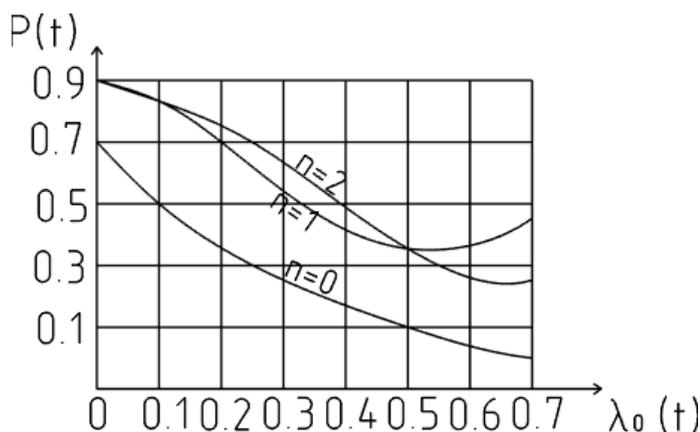


Рис. 1. Вероятность безотказной работы резервированной балки
 Fig. 1. Probability of failure-free operation of redundant beam

Для бистальных балок с резервированием критерием ресурсной надежности будет коэффициент надежности K_n , удовлетворяющий условиям [17], а также $f(t)$ – плотность распределения времени безотказной работы балок пролетных строений \cong нормативному значению, равному 60 лет; $\lambda(t)$ – функция распределения отказов – вероятность того, что в течение времени t в результате определенных обстоятельств произойдет отказ, после которого не будет очередного отказа за счет срабатывания резервирования. Обозначим $V(t)$ – вероятность того, что бистальная балка пролетного строения безотказно проработает определенный интервал времени $t_{cp} = T - t$. Тогда

$$V(t) = \lambda(t) \int_t^T \lambda(t) dt, \quad (25)$$

где $T = \int_0^t \lambda(t) dt$; $\lambda(t) = \frac{t}{T}$.

Пример 2. Решается задача: на сколько участков резервирования (m) следует разбить бистальную балку 1-го и 2-го уровня с вероятностью отказа P_i , чтобы получить надежную ресурсную систему, имеющую как можно меньшую вероятность выхода за предел «исправных» за счет резервирования, а также ве-

роятность возможного отказа элементов резервирования Z с их кратностью, равной 2. Для таких бистальных балок 2-го уровня с нижним поясом из одного листа задача резервирования рассматривается при $m = 1$. В случае, когда нижний пояс выполнен ступенчатым по длине блока или пролета $\frac{L}{3}$, а также составлен из 2–3 листов высокопрочной стали, (m) принимаем > 3 (рис. 2).

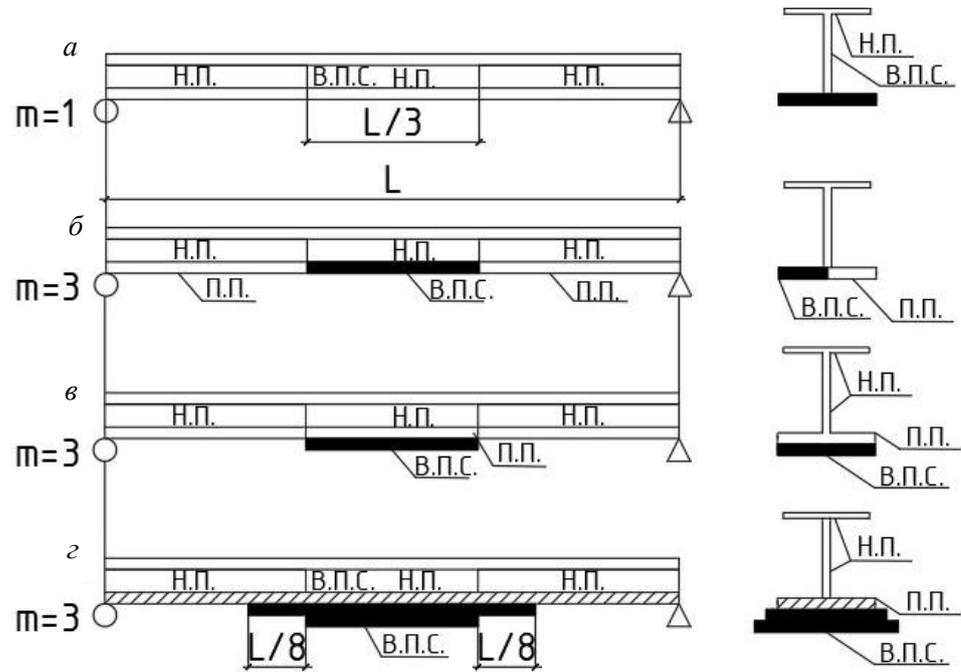


Рис. 2. Бистальные балки 2-го уровня с комбинированным нижним поясом:

НП – сталь нормальной прочности (М16С, 16Д); ПП – сталь повышенной прочности (14Г2, 15ХСНД); ВПС – высокопрочная сталь (10ХСНД, 12Г2СМФ, 14Х2ГМР)

Fig. 2. Composite beams of the 2nd level with combined lower belt:

NP – normal strength (M16S, 16D); PP – higher strength (14G2, 15HSD); VPS – high strength (10HSD, 12G2SMF, 14X2GMR)

Вероятность работы вертикальной стенки в сопряжении с нижним поясом Z_C будет равна: $Z_C = 0$ – есть необходимость в резервировании; $Z_C = 1$ – нет необходимости в резервировании.

Вероятность отказа вертикальной стенки без резервирования будет равна:

$$Q_C = 1 - (1 - P_C^m); P_C = 1 - Z_C. \quad (26)$$

Вероятность отказа всей балки без резервирования будет равна:

$$Q_6 = 1 - [1 - (1 - Z_C)^m]. \quad (27)$$

Количество необходимых участков (m) резервирования бистальной балки 2-го уровня (рис. 2, а) будет определяться по формуле [18]

$$m = \frac{Q_6}{Q_C}(k-1), \quad (28)$$

где k – коэффициент пропорциональности, указывающий число добавочных резервируемых элементов в нижнем поясе (рис. 2), $k=1$ (рис. 2, а); $k=2$ (рис. 2, б, в, г).

Перепишем формулу (28) в виде [19]

$$m = \frac{Q_6}{Z_{\text{ни}}}(k-1), \quad (29)$$

где $Z_{\text{ни}}$ – вероятность нормальной работы нижнего пояса при $Z_{\text{ни}} = 1$.

Для бистальной балки 2-го уровня с компоновкой сечения (см. рис. 2, б, в, г) в виде последовательно соединенных резервированных блоков вероятность отказа балки при отказе одного из блоков будет

$$Q_P = [1 - (1 - Q_i)]^m, \quad (30)$$

где m – число блоков – 3; Q_i – вероятность отказа i -го блока.

При $m = m_1$ – количество блоков в балке с резервированием, справедливо равенство

$$m = \frac{Q_6^P}{Q_i}(k-1), \quad (31)$$

где $k=2$ – коэффициент пропорциональной кратности резервирования.

Тогда

$$Q_i = (k-1) \frac{Q_6^P}{m} \cong \frac{Q_6^P}{m_1}. \quad (32)$$

Запишем отказ вертикальной стенки в блоке бистальной балки в виде

$$Q_C = 1 - (1 - P_C)^m = 1 - [(1 - Z_C)^m]. \quad (33)$$

При $m = 1$; $Z_C = 0$ – отказ вертикальной стенки в блоке (Q_C) пропорционален отказу целого блока Q_i .

Если для бистальных балок 2-го уровня (см. рис. 2, а, б) вероятность отказа определяем по формуле (27), то для балок (см. рис. 2, в, г) величина Q_6^P будет определяться из равенства

$$Q_6^P = m \left[Z_{\text{ни}} + \frac{Q_C}{m} \right]^{k-1}, \quad (34)$$

где $k=2$, $m=1$, $Z_{\text{ни}}=1$.

Таким образом, вероятность отказа для бистальных балок 2-го уровня (см. рис. 2, а, б) увеличивается кратно по сравнению с балками (см. рис. 2, в, г). Минимальная вероятность отказа бистальных балок в зависимости от Z_C , m , k представлена на рис. 3, 4.

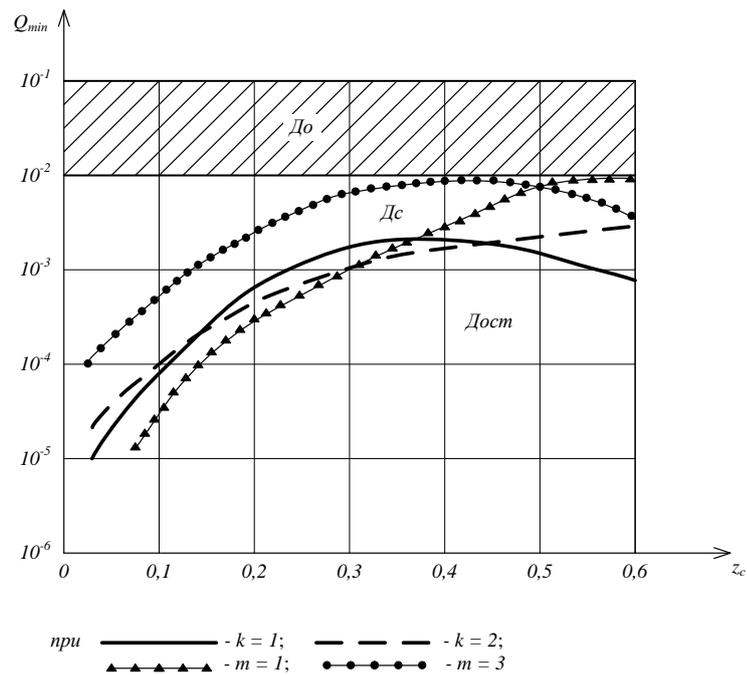


Рис. 3. Минимальная вероятность отказа резервированной бистальной балки в интервале 0–0,1–10 лет

Fig. 3. Minimum failure probability of redundant composite beam in the years 0–0 and 1–10

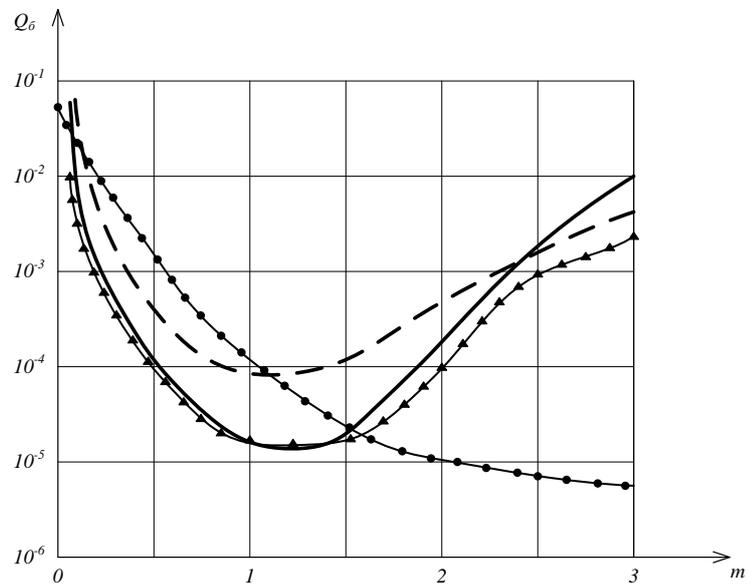


Рис. 4. Вероятность отказа резервированной бистальной балки в зависимости от числа резервных участков m

Fig. 4. Failure probability of reserved composite beam depending on the number m of reserve sections

Функция резервирования бистальных балок должна содержать условия, при которых вероятность выхода балки за предел «исправных» может быть больше, чем вероятность выхода части вертикальной стенки (Q_C) при определенных обстоятельствах. Условно функцию резервирования можно представить в виде

$$Q_P = 1 - (1 - Q_C)^m, \quad (35)$$

где m – число элементов резервирования.

Применительно к сопряжению нижней части вертикальной стенки и нижнего пояса функция отказа Q_C как функция вероятности повреждения запишется в виде

$$Q_C = (1 - Z_C)(1 - Z_{\text{ни}}), \quad (36)$$

где Z_C , $Z_{\text{ни}}$ – вероятность нормальной работы стенки нижнего пояса.

Выводы

Вероятность регулирования и повышения ресурсной надежности бистальных балок пролетных строений мостов в условиях резервирования в процессе длительной эксплуатации является уникальным и необходимым условием. Имитационное моделирование предельного состояния элементов бистальной балки, выполненных из сталей различной прочности, при переходе из одного предельного состояния в другое на основе отображения изменения состояния балки позволяет решать задачу по определению критериев резервирования надежности. Резервирование надежности бистальных балок в случайные отрезки времени рассматривается одним из параметров структурной надежности. Передача усилий и напряжений с элементов, достигших предельного состояния, на элемент с более высокими физико-механическими характеристиками по правилам резервирования аналогично принципу регулирования напряжения¹.

Таким образом, резервирование в бистальных балках повышает показатель ресурсной надежности и технического использования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ. Москва : Либроком, 2013. 579 с.
2. Картопольцев В.М. Применение бистальных балок в пролетных строениях автодорожных мостов : специальность 05.23.15 : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Картопольцев Владимир Михайлович. Ленинград, 1991. 33 с.
3. Картопольцев А.В. Прогнозирование надежности бистальных балок пролетных строений мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 6. С. 169–182.
4. Работнов Ю.Н., Суворова Ю.В. Распространение упругопластических волн в стержнях и балках с учетом запаздывания текучести // Волны в неупругих средах. Кишинев : Редакционно-издательский отдел Академии наук Молдавской ССР, 1970. С. 193–197.

¹ Картопольцев В.М. Исследование бистальных и бисталежелезобетонных балок разрезных пролетных строений автодорожных мостов с применением регулирования напряжения: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ленинград, 1976. 160 с.

5. *Картопольцев В.М.* Бистальные и бисталежелезобетонные балки пролетных строений. Томск : Изд-во Томского университета, 1986. 247 с.
6. *Бебиашвили Ш.Л.* Основные вопросы теории резервирования // Известия Академии наук СССР, ОТН. 1956. № 2. С. 69–74.
7. *Haviland R.P.* Reliability in Guided Missiles // Jet propulsion. 1955. July. V. 25. № 7. P. 91–100.
8. *Болотин В.В.* Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. Москва : Стройиздат, 1982. 351 с.
9. *Болотин В.В.* Применение метода теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений. Москва : Стройиздат, 1978. 105 с.
10. *Потапкин А.А.* Проектирование стальных мостов с учетом пластических деформаций. Москва : Транспорт, 1984. 200 с.
11. *СНиП 2.05.03–84**. Мосты и трубы / Госстрой России. Москва : ФГУП ЦПП. 2005, 239 с.
12. *Рекомендации по проектированию бистальных балок.* Москва : ЦНИИпроектстальконструкция, 1985. 47 с.
13. *Frost R.W., Shilling C.G.* Behaviour of Hybrid Beams Subjected to Static load // Journal ASCE Struktural Div. Proceedigs St3. 1961. June. P. 1383–1401.
14. *Чернов Н.Л., Шебанин В.С.* Особенности расчета бистальных двутавров по критерию предельных пластических деформаций // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1983. № 9. С. 19–24.
15. *Половко А.М.* Основы теории надежности. Москва : Наука, 1964. 446 с.
16. *Raizer V.* Theory of Reliability in Structural Design // AMR. 2004. V. 57. № 1. P. 1–21.
17. *Takaoka N., Shirak W.* Reliability analysis of Structural members composed of several random processes // International Journal of Mechanics Structural. 1984. 1212. P. 151–180.
18. *Сборник задач по теории вероятностей, математической статистике и теории случайных функций / под ред. А.А. Свешникова.* Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар, 2008. 445 с.
19. *Сифоров В.Н.* О методах расчета надежности систем, содержащих большое число элементов // Известия АН СССР ОТН. 1954. № 6. С. 106–110.

REFERENCES

1. *Gnedenko B.V., Belyaev Yu.K., Solovyov A.D.* Mathematical Methods in the Theory of Reliability. The Main Characteristics of Reliability and Statistical Analysis. Moscow: Librokom, 2013. 579 p. (In Russian)
2. *Kartopoltsev V.M.* Composite Beams in Road Bridge Superstructures. PhD Abstract. Leningrad, 1991. 33 p. (In Russian)
3. *Kartopoltsev A.V.* Reliability Prediction of Bridge Bisteel Beams. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture.* 2023; 25 (6): 169–182. (In Russian)
4. *Rabotnov Yu.N., Suvorova Yu.V.* Propagation of Elastic-Plastic Waves in Rods and Beams with Yield Strength Delay. In: *Waves in Inelastic Media.* Kishinev, 1970. Pp. 193–197. (In Russian)
5. *Kartopoltsev V.M.* Composite and Reinforced Concrete Beams of Superstructures. Tomsk: TSU, 1986. 247 p. (In Russian)
6. *Bebiashvili Sh.L.* Problems of Redundancy Theory. *Izvestiya Akademii nauk SSSR.* 1956; (2): 69–74. (In Russian)
7. *Haviland R.D.* Reliability in Guided Missiles. *Jet Propulsion.* 1955; 25 (7): 91–100.
8. *Bolotin V.V.* Probability and Reliability Theories in Structural Analysis. Moscow: Stroyizdat, 1982. 351 p. (In Russian)
9. *Bolotin V.V.* Probability and Reliability Theories in Structural Analysis. Moscow: Stroyizdat, 1978. 105 p. (In Russian)
10. *Potapkin A.A.* Steel Bridge Design with Plastic Strain. Moscow: Transport, 1984. 200 p. (In Russian)
11. *СНиП 205.03–84.* Bridges and Pipes. Moscow, 1986. 210 p. (In Russian)
12. *Streletsky N.N., Leus Yu.Ya., Kartopoltsev V.M., et al.* Recommendations for Composite Beam Design. Moscow, 1985. 47 p. (In Russian)
13. *Frost R.W., Shilling C.G.* Behaviour of Hybrid Beams Subjected to Static Load. *Journal ASCE Struktural Div. Proceedings St. 3.* June 1961. Pp. 1383–1401.

14. Chernov N.L., Shebanin V.S. Composite I-Beam Strength Analysis using the Criterion of Extreme Plastic Strain. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1983; (9): 19–24. (In Russian)
15. Polovko A.M. Fundamentals of Reliability Theory. Moscow: Nauka, 1964. 440 p. (In Russian)
16. Raizer V. Theoru of Reliabilitu in Structural Design. *AMR*. 2004; 57 (1): 1–21.
17. Takaoka N., Shirak W. Reliability Analysis of Structural Members Composed of Several Random Processes. *International Journal of Machanics Structural*. 1984; 1212: 151–180.
18. Sveshnikov A.A. (Ed.) Collection of Problems on Probability Theory, Mathematical Statistics and Theory of Random Functions. Saint-Petersburg; Moscow; Krasnodar, 2008. 355 p. (In Russian)
19. Siforov V.N. Reliability Analysis of Systems with Large Number of Elements. *Izvestiya AN SSSR*. 1954; (6): 106–110. (In Russian)

Сведения об авторе

Картопольцев Андрей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, ООО «ДИАМОС», 634003, г. Томск, пер. Соляной, 24/1, diamos@mail.ru

Author Details

Andrei M. Kartopoltsev, PhD, A/Professor, ООО “DIAMOS”, 24/1, Solyanoy Str., 634003, Tomsk, Russia, diamos@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30.05.2024
Одобрена после рецензирования 13.06.2024
Принята к публикации 16.09.2024

Submitted for publication 30.05.2024
Approved after review 13.06.2024
Accepted for publication 16.09.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 198–211.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 198–211.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.328:539.37

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-198-211

EDN: TPUUFV

АНАЛИЗ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ПОДКЛАДКИ РЕЛЬСОВОГО СКРЕПЛЕНИЯ

**Сергей Иванович Герасимов, Виктор Михайлович Тихомиров,
Анатолий Михайлович Попов**

*Сибирский государственный университет путей сообщения,
г. Новосибирск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Элементы верхнего строения железнодорожного пути преимущественно испытывают переменные во времени эксплуатационные воздействия. Как следствие, это сопровождается зарождением и накоплением в них усталостных повреждений. Дефекты промежуточных рельсовых скреплений достаточно сложно идентифицировать методами дефектоскопии, что может стать причиной разрушения некоторых деталей. В частности, подкладки рельсовых скреплений достаточно часто выходят из строя вследствие недостаточной усталостной прочности.

Данная проблема является *предметом* исследования настоящей статьи. Для проведения анализа усталостной прочности подкладки построена математическая модель ее деформирования, реализованная методом конечных элементов.

В железнодорожном пути стальная подкладка опирается на шпалу через резиновую прокладку. Поэтому для расчетов напряженно-деформированного состояния подкладки выбрана модель плиты переменной толщины, опирающейся на нелинейно-упругое основание. В свою очередь основание моделировалось набором стержней, имеющих нелинейную диаграмму деформирования, параметры которой определялись по результатам испытаний резиновой прокладки на сжатие.

Методы. Разработанная математическая модель реализована в программном комплексе COSMOS, в среде которого проведен конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния подкладки при различных силовых воздействиях: переменная во времени нагрузка со стороны груженого подвижного состава и монтажные усилия от прикрепления подкладки к шпале и к рельсу.

Результаты. По результатам расчета получены параметры циклического нагружения в опасных точках подкладки и проведена оценка ее долговечности при различном значении силовых воздействий. При этом учтена неравномерность осадки пути, а также расстройство болтовых соединений рельсового скрепления. Определено влияние этих факторов на фактические нагрузки, действующие на рельсовое скрепление.

Получено, что ресурс подкладки в основном зависит от значения эксплуатационной динамической нагрузки.

Ключевые слова: подкладка рельсового скрепления, нелинейно-упругое основание, метод конечного элемента, усталостная прочность, долговечность

Для цитирования: Герасимов С.И., Тихомиров В.М., Попов А.М. Анализ усталостной прочности подкладки рельсового скрепления // Вестник Томского

государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 198–211. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-198-211. EDN: TPUUFV

ORIGINAL ARTICLE

FATIGUE STRENGTH ANALYSIS OF RAIL FASTENING BASEPLATE**Sergei I. Gerasimov, Viktor M. Tikhomirov, Anatolii M. Popov***Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia*

Abstract. Superstructural elements of a railway track experience dynamic loads varying over time. As a consequence, this is accompanied by the initiation and accumulation of fatigue damages. Defects in intermediate rail fastening are quite difficult to identify using flaw detection methods, and some can be destructed. In particular, rail fastening baseplates often fail due to insufficient fatigue strength.

Purpose: To investigate the fatigue strength of rail fastening baseplate.

Methodology: Development of the mathematical model of deformation based on the finite element method (FEM). Strength analysis of the baseplate using the model of a variable-thickness slab resting on a nonlinear elastic foundation. The latter is modeled by a set of rods with nonlinear deformation and parameters determined by compression tests of the baseplate. A mathematical model developed in COSMOS software for the FE analysis of the stress-strain state of the baseplate at a time-varying load from rolling equipment and assembly forces from attaching the baseplate to the sleeper and rail.

Research findings: The cyclic loading parameters are obtained at dangerous points of the baseplate and its durability is analyzed at different loads with respect to unevenness of track settlement and failure of bolt connections of rail fasteners. The influence of these factors on actual loads on the rail fastener is determined. It is found that the service life of the baseplate mainly depends on the dynamic load.

Keywords: rail fastening baseplate, nonlinear elastic foundation, finite element method, fatigue strength, durability

For citation: Gerasimov S.I., Tikhomirov V.M., Popov A.M. Fatigue Strength Analysis of Rail Fastening Baseplate. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 198–211. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-198-211. EDN: TPUUFV

Рост интенсивности эксплуатации железнодорожного пути и повышение силового воздействия на него со стороны подвижного состава приводят к увеличению повреждаемости деталей верхнего строения, в частности подкладок рельсового скрепления типа КБ.

Во время эксплуатации подкладки подвергаются воздействию периодически меняющихся нагрузок. Это является причиной зарождения усталостных трещин и разрушения подкладок. Опирающие рельсы на дефектные элементы могут привести к неравномерному давлению на его подошву и выколу ее части.

Разрушение трех подкладок подряд может стать причиной превышения нормативных параметров содержания железнодорожного пути: во-первых, головка рельса может получить большое горизонтальное перемещение, во-вторых, движение состава приводит к местному продольному перемещению рельсов. Несвоевременная замена вышедших из строя подкладок приводит к интен-

сивному расстройству промежуточных креплений соседних шпал, а также к уширению колеи, что создает угрозу безопасной эксплуатации пути. По статистическим данным [1], за период между капитальными ремонтами пути после пропуска 450–500 млн т брутто груза количество изломанных подкладок составляет 180–220 шт/км пути.

Проблеме усталостной прочности подкладок рельсовых креплений на деревянных и железобетонных шпалах посвящены работы многих авторов, использовавших различные методы анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) этих элементов крепления. Обзор таких исследований представлен в монографии Н.И. Карпущенко и Н.И. Антонова [2].

В настоящей работе рассматривается стандартная стальная подкладка КБ 65, геометрия которой представлена на рис. 1. С целью оценки усталостной прочности и установления условий разрушения методом конечных элементов (МКЭ) были проведены численные исследования НДС стальной подкладки.

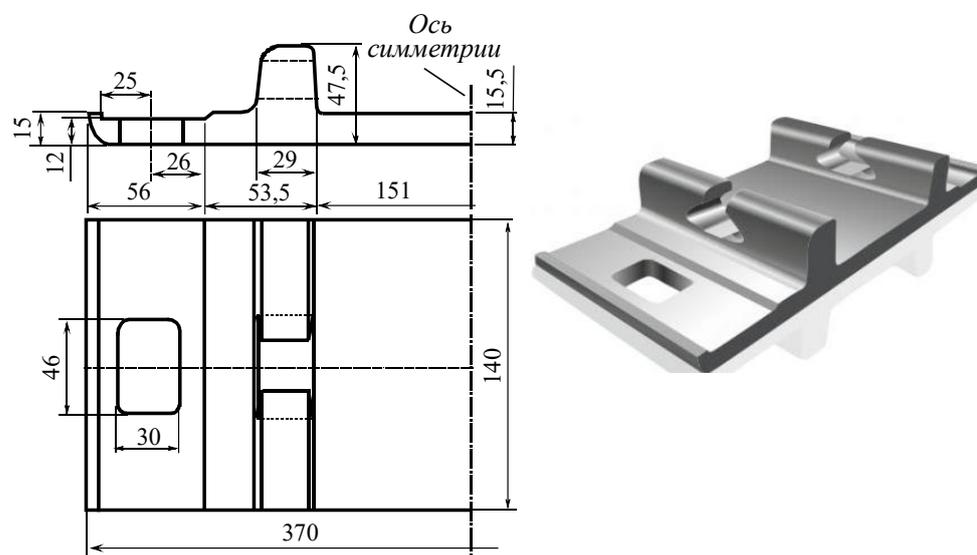


Рис. 1. Геометрия подкладки рельсового крепления КБ 65
Fig. 1. Schematic and 3D view of rail fastening baseplate KB 65

Подкладка КБ 65 является одним из элементов рельсового крепления и в пути опирается на шпалу через резиновую упругую прокладку (рис. 2). В соответствии с этим подкладка рассматривалась как плита переменной толщины на упругом основании. Расчет НДС проводился методом конечных элементов с учетом нелинейности деформирования резиновой прокладки, характеристики которого определены экспериментально в лабораторных условиях.

В процессе эксплуатации на подкладку действуют различные виды нагрузки: постоянные монтажные усилия от закрепления подкладки к железобетонной шпале и к рельсу (рис. 2) и динамическая переменная нагрузка от подвижного состава, которая достигает максимального значения, когда колесо вагона или локомотива располагается над шпалой.

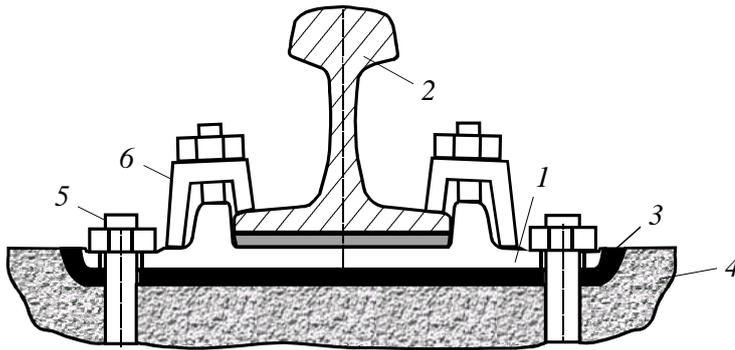


Рис. 2. Вид рельсового скрепления КВ 65:

1 – подкладка; 2 – рельс; 3 – нащпальная прокладка; 4 – железобетонная шпала; 5 – закладной болт; 6 – клемма

Fig. 2. Schematic of rail fastening baseplate KB 65:

1 – baseplate; 2 – rail; 3 – pad; 4 – concrete tie; 5 – insert bolt; 6 – clip

Исследования показывают, что данные силовые воздействия в процессе эксплуатации не остаются постоянными. За счет неоднородности механических характеристик балластной призмы наблюдается неравномерная осадка пути под шпалами, что приводит к увеличению максимального динамического давления на подкладку [3]. Смятие резьбы и «приработка» контактных поверхностей болтовых соединений, а также их постепенное раскручивание от вибрации снижают усилия их первоначальной нормативной затяжки [1]. Поэтому при исследовании усталостной прочности подкладки эти нагрузки варьировались для определения их неблагоприятного сочетания.

Для определения деформационных характеристик резиновой прокладки ЦП-328 были проведены ее испытания на сжатие. На прокладку устанавливался темплет рельса Р65, который имитировал жесткий штамп с площадью контакта $145 \times 150 = 21750 \text{ мм}^2$. Нагрузка на темплет задавалась равными ступенями по 10 кН от нуля до максимального значения 100 кН с помощью гидравлического пресса ПСУ-50. На каждой ступени нагружения индикаторами часового типа измерялась осадка прокладки δ . На рис. 3 представлены результаты испытаний в виде кривой податливости прокладки $P-\delta$.

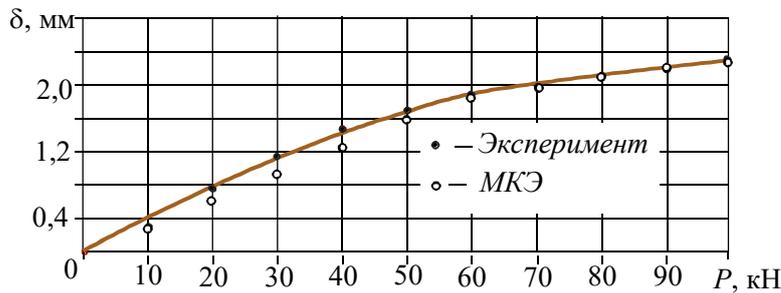


Рис. 3. Кривая деформирования нащпальной прокладки ЦП-328

Fig. 3. Strain curve of TsP-328 pad

Как видно из результатов испытаний, жесткость основания, на которое опирается стальная подкладка КБ 65, существенно зависит от сжимающей нагрузки.

В качестве расчетной модели подкладки рассмотрим модель плиты, опирающейся на упругое основание. Из данных эксперимента следует, что основание имеет нелинейный характер деформирования (рис. 3). Поэтому соотношение между интенсивностью отпора q и прогибом плиты y запишем в следующем виде [4]:

$$q = U(y)y, \quad (1)$$

где $U(y)$ – коэффициент постели, который в нашем случае является функцией прогиба.

На рис. 4 пунктирной линией представлена диаграмма деформирования основания. Здесь: $y = \delta$ – деформация прокладки ЦП-328; q – давление штампа.

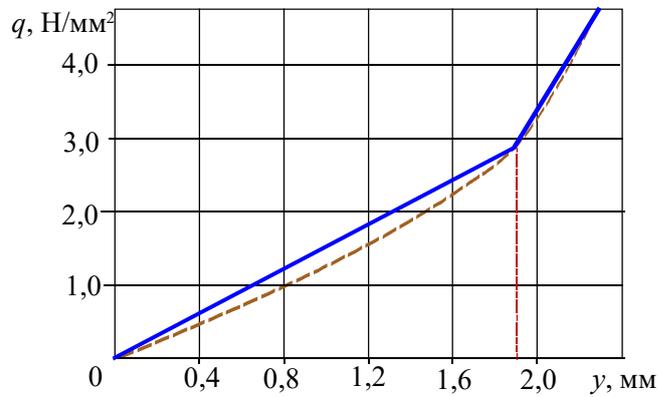


Рис. 4. Билинейная диаграмма деформирования упругого основания
Fig. 4. Bilinear diagram of elastic base deformation

Для простоты моделирования данную диаграмму представим в виде билинейной функции

$$q = \begin{cases} U_1 y, & 0 \leq y \leq 1,85 \text{ мм;} \\ U_2 \left[y + 1,85 \left(\frac{U_1}{U_2} - 1 \right) \right], & 1,85 < y \leq 2,3 \text{ мм.} \end{cases} \quad (2)$$

На рис. 4 график выражения (2) представлен сплошной ломаной линией. При этом граница разбиения на участки соответствует максимальному изменению градиента диаграммы. Здесь первому участку диаграммы соответствует коэффициент постели $U_1 = 1,55 \text{ Н/мм}^3 = 15,5 \text{ МПа/см}$, второму участку – $U_2 = 4,2 \text{ Н/мм}^3 = 42 \text{ МПа/см}$.

Для построения конечно-элементной модели основания используем стержневую модель – каждый конечный элемент плиты, расположенный на контактной плоскости, опирается на четыре стержня.

Для простоты моделирования контактную поверхность плиты разобьем на n одинаковых квадратных конечных элементов, которые передают на стержни

основания одинаковое усилие $P_n = P/n$, которое является равнодействующей давления, собранного с части контактной площади $A_n = A/n$.

Определим жесткость стержневых элементов, которая должна соответствовать коэффициенту постели основания. На каждый стержень, за исключением стержней, расположенных на контуре контактной плоскости плиты, будет приходиться усилие

$$N = qA_n. \quad (3)$$

На стержневые элементы, расположенные на границе контактной поверхности, будет приходиться нагрузка $N_b = 2N$.

Осадка основания у равна деформации опорного стержня. Следовательно,

$$y = \frac{N}{c}. \quad (4)$$

Здесь c – продольная жесткость опорного стержня, которая определяется по формуле

$$c = \frac{E_t A_t}{l_t},$$

где E_t , A_t , l_t – модуль упругости, площадь поперечного сечения, длина опорного стержня соответственно.

Используя уравнения (1), (3) и (4), выразим жесткость стержня через коэффициент постели U :

$$c = UA_n. \quad (5)$$

При моделировании из трех параметров стержня E_t , A_t и l_t два можно задать произвольно, например A_t и l_t . Тогда из формулы (5) получим

$$E_t = U \frac{l_t A_n}{A_t}. \quad (6)$$

В конечно-элементных программных комплексах, таких как COSMOS, нелинейную модель деформирования стержневых элементов описывают, используя диаграмму «напряжение σ – деформация ε ». Ее характеристики будем определять по следующим формулам:

– напряжение в опорном стержне

$$\sigma = \frac{N}{A_t} = \frac{qA_n}{A_t}; \quad (7)$$

– относительная деформация

$$\varepsilon = \frac{y}{l_t}. \quad (8)$$

Для проверки представленной математической модели проведем конечно-элементный расчет тестовой задачи, соответствующей испытанию наспальной прокладки на сжатие. Жесткий стальной штамп будем моделировать параллелепипедом с размерами 150×145×20 мм. Конечно-элементную модель штампа составим из объемных 8-узловых элементов с одинаковыми размерами 5×5×5 мм. Соответственно, контактная площадь каждого элемента $A_n = 25 \text{ мм}^2$.

Определим деформационные характеристики стержней, моделирующих основание. Примем $A_t = 10 \text{ мм}^2$, $l_t = 10 \text{ мм}$ и по формулам (7) и (8) диаграмму $q - y$ (см. рис. 4) преобразуем в диаграмму деформирования стержня $\sigma - \varepsilon$, которая представлена на рис. 5. Здесь $\sigma^* = 7,18 \text{ Н/мм}^2$ – напряжение, где меняется характер деформирования; $E_1 = 38,8 \text{ Н/мм}^2$ и $E_2 = 110,5 \text{ Н/мм}^2$ – модули деформаций на первом и втором участках диаграммы, которые были определены по формуле (6).

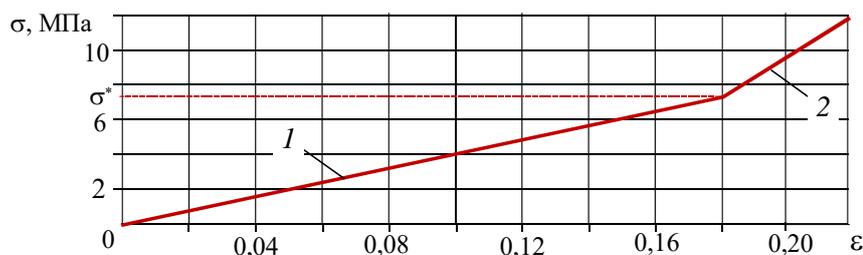


Рис. 5. Билинейная диаграмма деформирования стержневых элементов
Fig. 5. Bilinear diagram of rod deformation

Данные характеристики были использованы для процедуры нелинейного статического расчета в программном комплексе COSMOS [5].

По верхней поверхности штампа прикладывалась равномерно распределенная нагрузка, равнодействующая которой варьировалась в пределах от 0 до 100 кН. Результаты вычислений вертикальных перемещений штампа y показаны на рис. 3 светлыми точками. Видно, что они хорошо соответствуют экспериментальным данным (темные точки).

Проведем анализ напряженно-деформированного состояния подкладки МКЭ. Подкладку будем моделировать по упрощенной геометрии – без вырезов и скруглений. Учитывая симметрию, рассмотрим только одну ее четверть (рис. 6, а) и в программном комплексе COSMOS сгенерируем конечно-элементную сетку данного объекта из одинаковых объемных элементов. По площади контакта подкладки с основанием расположим элементы одинаковых размеров $4 \times 4 \times 4 \text{ мм}$ с площадью контактной грани $A_n = 16 \text{ мм}^2$.

На рис. 6, б показана схема приложения нагрузок. Все нагрузки моделировались равномерным давлением, распределенным по площади контакта подкладки с соответствующими элементами верхнего строения пути.

Максимальное усилие давления рельса на подкладку Q_{max} при движении груженого вагона было определено по стандартной методике расчета пути на прочность [6] с учетом динамического характера нагружения. Расчет был произведен при следующих параметрах движения: нагрузка на ось – 250 кН; скорость движения – 100 км/ч, плотность распределения шпал (эпюра шпал) – 1840 шт/км, модуль подрельсового основания – 114 МПа. Таким образом, было получено $Q_{\text{max}} = 80 \text{ кН}$. Эта нагрузка распределялась по средней части подкладки на площади $A_r = 21140 \text{ мм}^2$ (рис. 6, в), что соответствует давлению $3,59 \text{ Н/мм}^2$.

Монтажные усилия прикладывались по четырем контактными плоскостям (рис. 6, в):

1. Нагрузка от закладных болтов (см. рис. 2) q_b распределялась по площади контакта подкладки с изолирующей втулкой $A_b = 2050 \text{ мм}^2$.
2. Усилия от давления клеммы (см. рис. 2) на подкладку q_{k1} распределялись по площади $A_{k1} = 720 \text{ мм}^2$.
3. Нагрузка со стороны клеммного болта (см. рис. 2) q_{k2} действует на реборду вдоль оси y и распределена по площади $A_{k2} = 667 \text{ мм}^2$.
4. Клемма прижимает рельс к подкладке с усилием q_{k3} , распределенным по средней части подкладки на площади $A_{k3} = A_r$.

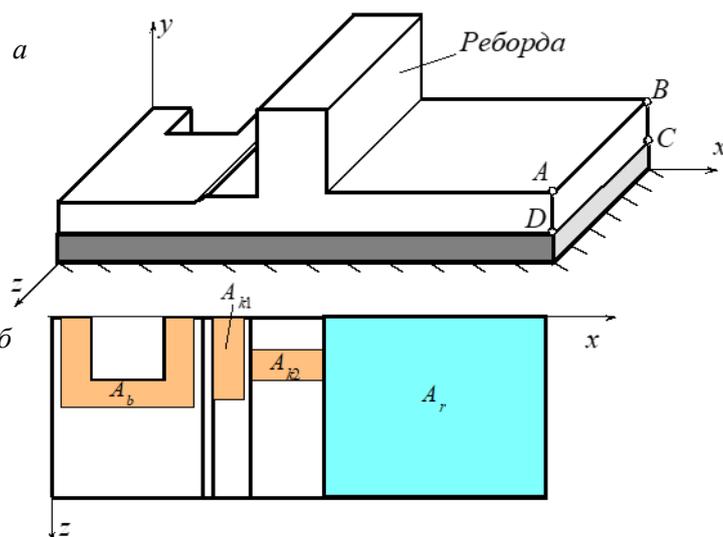


Рис. 6. Модель подкладки:
 а – геометрия модели; б – схема приложения нагрузок
 Fig. 6. Baseplate model:
 а – geometry; б – load application

При нормативной затяжке болтов до 20 кН нагрузки на подкладку составили: $q_b = 9,76 \text{ Н/мм}^2$, $q_{k1} = 13,9 \text{ Н/мм}^2$, $q_{k2} = 30,00 \text{ Н/мм}^2$, $q_{k3} = 0,95 \text{ Н/мм}^2$.

Механические характеристики деформирования стержней, моделирующих основание, были определены по формулам (6) и (7). При $l_t = 10 \text{ мм}$ и площади $A_t = 10 \text{ мм}^2$ они составили: $E_1 = 24,8 \text{ МПа}$, $E_2 = 70,7 \text{ МПа}$, $\sigma^* = 5,3 \text{ МПа}$.

Статический конечно-элементный расчет НДС подкладки был произведен при двух вариантах нагружения:

- нагружение 1 – монтажные усилия q_b , q_{k1} , q_{k2} , q_{k3} .
- нагружение 2 – одновременное приложение монтажных усилий и максимального динамического давления Q_{max} .

Анализ результатов МКЭ показал, что самым опасным сечением в процессе эксплуатации является среднее сечение подкладки (см. рис. 6, а). На рис. 7 представлено распределение напряжений σ_x при втором варианте нагрузки. В этом сечении подкладка испытывает изгиб в двух плоскостях. Максимальный момент достигается в плоскости ux (см. рис. 6, а). Поэтому в дальнейшем анализировалось только распределение нормальных напряжений σ_x в данном сечении.

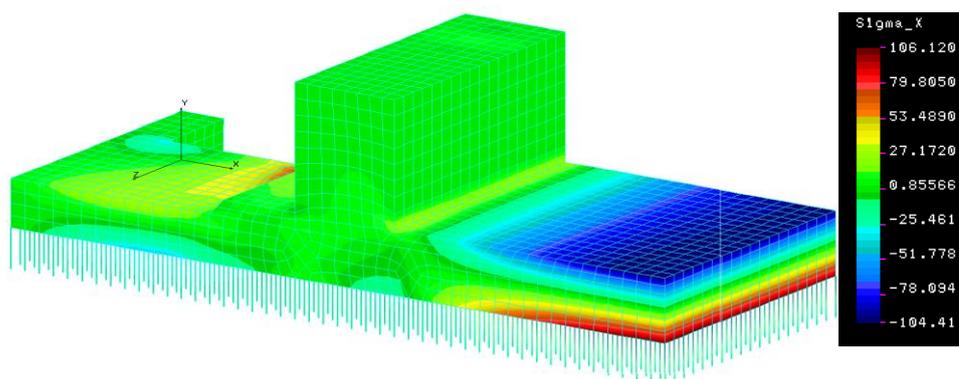


Рис. 7. Распределение напряжений σ_x при усилиях затяжки болтов 20 кН и нагрузке $Q_{\max} = 80$ кН
 Fig. 7. Stress σ_x distribution at 20 kN tightening force of bolt and $Q_{\max} = 80$ kN

При эксплуатации подкладка испытывает переменное циклическое нагружение. В табл. 1 представлены результаты расчета напряжений σ_x и параметров циклического нагружения в точках *A*, *B*, *C*, *D* среднего подрельсового сечения (см. рис. 6, *a*).

Таблица 1

Параметры напряженного состояния в точках опасного сечения при нормативном нагружении

Table 1

Stress-strain state parameters at points of dangerous section under standard loading

Параметры	Напряжения σ_x , МПа			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Нагружение 1	87,0	85,3	-84,5	-89,6
Нагружение 2	-103,6	-100,7	96,9	103,0
Амплитуда цикла σ_a , МПа	95,3	93,0	90,7	96,3
Среднее напряжение цикла σ_m , МПа	-8,3	-7,7	6,2	6,7
Коэффициент асимметрии цикла <i>r</i>	-1,19	-1,18	-0,87	-0,87
Предел выносливости подкладки $\sigma_r^{(D)}$, МПа	-	-	129,3	129,3
Коэффициент запаса по выносливости <i>n</i>	-	-	1,31	1,24

В табл. 1: σ_a – амплитуда цикла:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2};$$

σ_m – среднее напряжение цикла:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2};$$

r – коэффициент асимметрии цикла:

$$r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}.$$

Наиболее опасным является цикл нагружения с максимальной амплитудой, которая наблюдается в точке D , расположенной на нижней поверхности подкладки.

Подкладки КБ 65 в соответствии с требованиями ГОСТ 16277–2016 изготавливаются из углеродистой стали Ст3сп, которая имеет следующие механические характеристики: предел прочности $\sigma_b = 410$ МПа; предел текучести $\sigma_t = 260$ МПа; предел выносливости при симметричном цикле нагружения ($r = -1$) $\sigma_{-1} = 191$ МПа.

В рассматриваемых точках цикл нагружения отличается от симметричного. Поэтому для определения соответствующего предела выносливости воспользуемся формулой Одингга [7]:

$$\sigma_r = \sigma_{-1} \left(\frac{2}{1-r} \right)^{0,5}. \quad (9)$$

Данная зависимость получена при условии, что среднее напряжение цикла $\sigma_m > 0$. Поэтому предел выносливости определен только в точках C и D (табл. 1), где выполняется это условие.

В работе [8] по результатам натурных усталостных испытаний подкладок КБ 65 был определен предел выносливости детали при симметричном цикле нагружения $\sigma_{-1}^{(D)} = 125$ МПа. Зная предел выносливости детали, определим коэффициент запаса по усталостной прочности [9]:

$$n = \frac{\sigma_r^{(D)}}{\sigma_{\max}}. \quad (10)$$

В опасной точке (D) коэффициент запаса составил $n = 1,24$. Это меньше на 29 %, чем нормативный коэффициент $[n] = 1,6$ [10]. Данный результат свидетельствует о недостаточной надежности подкладки по выносливости, т. е. не исключает ее разрушение.

В процессе эксплуатации значение нагрузок изменяется. Во-первых, монтажные усилия вследствие вибраций и смятия резьбы в болтовых соединениях снижаются на 30–40 % [1] по сравнению с нормативными, во-вторых, вследствие неравномерной осадки пути динамическое давление на подкладку со стороны рельса увеличивается. В работе [3] было получено, что осадка грунтового основания под соседней шпалой приводит к увеличению давления на расчетную подкладку на 26 % до $Q_{\max} = 101$ кН. При осадке двух соседних шпал Q_{\max} возрастет до 116 кН.

В табл. 2 представлены результаты расчета параметров напряженного состояния в точке D при монтажных усилиях, соответствующих уменьшенной нагрузке болтовых соединений до 12 кН и $Q_{\max} = 80, 101$ и 116 кН.

Таблица 2

Результаты расчета при различном давлении рельса на подкладку

Table 2

Calculated rail pressure on baseplate

Параметры		Q_{\max} , кН		
		80	101	116
σ_x , МПа	Нагружение 1	-53,6	-53,6	-53,6
	Нагружение 2	141,2	192,0	224,1
Амплитуда цикла σ_a , МПа		97,4	122,8	138,9
Среднее напряжение цикла σ_m , МПа		43,8	30,7	85,3
Коэффициент асимметрии цикла r		-0,38	-0,28	-0,24
Предел выносливости $\sigma_r^{(D)}$, МПа		150,5	156,3	158,8
Коэффициент запаса по выносливости n		1,07	0,81	0,71
Долговечность N , млн циклов		> 20	4,49	2,06
Ресурс до разрушения T , год		-	2,81	1,28

При изменении монтажных усилий коэффициент запаса по выносливости уменьшился до $n = 1,07$, т. е. на 16 %. Следовательно, вероятность разрушения подкладки возрастает.

При увеличении давления на шпалу от груженого состава максимальное напряжение цикла превысило соответствующий предел выносливости. Следовательно, после некоторого срока эксплуатации подкладки в заданном режиме произойдет ее разрушение.

Проведем оценку долговечности N_p и фактического ресурса подкладки T .

На рис. 8 представлена типичная диаграмма выносливости для углеродистых сталей малой прочности, построенная в двойных логарифмических координатах $\lg\sigma_{\max} - \lg N_p$ согласно ГОСТ 25.504-82 [11].

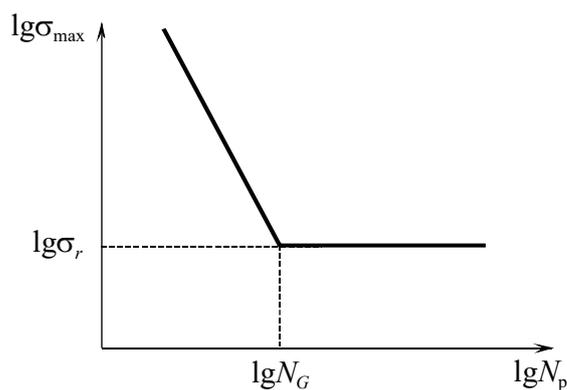


Рис. 8. Диаграмма выносливости для углеродистых сталей

Fig. 8. Fatigue life for carbon steels

Эту зависимость представляют в виде билинейной функции [11]:

$$N_p = \begin{cases} N_G \left(\frac{\sigma_r}{\sigma_{\max}} \right)^m, & \sigma_{\max} \geq \sigma_r; \\ \infty, & \sigma_{\max} < \sigma_r. \end{cases} \quad (11)$$

Здесь N_p – количество циклов нагружения до зарождения усталостной трещины; $N_G \approx 2 \cdot 10^7$ – число циклов, соответствующее точке перелома диаграммы выносливости (см. рис. 8); m – показатель степени.

Долговечность подкладки N_p из стали СтЗсп рассчитаем по эмпирической формуле (11), используя приближенную формулу для определения показателя степени m [11]:

$$m \approx \frac{1}{K_D} \left(5 + \frac{\sigma_g}{80} \right), \quad (12)$$

где K_D – коэффициент снижения предела выносливости детали [9]:

$$K_D = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1}^{(D)}}. \quad (13)$$

Для рассматриваемой детали рельсового скрепления получим $K_D = 1,53$; $m = 6,6$.

Результаты расчета долговечности по формуле (11) представлены в табл. 2.

Определим фактический ресурс подкладки КБ 65, установленной в железнодорожный путь с годовой грузонапряженностью $\Gamma = 80$ млн ткм брутто/км и нагрузкой на ось вагона $P = 25$ т. Для этого применим следующую формулу:

$$T = \frac{2N_p P}{\Gamma}. \quad (14)$$

Результаты расчета ресурса при различном значении Q_{\max} приведены в табл. 2.

Очевидно, что расстройство верхнего строения пути, в виде его неравномерной осадки, приводит к резкому сокращению ресурса подкладки КБ 65.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

Разработана математическая модель подкладки рельсового скрепления как плиты переменной толщины на нелинейно-упругом основании. Нелинейно деформируемое основание представлено стержневой моделью, параметры которой идентифицированы на основе результатов испытаний резиновой прокладки ЦП-328. Разработанный алгоритм проверен на тестовом примере – сжатие прокладки стальным штампом. Результаты показали хорошую сходимость с данными эксперимента.

В среде программного комплекса COSMOS построена конечно-элементная модель подкладки КБ 65, опирающейся на нелинейно-упругое основание.

Проведен статический анализ МКЭ напряженно-деформированного состояния подкладки КБ 65 при нормативных значениях нагрузений: монтажное усилие от закрепления подкладки к шпале и к рельсу и максимальное давление от движения груженого подвижного состава.

Анализ данных численного моделирования показал, что опасным является среднее подрельсовое сечение подкладки, где наблюдается большинство разрушений этих элементов в пути. В точках данного сечения рассчитаны параметры циклического нагружения.

По расчетным параметрам циклического нагружения была проведена оценка усталостной прочности подкладки КБ 65. Получено, что при нормативных нагрузках коэффициент запаса по устойчивости подкладки ниже на 29 %, чем допускаемое его значение.

Установлено, что увеличение давления на подкладку вследствие эксплуатационных дефектов верхнего строения пути, таких как расстройство болтовых соединений и неравномерная осадка балластной призмы, приводит к значительному уменьшению ее ресурса и является вероятной причиной разрушения подкладок рельсовых креплений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лысюк В.С., Желанин Г.Г., Кузнецов В.В. Как повысить надежность пути // Путь и путевое хозяйство. 2002. № 4. С. 8–15.
2. Карпущенко Н.И., Антонов Н.И. Совершенствование рельсовых креплений. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2003. 299 с. EDN: QNQXVP
3. Карелин Т.Д., Полянская А.В., Тихомиров В.М. Влияние неравномерности осадки железнодорожного пути на взаимодействие рельса и шпал // Дни науки 2023 : материалы Регионального форума. Новосибирск, 2023. С. 180–185. EDN: GHCSCH
4. Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. Москва : Стройиздат, 1984. 679 с.
5. Коробейников С.Н. Нелинейное деформирование твердых тел. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2000. 262 с.
6. Карпущенко Н.И., Котова И.А., Осипов В.Г. Расчет пути на прочность, устойчивость и надежность. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2010. 119 с. EDN: QNWMBZ
7. Одинг И.А. Допускаемые напряжения в машиностроении и циклическая прочность металлов. Москва : Машгиз, 1962. 260 с.
8. Альбрехт В.Г. К вопросу о вертикальной жесткости рельсовых креплений // Совершенствование конструкций пути и стрелочных переводов. Москва, 1973. С. 63–77.
9. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. Москва : Машиностроение, 1993. 364 с.
10. Антонов Н.И., Карпущенко Н.И. Расчеты подкладки крепления БПУ при различных конструктивных изменениях // Напряжения и деформации в железнодорожных конструкциях : межвуз. сб. науч. трудов. Новосибирск, 1988. С. 11–18.
11. ГОСТ 25.504–82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. Москва : Изд-во стандартов, 1982. 55 с.

REFERENCES

1. Lysyuk V.S., Zhelanin G.G., Kuznetsov V.V. How to Increase Track Reliability. *Put' i putevoe khozyaistvo*. 2002; (4): 8–15. (In Russian)
2. Karpuschenko N.I., Antonov N.I. Improvement of Rail Fastenings. Novosibirsk, 2003. 300 p. (In Russian)
3. Karelin T.D., Polyanskaya A.V., Tikhomirov V.M. Influence of Uneven Settlement of the Railway Track on Rail-Sleeper Interaction. In: *Proc. Regional Forum 'Science Days'*. Novosibirsk, 2023. Pp. 180–185. (In Russian)
4. Gorbunov-Posadov M.I., Malikova T.A., Solomin V.I. Structural Analysis of Elastic Foundation. Moscow: Sroyzdat, 1984. 678 p. (In Russian)
5. Korobeinikov S.N. Nonlinear Deformation of Solids. Novosibirsk, 2000. 262 p. (In Russian)

6. *Karpuschenko N.I., Kotova I.A., Osipov V.G.* Strength, Stability and Reliability Analysis of Rail Way. Novosibirsk, 2010. 119 p. (In Russian)
7. *Oding I.A.* Permissible Stresses in Mechanical Engineering and Cyclic Strength of Metals. Moscow: Mashgiz, 1962. 260 p. (In Russian)
8. *Albrecht V.G.* Towards Vertical Rigidity of Rail Fastenings In: Improving Track Design and Turnouts. Moscow, 1973. Pp. 63–77. (In Russian)
9. *Kogaev V.P.* Strength Analysis under Time-Varying Stresses. Moscow: Mashinostroenie, 1993. 364 p. (In Russian)
10. *Antonov N.I., Karpuschenko N.I.* Strength Analysis of Rail Fastening Baseplate at Different Design. In: Stress and Strain in Railway Structures. Novosibirsk, 1988. Pp. 11–18. (In Russian)
11. GOST 25.504–82. Strength Analysis and Tests. Methods for Calculating Fatigue Resistance. Moscow: Izd-vo standartov, 1982. 55 p (In Russian)

Сведения об авторах

Герасимов Сергей Иванович, докт. техн. наук, профессор, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, 912267@mail.ru

Тихомиров Виктор Михайлович, докт. техн. наук, доцент, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, twm@stu.ru

Попов Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, 47604@mail.ru

Authors Details

Sergei I. Gerasimov, DSc, Professor, Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, 912267@mail.ru

Victor M. Tikhomirov, DSc, A/Professor, Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, twm@stu.ru

Anatolii M. Popov, DSc, Professor, Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, 47604@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 05.06.2024
Одобрена после рецензирования 09.07.2024
Принята к публикации 16.09.2024

Submitted for publication 05.06.2024
Approved after review 09.07.2024
Accepted for publication 16.09.2024

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.731.8:624.131.221:001.891.573 (292.511)

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-212-224

EDN: WKKHGL

**НАЗНАЧЕНИЕ ГРАНИЦ ТАКСОНОВ,
ОБЪЕДИНЯЮЩИХ ОДНОРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ
ПО ПРИЗНАКАМ ГЕОКОМПЛЕКСА
ПРИ ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ**

**Сергей Владимирович Ефименко, Владимир Николаевич Ефименко,
Мария Владимировна Бадина, Ирина Андреевна Баширова**
*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Существующая схема дорожно-климатического районирования территории бывшего Советского Союза, разработанная в 50-е гг. прошлого столетия, не учитывает особенностей природно-климатических условий ряда регионов, занимающих значительную площадь России, что ограничивает межремонтные периоды эксплуатируемых автомобильных дорог. Современное освоение новых территорий, например огромной по площади Арктической зоны, требует единого методического подхода специалистов различных организаций в выделении в пределах существующих зон однородных по признакам географического комплекса районов, в пределах которых однотипные дорожные конструкции будут характеризоваться одинаковой прочностью и устойчивостью. На сегодняшний день отсутствует единая стандартизованная отраслевая методика дорожно-климатического районирования, обеспечивающая требуемый уровень надежности конструктивно-технологических решений на стадиях проектирования и строительства автомобильных дорог.

Цель работы. Обобщить результаты многолетних исследований, выполненных авторами, на территории 14 административных образований Западно-Сибирского региона.

Результаты. В представленной работе изложена схема таксономического разделения территорий на основе изучения особенностей элементов географического комплекса административных образований Российской Федерации. Данная схема является основой для принятия проектных решений. Показаны различия между расчетными значениями характеристик глинистых грунтов земляного полотна, представленными в действующей нормативной литературе, и результатами экспериментальных исследований на примере территории Омской области.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожно-климатическое районирование, геокомплекс, таксономическая система, дорожная зона, подзона, район

Для цитирования: Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Бадина М.В., Баширова И.А. Назначение границ таксонов, объединяющих однородные территории по признакам геокомплекса при дорожно-климатическом районировании // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 212–224. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-212-224. EDN: WKKHGL

ORIGINAL ARTICLE

TAXON BOUNDARIES UNIFYING HOMOGENEOUS TERRITORIES BY GEOCOMPLEX FEATURES IN CLIMATIC ZONATION

Sergey V. Efimenko, Vladimir N. Efimenko,

Maria V. Badina, Irina A. Bashirova

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Road-building climatic zonation developed in the 1950s for the territory of the former Soviet Union, does not take into account natural climatic conditions of many regions occupying a significant area of Russia, which limits periods between the highway repair. The development of new territories, for example, the vast Arctic zone, requires a methodological approach from various organizations to the areas by the geographical complex, within which the same type of road structures will be characterized by the same strength and stability. To date, there is no unified, standardized methodology of road-building climatic zonation, providing the required level of reliability of structural and technological solutions at design and construction stages of roads.

Purpose: To summarize the results of long-term studies carried out by the authors on the territory of 14 administrative formations of the West Siberian region.

Research findings: Schematic is proposed for taxonomic division of territories based on the elements of the geographical complex of administrative entities of the Russian Federation. Differences between the calculated values of clay soil properties given in normative documents and experimental data, are shown on the example of the territory of the Omsk region.

Keywords: road, climatic zonation, geocomplex, zone, subzone, road district

For citation: Efimenko S.V., Efimenko V.N., Badina M.V., Bashirova I.A. Taxon Boundaries Unifying Homogeneous Territories by Geocomplex Features in Climatic Zonation. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 212–224. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-212-224. EDN: WKKHGL

Среди многообразных и сложных факторов, оказывающих влияние на эксплуатационную надежность автомобильных дорог и, соответственно, затраты на приведение их в требуемое техническое состояние в течение жизненного цикла, специалисты выделяют комплекс географических признаков, определяющий водно-тепловой режим местности и включающий климат, гидрологию, геоморфологию почвы, растительность. Схема деления территории СССР на дорожно-климатические зоны отражена в ряде норм по проектированию, например, НиТУ-128-55, СНиП II-Д.5-72, разработанных в середине прошлого века [1]. За единицу дорожно-климатического районирования был принят таксон «зона» (рис. 1).

Отдавая должное результатам исследовательских работ середины прошлого века по дорожно-климатическому районированию, отмечая их значение для огромной и разнообразной по природным и климатическим условиям территории России, ряд учёных считает, что требования и рекомендации, позволяющие учитывать особенности географического комплекса при проектировании автомобильных дорог, далеко не всегда прошли качественную и достаточную проверку во вновь осваиваемых районах. Сложившийся подход к выделению однородных территорий только по зональным признакам геоконплекса при до-

рожно-климатическом районировании без дополнительного иерархического её деления не позволяет обеспечить требуемый уровень эксплуатационной надежности транспортных сооружений, например, по критерию «работоспособность» [2], поскольку каждая зона территориально распространена в пределах и европейской, и азиатской части России и включает большое разнообразие природных и климатических признаков геокомплекса. Это определяет задачи дорожно-климатического районирования, актуальность которых при освоении новых территорий, например зоны многолетнемерзлых грунтов, очевидна и состоит в разделении её на более мелкие фрагменты, характеризующиеся доминирующими признаками географического комплекса, определяющими особенности протекания водно-теплового режима в дорожных конструкциях. Решение другой, не менее важной, задачи дорожно-климатического районирования направлено на установление расчётных значений характеристик грунтов, применяемых для проектирования земляного полотна и дорожных одежд на территориях вновь выделенных образований (дорожных подзон и районов).

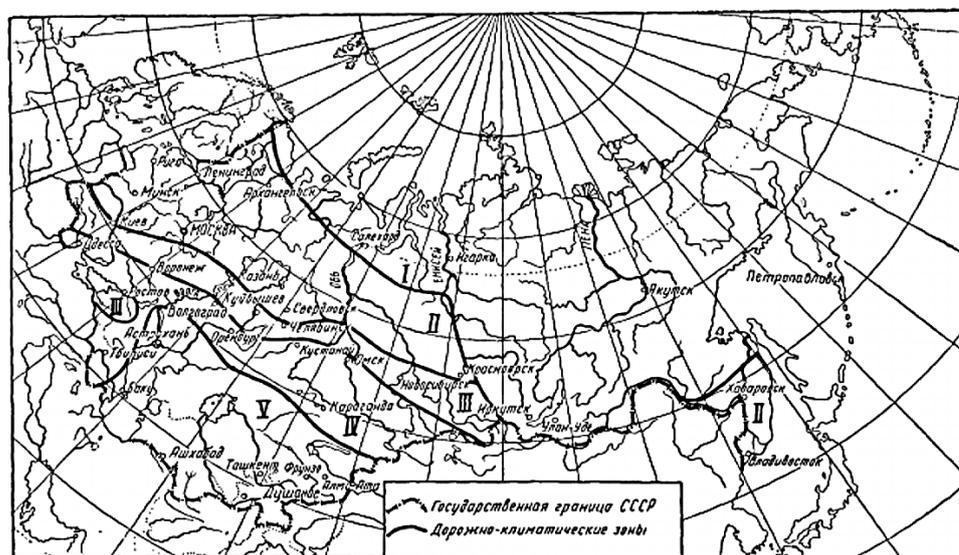


Рис. 1. Схема деления территории СССР на дорожно-климатические зоны, нашедшая отражение в НиТУ 128-55, СНиП II-Д.5-62, СНиП II-Д.5-72

Fig. 1. Scheme of division of the USSR territory into climatic zones, reflected in NiTu 128-55, SNiP II-D.5-62, SNiP II-D.5-72

Необходимость районирования в иерархической, соподчиняющейся системе дорожные «зона – подзона – район» показана в ряде ранее опубликованных работ [3, 4, 5]. При актуализации СНиП 2.05.02–85 схематическая карта, отражающая территориальное распространение дорожно-климатических зон, была уточнена в части некоторого изменения дислокации границ и выделения подзон – в первой, второй и третьей зонах (рис. 2). Разделение территории РФ на подзоны в СП 34.13330.2012 (2021) предлагается учитывать при определении расчетной влажности в расчетах на прочность и морозостойчивость до-

рожных одежд. Более четкое определение понятий «подзона», «дорожный район» в словарях дорожных терминов в настоящее время отсутствует.

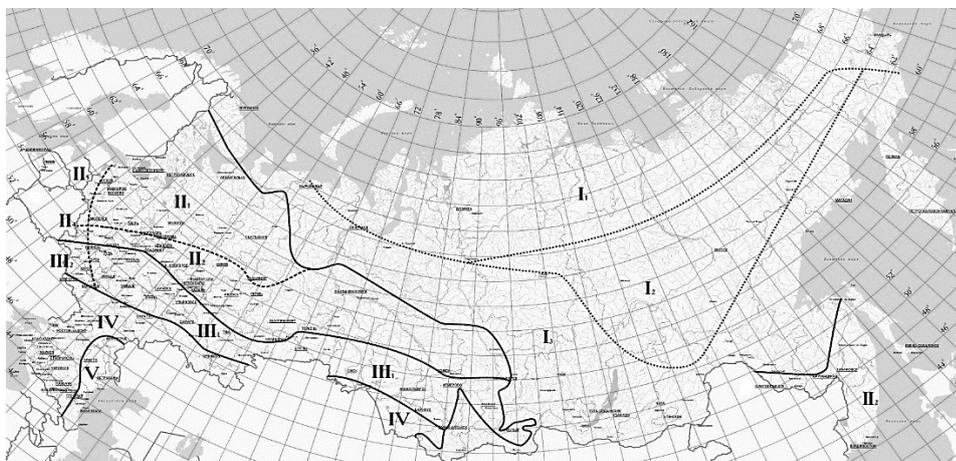


Рис. 2. Схема деления территории РФ на дорожно-климатические зоны – подзоны, нашедшая отражение в СП 34.13330.2012 (2021)

Fig. 2. Scheme of division of the Russian Federation territory into road-building climatic zones reflected in SP 34.13330.2012 (2021)

К сожалению, научно-исследовательские работы по уточнению существующего дорожного районирования в настоящее время в России единичны и бессистемны, хотя теоретико-методические основы для их выполнения достаточно широко представлены в публикациях специалистов в области изучения водно-теплового режима земляного полотна и оснований дорожных одежд автомобильных дорог, например, профессорами И.А. Золотарём, Н.А. Пузаковым, В.М. Сиденко, А.Я. Тулаевым, другими известными учёными и их учениками.

Опыт исследовательской работы в области проектирования и строительства автомобильных дорог в сложных малоизученных природных условиях показывает, что рациональный учет региональных факторов при уточнении дорожно-климатического районирования в районах, характеризующихся слабо-развитой инфраструктурой, должен предусматривать [6]:

- тщательное изучение местных природных условий применительно к территории конкретного административного образования и выявление особенностей зональных факторов по сравнению с ранее изученными условиями. Отмеченный этап работ включает подбор и анализ отраслевого, картографического районирования (климатического, растительного, гидрогеологического, геоморфологического, инженерно-геологического);

- выделение отдельных дорожных районов с присвоением им номеров на основе анализа и обобщений зональных и интразональных признаков внутри существующих дорожно-климатических зон, при необходимости с уточнением характеристик последних. При этом дорожный район представляет собой генетически однородную территорию, характеризуемую типичными, свойственными только ей климатом, геологией, рельефом местности и другими геофизическими элементами;

– учет региональных факторов, отличающихся от других своим специфическим характером и локальным распространением на ограниченных территориях;
– обоснование и назначение (уточнение) для территорий отдельных дорожных районов расчётных значений характеристик грунтов (материалов), конструкций, технических требований и т. д. для проектирования и строительства прочных и устойчивых дорожных конструкций с учётом зональной, интразональной и региональной дифференциации географического комплекса.

Предполагаемая методология исследований направлена на обеспечение качества проектирования транспортных сооружений на основе учёта природно-климатических условий отдельных территорий России. Она состоит из двух стадий комплекса работ [5]. Первая стадия включает операции, направленные на выделение однородных территорий (дорожных районов) в административных образованиях Российской Федерации в таксономической системе дорожные «зона – подзона – район». Реализация операций на этой стадии исследований предполагает три этапа.

Первый этап рассматриваемой стадии работ направлен на формирование информационной базы для моделирования показателями геокомплекса зонального, интразонального и регионального характеров [6, 7]. В пределах реализации первого этапа осуществляют изучение природных условий применительно к территории исследования, например, административного образования. Выявляют особенности зональных, интразональных и региональных признаков (рис. 3). Среди зональных признаков, принятых при формировании базы исходных данных для моделирования элементами природно-климатических условий, выделяют показатели климата, характеризующиеся среднегодовыми значениями, например среднегодовую температуру воздуха, годовое количество атмосферных осадков, высоту снежного покрова, величину испарения с поверхности [8], величину влагообеспеченности территории. Очевидно, что число факторов, характеризующих таксон «зона», может быть расширено. К интразональным признакам отнесены: рельеф местности (равнинный, холмистый, гористый); тип грунта; граница текучести; граница раскатывания; число пластичности; гранулометрический состав (процентное содержание песчаной, пылеватой и глинистой фракций) [9].

Ряд показателей, учитываемых при дорожно-климатическом районировании территорий, определяют на основе полевых и лабораторных исследований применительно к опорным пунктам, при назначении которых учитывают наличие в районе исследования гидрометеорологических станций. Другая часть показателей принята для этих же опорных пунктов по справочным источникам и на основе результатов теоретического моделирования. В качестве опорных пунктов для сбора сведений о признаках географического комплекса в работе приняты населённые пункты на территориях административных образований, например, Томская, Кемеровская, Омская или другие области, края или округа.

Второй этап исследований включает операции по уточнению дислокации границ зон, подзон (дорожных районов) с привлечением информационно-вычислительных технологий. Применяемые при этом алгоритмы выделения дорожных районов, однородных по принятым признакам геокомплекса, учитывают операции над векторами, поэтому исходные для моделирования сведения представ-

ляют в виде матрицы информации [5, 6]. Исходные данные стандартизируют, позиционируя их в виде числовых, безразмерных величин с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией [10]. На основе метода главных компонент процедуры факторного анализа устанавливают главный фактор, комплексно характеризующий территорию дорожно-климатической зоны и соответствующий линейной комбинации признаков, применяемых при моделировании элементами геокомплекса. Главный фактор служит основным критерием в принятии решения относительно территориального распространения того или иного таксона иерархической системы дорожные «зона – подзона – район».



Рис. 3. Элементы информационной базы для целей дорожно-климатического районирования
 Fig. 3. Information base elements for road-building climatic zoning

Далее, по известным значениям фактора в опорных пунктах воспроизводят функцию $\Phi(x, y)$, где x, y – координаты опорного пункта или точки на земной поверхности. В качестве аппроксимирующей функции выбран полином, оценку которого производят методом наименьших квадратов. Затем строят линии уровня функции $\Phi(x, y)$, по которым и определяют границы территорий дорожно-климатических зон. По аналогичной схеме, с учётом признаков интразонального и регионального характера, выделяют подзоны и районы [11].

Третий этап работ включает в себя операции, направленные на региональное представление результатов исследований (осуществление корректировки положения границ дорожных районов, в пределах линий соприкосновения смежно расположенных административных образований) [10, 12]. На этом этапе однородные по доминирующим признакам геокомплекса дорожные районы позиционируют на карте-схеме территории региона, объединяющей по площади земной поверхности несколько административных образований. Необходимость отмеченной операции связана с тем, что картирование положения границ для смежно расположенных территорий, например, административных образований, как правило, не совпадает на пограничных отрезках (случай региональных исследо-

ваний, предполагающих районирование нескольких областных или краевых административных единиц).

Результатом работ, выполняемых в рамках первой стадии методологии исследования, является карта-схема распространения границ дорожно-климатических зон с разделением их на подзоны и однородные по признакам геокомплекса дорожные районы и текстовые комментарии (легенда) с характеристикой территорий, занимаемых административными образованиями. Примером результатов дорожно-климатического районирования может быть карта-схема, приведённая на рис. 4.



Рис. 4. Карта-схема дорожно-климатического районирования территории Омской области: II, III, IV – дорожно-климатические зоны по результатам исследований, выполненных в ТГАСУ; I–4 – номера дорожных районов, выделенных на территории Омской области; P – подзона по типу рельефа (равнинная)

Fig. 4. Schematic map of road-building climatic zonation of the Omsk region territory: II, III, IV – according to research carried out in TSUAB; I–4 – numbers of road districts on the territory of the Omsk region; P – subzone by the relief type (plain)

Благодаря реализации поэтапной работы первой стадии исследования на территории административного образования Омская область выделено три дорожно-климатические зоны (II, III и IV), одна подзона (равнинная) и 8 дорожных районов (от 1 до 4 в зависимости от зоны и подзоны).

Вторая стадия предлагаемой технологии учёта элементов геокомплекса при проектировании транспортных сооружений направлена на обоснование расчётных значений показателей свойств и состояния грунтов, применяемых при строительстве земляного полотна в природно-климатических условиях территорий дорожных районов, выявленных на первой стадии исследований. При этом можно выделить четыре основных этапа исследований [5, 6].

Считаем необходимым особо подчеркнуть, что главной задачей уточнения дислокации границ существующего дорожно-климатического районирования применительно к отдельным регионам России является выделение таких районов, в пределах которых однотипные дорожные конструкции (по категории автомобильной дороги, характеру грунта, наименьшему возвышению поверхности покрытия над уровнем грунтовых вод или длительно стоящих поверхностных вод) будут характеризоваться примерно одинаковой прочностью и устойчивостью. При этом целевое районирование для проектирования и строительства автомобильных дорог дополнительно предполагает установление расчётных значений характеристик грунтов для проектирования конструкций земляного полотна и дорожных одежд, имеющих заданный уровень надёжности, которое осуществляют при реализации второй стадии работ.

Первый этап второй стадии исследований предполагает сбор сведений с целью обоснования расчётных показателей свойств и состояния грунтов земляного полотна, и прежде всего их влажности в природно-климатических условиях местности, занимаемой дорожными районами для проектирования и строительства в пределах территории административного образования. При этом исполнитель может применять значения отдельных характеристик геокомплекса, заимствуя их в справочной литературе. Например, характеристики средних многолетних значений относительной влажности и температуры воздуха, облачности и скорости ветра, количества осадков и высоты снежного покрова, альbedo деятельной поверхности и другие показатели. Часть значений величин, необходимых для формирования информационной базы, устанавливают на основе полевых и лабораторных исследований. Среди таких показателей можно выделить: значения, характеризующие влажность, плотность, прочность и деформируемость широко распространенных грунтов в конкретных условиях водно-теплого режима земляного полотна существующей сети автомобильных дорог, гранулометрический состав образцов грунта, коэффициенты влагопроводности и тепловых величин, другие характеристики. Ряд значений показателей свойств грунтов и материалов дорожных одежд устанавливают, базируясь на результатах теоретического моделирования, согласно ГОСТ Р 71404–2024 и др. [1, 13].

Второй этап второй стадии посвящён изучению состава и свойств грунтов, наиболее широко применяемых при строительстве автомобильных дорог на территории исследования.

Состав работ третьего этапа исследований направлен на изучение связей и закономерностей, определяющих состав и свойства грунтов земляного

полотна в условиях водно-теплого режима, сформированного под влиянием элементов природы и климата, характерных для местности, занимаемой дорожным районом.

К основным факторам, обуславливающим значения прочности и деформируемости грунтов, относят природно-климатические, грунтово-гидрологические условия и, как следствие, влажность грунта земляного полотна и материалов слоёв дорожной одежды [5].

Натурные измерения влажности грунтов земляного полотна, при обосновании расчётных значений, могут быть выполнены как на действующей сети автомобильных дорог путём оборудования стационарных постов наблюдения, так и на специализированных полигонах. Многолетним опытом исследований в этом вопросе обладают США, где с 1950–60-х гг. были начаты исследования на опытных участках в регионах с разными природно-климатическими условиями. Учитывая тот факт, что на территории, например, Российской Федерации сеть автомобильных дорог развита крайне неравномерно, выполнение натурных измерений влажности грунтов земляного полотна возможно далеко не на всех территориях. Кроме того, ограниченный временной промежуток, отведённый на выполнение инженерных изысканий, не всегда позволяет выполнить отбор образцов грунтов в расчётный период года. Поэтому на вновь осваиваемых территориях назначение расчётной влажности грунтов земляного полотна осуществляют в том числе с использованием методов математического моделирования [14].

Для районов Западной Сибири, характеризующихся глубоким сезонным промерзанием и избыточным увлажнением грунтов, наиболее приемлем метод проф. И.А. Золотаря [1, 13], о чем свидетельствуют результаты исследований специалистов Томского государственного архитектурно-строительного университета [5, 6, 15] в Западной Сибири. Методическая схема назначения расчётных характеристик грунтов земляного полотна включает несколько последовательно выполняемых этапов: определение продолжительности периодов осеннего влагонакопления ($\tau_{вл}$) и промерзания ($\tau_{пр}$); установление средней осенней влажности грунта земляного полотна $W^{ос}$ к концу периода осеннего влагонакопления; определение характеристики скорости промерзания (α) грунта рабочего слоя земляного полотна; назначение расчётной влажности грунта земляного полотна $W_{от}$ с учётом миграции влаги при промерзании грунта; установление расчётных значений модуля упругости, угла внутреннего трения и удельного сцепления глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна с учётом зависимостей, полученных по результатам полевых и лабораторных работ [5, 6]. Содержание первого – третьего этапов второй стадии исследований достаточно подробно представлено авторами в работах сотрудников кафедры «Автомобильные дороги» ТГАСУ [11, 15].

Выявленные на основе полевых и лабораторных работ сведения представляют в виде комплекса математических моделей, отражающих функциональные зависимости, например, $E_{гр}$, $\varphi_{гр}$, $C_{гр} = f(W_p)$, соответствующие дорожному району, однородному по доминирующим признакам географического комплекса.

Исследования четвёртого этапа методологической схемы направлены на нормирование расчётных значений характеристик грунта рабочего слоя земляного полотна, применяемых при расчёте дорожных одежд автомобильных дорог

на территориях дорожных подзон (районов), выделенных в пределах административных образований регионов. Расчётные значения характеристик грунтов для проектирования автомобильных дорог оформляют в виде указаний региональных или территориальных нормативно-технических документов, утверждённых в установленном порядке, согласно ГОСТ Р 71404–2024. В таблице приведены расчётные значения характеристик глинистого грунта земляного полотна для района III.P.2 в Омской области (см. рис. 4).

**Расчётные значения характеристик глинистого грунта
земляного полотна (пылеватый тяжёлый суглинок)
применительно к участкам автомобильных дорог
в условиях близкого залегания уровня грунтовых вод
(район III.P.2 в Омской области)**

**Calculated values of clay subgrade soil (dusty heavy loam) properties
for road sections at close groundwater occurrence (area III.R.2, Omsk region)**

Величина коэффициента влагопроводности грунта, см ² /ч	Глубина залегания уровня грунтовых вод от верха земляного полотна, м	Расчётные величины характеристик грунта			
		Весенняя относительная влажность, д. ед.	Модуль упругости, МПа	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, МПа
1,5	0,5	0,691	13,9	16,94	0,055
	1,0	0,624	16,6	20,40	0,067
	1,5	0,651	15,4	18,93	0,062
	2,0	0,631	16,3	20,00	0,066
	2,5	0,521	21,7	27,12	0,092
2,0	0,5	0,705	13,4	16,30	0,053
	1,0	0,635	16,1	19,78	0,065
	1,5	0,568	19,2	23,82	0,080
	2,0	0,536	20,9	26,02	0,088
	2,5	0,525	21,5	26,83	0,090
2,5	0,5	0,718	12,9	15,72	0,051
	1,0	0,644	15,7	19,30	0,063
	1,5	0,574	18,9	23,42	0,078
	2,0	0,541	20,6	25,66	0,086
	2,5	0,53	21,2	26,46	0,089
3,0	0,5	0,73	12,5	15,21	0,049
	1,0	0,653	15,4	18,82	0,062
	1,5	0,579	18,7	23,10	0,077
	2,0	0,545	20,4	25,38	0,085
	2,5	0,533	21,1	26,24	0,088

Сравнивая результаты экспериментальных исследований по определению характеристик прочности и деформируемости глинистых грунтов на территории дорожного района III.P.2 административного образования Омская область

с нормированными значениями, нашедшими отражение в ГОСТ Р71404–2024 (прил. В), можно выделить существенные отличия. Выявлено:

– фактические значения расчётной влажности глинистых грунтов земляного полотна, полученные по результатам исследований авторов, выше стандартизованных на 7–10 % (в зависимости от типа местности по характеру и степени увлажнения) [16];

– нормированные значения модуля упругости ($E_{гр}$) глинистых грунтов земляного полотна, по сравнению с результатами фактических наблюдений на примере территории Омской области, завышены.

За счёт увеличения межремонтных сроков был получен экономический эффект от внедрения рекомендуемой схемы обеспечения качества проектирования автомобильных дорог. По приведённым затратам в текущем уровне цен он составляет около 2 млн руб. на 1 км автомобильной дороги III технической категории [17].

Таким образом, предлагаемая схема дорожно-климатического районирования за счёт учёта региональных природно-климатических условий способствует обеспечению требуемого уровня надёжности конструктивно-технологических решений на стадии проектирования и строительства транспортных сооружений и, как следствие, увеличению их межремонтных сроков.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд* / под ред. А.И. Золотаря [и др.]. Москва : Транспорт, 1971. 415 с.
2. *Повышение надёжности автомобильных дорог* / под ред. И.А. Золотаря. Москва : Транспорт, 1977. 183 с.
3. *Сиденко В.М., Батраков О.Т., Волков М.И. и др.* Автомобильные дороги (Совершенствование методов проектирования и строительства). Киев : Будивельник, 1973. 278 с.
4. *Ярмолинский А.И., Ярмолинский В.А.* Проектирование конструкций автомобильных дорог с учетом природно-климатических особенностей Дальнего Востока. Хабаровск : Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2005. 197 с.
5. *Ефименко С.В., Бадина М.В.* Дорожное районирование территории Западной Сибири. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. 244 с. + 10 л. вкл. + 2 л. прил.
6. *Афиногенов О.П., Ефименко С.В., Афиногенов А.О.* Совершенствование методов проектирования автомобильных дорог на основе дифференциации районирования. Кемерово : ООО «Офсет», 2016. 364 с.
7. *Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Сухоруков А.В.* Формирование информационной базы для целей дорожно-климатического районирования территорий // Сборник ФГУП «РОСДОРНИИ». Дороги и мосты. 2015. № 1 (33). С. 24–44.
8. *Золотарь И.А.* Расчет испарения с поверхности грунтовых оснований в связи с прогнозом их влажностного состояния // Экспериментальные исследования процессов теплообмена в мерзлых горных породах. Новосибирск : Наука, 1972. С. 119–137.
9. *Мотылёв Ю.Л.* Устойчивость земляного полотна автомобильных дорог в засушливых и пустынных районах. Москва : Транспорт, 1969. 230 с.
10. *Ефименко С.В., Черепанов Д.Н.* Методические аспекты регионального уточнения простирающихся линий границ дорожно-климатических зон // Вестник МГСУ. 2013. № 6. С. 214–222.
11. *Бадина М.В.* Обеспечение качества проектирования дорожных конструкций на основе учёта региональных природно-климатических условий (на примере Западной Сибири) : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Омск, 2009. 25 с.
12. *Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Афиногенов А.О.* К уточнению схемы дорожно-климатического районирования территорий на примере районов Западной Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 1 (42). С. 125–134.

13. *Земляное полотно автомобильных дорог в северных условиях* / под ред. А.А. Мальшева. Москва : Транспорт, 1974. 285 с.
14. *Efimenko V., Efimenko S., Sukhorukov A.* Features of road-climatic zoning of territories // *MATEC Web of Conferences*. 2018. V. 143. 01012.
15. *Ефименко С.В., Сухоруков А.В., Ефименко В.Н.* Обоснование расчётных значений характеристик глинистых грунтов Западно-Сибирского региона // *Известия вузов. Строительство*. 2015. № 7. С. 69–77.
16. *Ефименко С.В.* Развитие теоретических положений учета особенностей признаков геоконструкса при формировании региональных норм проектирования автомобильных дорог : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Томск, 2016. 40 с.
17. *Боброва Т.В., Ефименко С.В.* Оценка экономической эффективности учета изменчивости геоконструксов при проектировании дорожных одежд автомобильных дорог // *Вестник СибАДИ*. 2013. № 4 (32). С. 136–140.

REFERENCES

1. *Zolotar I.A., Puzakov N.A., Sidenko V.M.* Hydrothermal Conditions of Earth Bed and Road Covers. Moscow: Transport, 1971. 416 p. (In Russian)
2. *Zolotar I.A. (Ed.)* Road Reliability Improvement. Moscow: Transport, 1977. 183 p. (In Russian)
3. *Sidenko V.M., Batrakov V.M., Volkov M.I.* Highways (Design Improvement and Construction Methods). Kiev: Budivel'nik, 1973. 278 p. (In Russian)
4. *Yarmolinskiy A.I., Yarmolinskiy V.A.* Road Construction Design in the Far East. Khabarovsk, 2005. 197 p. (In Russian)
5. *Efimenko S.V., Badina M.V.* Road Zonation in Western Siberia. Tomsk: TSUAB, 2014. 244 p. (In Russian)
6. *Afinogenov O.P., Efimenko S.V., Afinogenov A.O.* Road Design Improvement by Zonation. Kemerovo, 2016. 364 p. (In Russian)
7. *Efimenko S.V., Efimenko V.N., Sukhorukov A.V.* Database Formation for Road-Building Climatic Zonation. *Dorogi i mosty*. 2015; 33: 25–42. (In Russian)
8. *Zolotar I.A.* Calculation of Evaporation from Soil Foundation Surface with Regard to their Moisture State. In: *Experimental Studies of Heat Exchange Processes in Frozen Rocks*. Novosibirsk: Science, 1972. Pp. 119–137. (In Russian)
9. *Motylev Y.L.* Subgrade Stability in Arid and Desert Areas. Moscow: Transport, 1969 230 p. (In Russian)
10. *Efimenko S.V., Cherepanov D.N.* Methodological Aspects of Regional Clarification of Road-Building Climatic Zone Boundary. *Vestnik MGSU*. 2013; 6: 214–222. (In Russian)
11. *Badina M.V.* Quality Assurance of Road Design in Regional Natural and Climatic Conditions (Western Siberia). PhD Abstract. Omsk, 2009. 25 p. (In Russian)
12. *Efimenko S.V., Efimenko V.N., Afinogenov A.O.* The Outline of Road Building Climatic Zoning in Western Siberia. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014; 1(42): 125–134. (In Russian)
13. *Malyshev A.A. (Ed.)* Roadbeds in Northern Conditions. Moscow: Transport, 1974. 279 p. (In Russian)
14. *Efimenko V., Efimenko S., Sukhorukov A.* Road-Climatic Zoning of Territories. *MATEC Web of Conferences*. 2018; 143: 01012.
15. *Efimenko S.V., Sukhorukov A.V., Efimenko V.N.* Justification of Calculated Values of Clayey Soil Parameters in the West Siberian region. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2015; 7: 69–77. (In Russian)
16. *Efimenko S.V.* Development of Theoretical Provisions for Geocomplex Features in Road Design Regulations. DSc Abstract. Tomsk, 2016. 40 p. (In Russian)
17. *Bobrova T.V., Efimenko S.V.* Assessment of Economic Efficiency of of Geocomplex Variability in Road Pavement Design. *Vestnik SibADI*. 2013; 4(32): 136–140. (In Russian)

Сведения об авторах

Ефименко Сергей Владимирович, докт. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, svefimenko_80@mail.ru

Ефименко Владимир Николаевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

Бадина Мария Владимировна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, mvbadina@yandex.ru

Баширова Ирина Андреевна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, izgolich@mail.ru

Authors Details

Sergey V. Efimenko, DSc, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, svefimenko_80@mail.ru

Vladimir N. Efimenko, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia.

Maria V. Badina, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, mvbadina@yandex.ru

Irina A. Bashirova, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, izgolich@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 24.09.2024
Одобрена после рецензирования 02.10.2024
Принята к публикации 03.10.2024

Submitted for publication 24.09.2024
Approved after review 02.10.2024
Accepted for publication 03.10.2024

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 5. С. 225–235.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (5): 225–235.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.21.014.072-027.45

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-225-235

EDN: XCIHNG

К ВОПРОСУ ОГРАНИЧЕННОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ НЕСУЩИХ БАЛОК МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ

Александр Аверьянович Алексеев

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

Аннотация. *Актуальность.* Рассматривая ограниченную долговечность как свойство конструкции непрерывно сохранять работоспособность в течение ресурсных пределов времени в условиях случайной интенсивности нагруженности элементов балки, происходящих в процессе эксплуатации, автором предложено определение ресурса как основного критерия долговечности на уровне вероятностей возможного отказа и разрушения отдельных элементов моста или балки в целом.

Цель работы. Разработать методы, определяющие долговечность, на основе анализа повреждений, представляющих собой случайный, нестационарный процесс нагружения. Автором предлагается кумулятивная модель квазимонотонного процесса накопления повреждений и формы отказа элементов балки.

Результаты. Получены результаты расчета процесса накопления повреждений в балках. Процесс рассматривается как квазимонотонный. Выражены зависимости величин нагруженностей от напряжений, включая этапы изменения вероятностных характеристик не только материалов конструкции, но и уровней изменения режимов нагружения от роста повреждений. Ограничения долговечности балок пролетных строений оцениваются как номинальными напряжениями, так и суммарными повреждениями в более опасном сечении.

Ключевые слова: долговечность, надежность, ремонтпригодность, остаточный ресурс, срок службы, физический износ

Для цитирования: Алексеев А.А. К вопросу ограниченной долговечности несущих балок металлических пролетных строений мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 5. С. 225–235. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-225-235. EDN: XCIHNG

ORIGINAL ARTICLE

TOWARD LIMITED DURABILITY OF LOAD-BEARING BEAMS OF METAL BRIDGE SPANS

Aleksandr A. Alekseev

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The paper considers the limited durability as a structural property which continuously maintains operability during certain time under random loading of beam elements and proposes the definition for durability as the main criterion of failure and destruction of beam elements or beam as a whole.

Methodology: Structural analysis; cumulative model of quasi-monotonic damage accumulation and failure of beam elements.

Purpose: To develop methods to determine the durability based on damages representing a random, non-stationary loading process.

Research findings: The damage accumulation is calculated for beams. The process is considered as quasi-monotonic. Stress-strain curves are obtained, including changes in probabilistic characteristics of not only structural materials, but also loading modes from the damage growth. The durability limitations of span girders are estimated both by nominal stresses and total damage in the more dangerous section.

Keywords: durability, reliability, reparability, residual life, service life, physical wear

For citation: Alekseev A.A. Toward Limited Durability of Load-Bearing Beams of Metal Bridge Spans. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (5): 225–235. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-5-225-235. EDN: XCIHGD

Ограниченная долговечность определяется как свойство конструкции пролетных строений мостов сохранять ресурсную работоспособность до предельного состояния, характеризуемого параметрами расчетной грузоподъемности, служебным и остаточным ресурсом, а также фактором ремонтпригодности, и может быть представлена функцией вида

$$\varnothing = D_p - D_t, \quad (1)$$

где D_p – повреждения элементов балки, способствующие разрушению; D_t – накопление повреждений за время эксплуатации.

Параметр D_t в формуле (1) обозначает преимущественное воздействие образовавшихся повреждений, возрастающих в основном не только за счет проявления морального и физического износа конструкции, но и динамического воздействия временной подвижной нагрузки [1, 2, 3]. Уравнение (1) характеризует момент нестабильности из-за равенства освобождающейся части энергии деформации и энергии, связанной с работой поверхностного натяжения. Энергетический подход эквивалентен анализу интенсивности напряжений, согласно которому разрушение наступает в тот момент, когда в материале элементов балки пролетных строений достигают критической формы распределения напряжений по сечению.

Теория линейной механики разрушения позволяет для оценки ограниченной долговечности элементов конструкции найти и оценить командные де-

факты, нагруженность и их напряженное состояние, представляемые зависимостью Ирвина в виде [4]

$$K^2 = E \cdot \Theta, \tag{2}$$

где K – критический показатель интенсивности напряжений, равен $\sigma_i \sqrt{k_\phi \cdot \gamma}$; Θ – энергетический критерий изменения напряженного состояния в связи с проявлением командного дефекта, равен $\sigma_T \cdot \mathcal{D}$; k_ϕ – параметр формы поперечного сечения балки; γ – критерий нормальной надежности балки; \mathcal{D} – параметр дефектности в случае предельного состояния $\mathcal{D} = \frac{\pi \sigma_i}{E \sigma_T}$, $\sigma_i > \sigma_T$.

Ограничения долговечности рассматриваются в функции поэтапной вероятности безотказной работы J -кривой в координатах $\lambda - t$ и $P(t) = \frac{d\lambda}{dt}$ со следующими нормируемыми показателями: \mathcal{D}_0 – период приработки; T_0 – 5–15 лет; $U = 3$ – индекс ресурсной надежности; $P(t) = 0,998$ – показатель надежности; \mathcal{D}_c – эксплуатационный служебный период, равный $T_0^c = 15$ –25 лет; $U = 1,3$; $P(t) = 0,99$. Потеря ресурсной надежности $\lambda_c = 20$ –25 %; \mathcal{D}_{oc} – ограниченная долговечность по остаточному ресурсу; \mathcal{D}_{oc} с показателем $T_0^{oc} = 8$ –12 лет; $U = 1,1$; $P(t) = 0,89$; $\lambda_{oc} = 10$ –12 % (рис. 1).

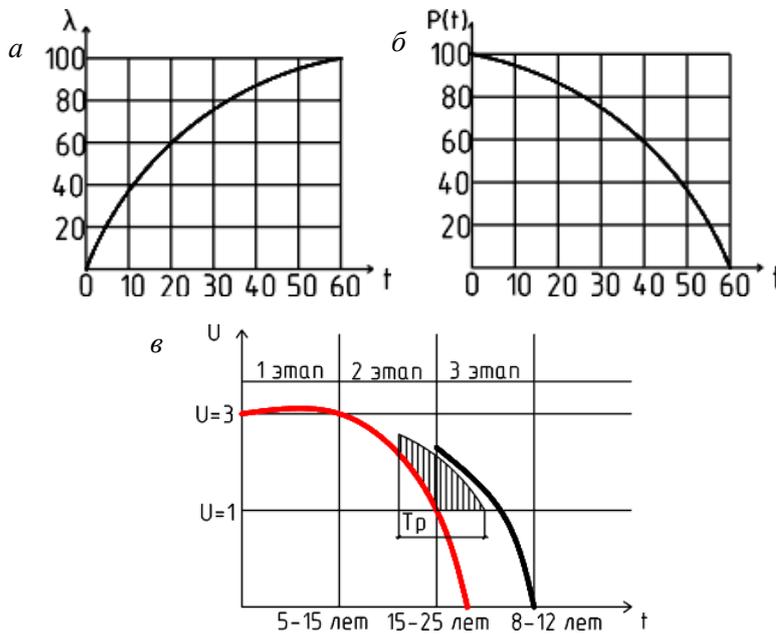


Рис. 1. Вероятность безотказной работы несущих балок пролетных строений в координатах: $a - \lambda - t$; $b - P(t) - t$; $c - U - t$
 Fig. 1. The probability of failure-free operation of load-bearing beams in coordinates: $a - \lambda - t$; $b - P(t) - t$; $c - U - t$

Резерв увеличения срока службы T_p определяется по уравнению

$$U = \left[e^{a(t-T_0^i)} - 1 \right] 100 \% ,$$

где T_0^i – время ресурсного периода [5]; t – эксплуатационный период; a – коэффициент качества изготовления, монтажа и эксплуатации пролетного строения [6, 7].

Несмотря на многообразие факторов, воздействующих на балки пролетных строений металлических мостов и влияющих на ограниченную долговечность и в целом на надежность, главными из них, определяющими долговечность элементов и балки в целом, являются действующие временные подвижные нагрузки, вызывающие разные уровни нагруженности, плотность вероятности их распределения в условиях стационарных и нестационарных случайных процессов.

Рассматривая эффективный период как показатель ограниченной ресурсной долговечности T_c случайной величины, запишем равенство вида

$$T_c = \frac{2\pi}{K} \left[\int_0^p \frac{P(N) ds}{N(s)} \right]^{-1} \text{ лет,} \quad (3)$$

где $N(s)$ – размах нагруженности элементов балки, равный $N\left(\frac{Z}{s}\right)^m$; m – показатель степени [5]; s – показатель нагруженности элементов; Z – надежность элементов; $P(N)$ – функция долговечности, которая выражается формулой

$$P(N) = e^{-\lambda t}. \quad (4)$$

Тогда условие ограниченной долговечности можно записать в виде неравенства

$$\frac{1}{N(s)} \leq \frac{K \cdot t}{2\pi}. \quad (5)$$

Величина $N(s)$, формула (3) не должна быть больше предельных напряжений в элементах балки, характеризующих несущую способность или безотказность балки. В рамках предельных состояний аналогично условиям Болотина – Потапкина величину $N(s)$ представим в виде неравенства [8]

$$N(s) \leq \frac{1}{\gamma} \emptyset, \quad (6)$$

где γ – коэффициент надежности; \emptyset – обобщенная функция технико-эксплуатационных параметров [9].

Среднеарифметическое значение размахов напряжений с математическим ожиданием $m_x = \sum_{i=1}^k x_i \cdot n_i / n$, и среднеквадратичным отклонением для оценки дисперсии напряжений σ_x , и доверительной вероятностью 0,95–0,99 будет определяться из выражения

$$\sigma_x = \sqrt{\mathfrak{D}_x} = \sqrt{\frac{\bar{\eta}}{\eta} - (m_x)^2}, \quad (7)$$

где k – число уровней размахов нагруженности; \mathfrak{D}_x – дисперсия распределения (среднее значение квадрата отклонения); η – число размахов нагруженности с напряжениями среднего уровня; $\bar{\eta}$ – число размахов нагруженности с напряжением максимального уровня.

При известных отношениях $N(s)$ и динамическом воздействии нагрузки за период $T_0 = 7$ лет и $\frac{\bar{\eta}}{\eta} = 1,4$ значение ограниченной долговечности в стадии вероятностного достижения предельного состояния определяем по формуле [10]:

$$P(N) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - m_i)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (8)$$

где x_i – частота отношений $\frac{\bar{\eta}}{\eta}$ размахов нагруженности.

На рис. 2 приведены графики, изменения размахов напряжений в балках металлических мостов, отражающие реальные технико-эксплуатационные состояния пролетных строений.

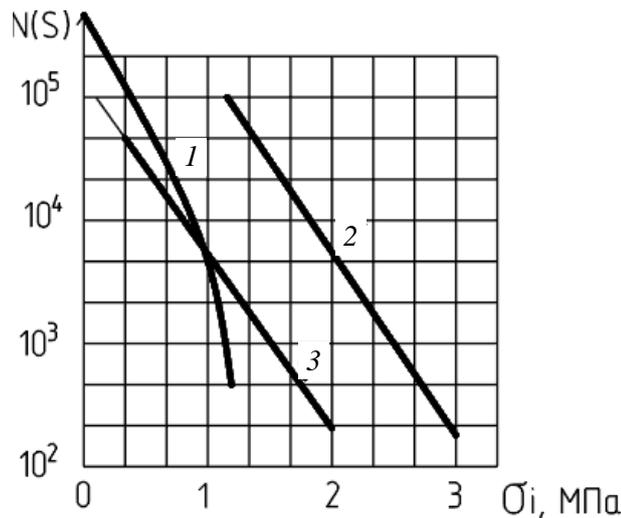


Рис. 2. Графики размахов $N(S)$ напряжений в несущих элементах металлических мостов: 1 – для пролетов > 60 м; 2 – для пролетов 42–60 м; 3 – для пролетов > 80 м

Fig. 2. $N(S)$ stress range in load-bearing elements of metal bridges: 1 – for spans > 60 m; 2 – for spans of 42–60 m; 3 – for spans > 80 m

Вероятность безотказной работы балки на протяжении ресурсного периода T_0^c представим в виде выражения [11, 12]:

$$P_{T_0^c} = P_{ТС} \cdot P_{МН}, \quad (9)$$

где P_{TC} – вероятность ненаступления отказа по техническому состоянию пролетного строения в ресурсный период T_0^c ; P_{MH} – вероятность ненаступления отказа пролетного строения по моральному износу.

Обозначим P_H^{TC} и P_Φ^{TC} ; P_H^{MH} ; P_Φ^{MH} – нормативные и фактические показатели надежности соответственно технического состояния и морального износа. Тогда выражение (9) запишем в виде

$$P_{T_0^c} = P\left(P_\Phi^i > M_{MH}^i\right) \text{ при } t \leq T_0. \quad (10)$$

В условиях возрастающего воздействия временных подвижных нагрузок и случайности характера эксплуатации моста критерий долговечности не является абсолютным и исчерпывающим, т. к. прочность материала и конструкции балок уменьшается со временем по экспоненциальному закону надежности

$P(t) = e^{-\lambda t} \approx \frac{1}{e}$, где e – функция экспоненциального закона распределения; λ –

опасность отказов несущих элементов балки, равная $\sum_{i=1}^m N_i \lambda_i$; λ_i – опасность

отказа элемента в балке; N_i – число элементов в балке; m – число типов эле-

ментов в балке. В качестве примера примем: $\lambda_i = \frac{1}{T_{cp}}$ и $t = T_c$; в результате по-

лучим: $P_c(t) = \frac{1}{e} \approx 0,37$.

При экспоненциальном законе распределения долговечности по ресурсным периодам со средним временем безотказной работы T_c вероятность безотказной работы балки уменьшается до 0,37.

Таким образом, в целях прогнозирования ограниченной долговечности в пределах периода $T_c = t_{cp}$ вводится коэффициент K_i , учитывающий увеличение опасности отказов элементов балки, аналогично коэффициенту нагруженности, равному $\frac{\bar{\eta}}{\eta}$, t_{cp} – среднее время безотказной работы.

Вероятность безотказной работы несущих элементов пролетного строения в течение ресурсного периода представлено выражением

$$P_c(t) = K_i e^{-\lambda_i t}. \quad (11)$$

При равенстве $\lambda(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{(t-T_c)^2}{2\sigma^2}}$ и $\sigma = \sqrt{\frac{\bar{\eta}}{\eta} - (m_x)^2}$ график распределе-

ния отказов несущих балок пролетного строения во времени представлен на рис. 3, $t_c = \frac{\sigma_x}{\sqrt{\frac{\pi}{2}}}$; $\lambda_i(t) = \frac{\pi}{2\sigma_x^2}$.

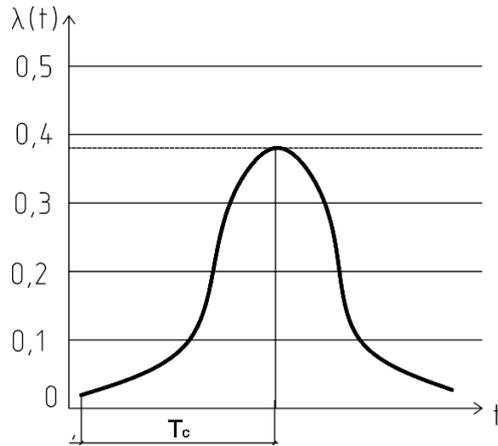


Рис. 3. График распределения отказов (по Релею)
 Fig. 3. Failure distribution (by Relay)

Зависимости $T_c - t$; $\lambda(t) - t$; $\frac{1}{\lambda} - t$ представлены на рис. 4.

Вероятностно-статистический подход в прогнозировании ограниченной долговечности несущих элементов пролетных строений по критерию пригодности к нормальной эксплуатации основывается на рассмотрении многообразия форм процессов физического и морального износа конструкций, а нередко их совместного проявления при возникновении, накоплении и развитии повреждений [14, 15].

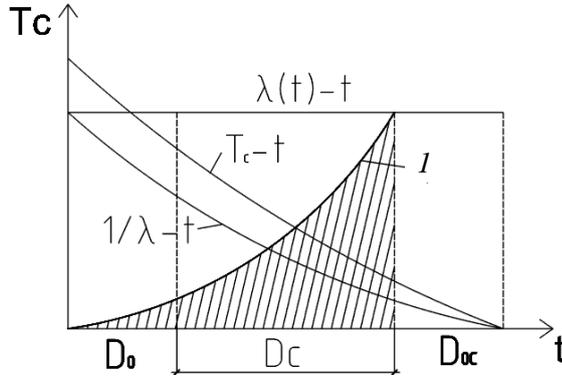


Рис. 4. Зависимость $T_c - t$, $\lambda(t) - t$, $\frac{1}{\lambda} - t$ для экспоненциального закона распределения случайных величин:

$\frac{1}{\lambda}$ – вероятность безотказной работы; I – средний срок безотказной службы металлических пролетных строений – 25–30 лет [13]

Fig. 4. Dependence $T_c - t$, $\lambda(t) - t$, $1/\lambda - t$ for the exponential distribution law of random variables: $1/\lambda$ – probability of trouble-free operation; I – average uptime of metal superstructures (25–30 years) [13]

Обозначим износ элементов балки за ресурсный период через λ_{σ} , и относительную долговечность T_y запишем в виде

$$\lambda_0 = \frac{-\ln T_y}{t}, \quad (12)$$

где $T_y = e^{-\lambda_0 t}$; t – ресурсный период эксплуатации.

Тогда величина износа балки за счет повреждений (λ_{σ}) будет равна

$$\lambda_{\sigma} = \alpha(1 - e^{-\lambda_0 t}), \quad (13)$$

где α – безразмерный параметр дефектности пролетного строения [16, 17].

Параметр дефектности несущих балок по результатам длительных наблюдений может быть принят равным 0,15–0,35 на протяжении 25–30 лет эксплуатации. Ограниченная долговечность λ_{σ} после логарифмирования по t примет вид

$$\lambda_{\sigma} = -\ln e^{-\lambda_0 t}. \quad (14)$$

Время возможного выхода балки пролетного строения в течение ресурсного периода за предел исправных будет определяться из выражения $t = \frac{0,5}{\lambda_{\sigma}}$.

Например: при $t \geq 10$ лет $\lambda_{\sigma} = 0,75$, $a = 0,3$.

Используя для оценки состояния балок пролетных строений мостов в зависимости от износа коэффициент надежности $\gamma_0 = \gamma_m \cdot \gamma_f \cdot \gamma_n$; где $\gamma_m = 1,24$; $\gamma_f = 1,2$; $\gamma_n = 1,0$, получим коэффициент относительной ограниченной долговечности: удовлетворительное состояние – 0,9; неудовлетворительное – 0,67; аварийное – 0,5.

В связи с этим формула (13) примет вид

$$\lambda_{\sigma} = \alpha \cdot \gamma_0 \cdot t^n, \quad (15)$$

где n – показатель степени эксплуатации пролетных строений моста, принимается 0,47–0,54.

Процесс износа балок пролетных строений рассматривается как случайный в условиях, где статистические характеристики зависят от конструктивно-технологических и эксплуатационных условий. Тогда связь между износом и скоростью износа в ресурсный период можно представить выражением

$$\lambda_{\sigma} = \sum_{i=1}^n V_{\lambda} \cdot k^{(i-1)}, \quad (16)$$

где V_{λ} – скорость i -го процесса износа (повреждения); k – адаптационный коэффициент [18]; i, n – количество факторов, влияющих на износ.

Обозначим T_c^0 за начальное ограничение долговечности балки ресурсного периода, а скорость изменения V_λ запишем в виде

$$V_\lambda = \frac{dT_c^c}{dt}; \quad T_c^0 = T_c - \gamma_{\text{ср}} \cdot t^m, \quad (17)$$

где $\gamma_{\text{ср}} = \gamma_0 + \beta \cdot t$, β – коэффициент ускоренного процесса изменения остаточного ресурса долговечности [19, 20].

Выводы

Ограниченную долговечность несущих балок пролетных строений целесообразно рассматривать в качестве временной функции ресурсной надежности при воздействии известной или случайной интенсивности нагруженности в процессе эксплуатации.

Прогнозирование ограниченной долговечности с учетом воздействия ряда факторов технологического и износостойкого поведения элементов в конструкции сводится к определению запаса прочности, а значит, и запаса долговечности, соответствующих только одному заданному сроку безотказной работы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Картопольцев В.М., Картопольцев А.В., Колмаков Б.Д.* Концептуальные основы оценки остаточного ресурса пролетных строений металлических мостов по критерию усталостной долговечности // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 4. С. 206–211.
2. *Быстров В.А.* Режимы нагружения сталежелезобетонных пролетных строений автодорожных мостов с целью оценки надежности их элементов // Вопросы надежности мостовых конструкций : межвуз. темат. сб. тр. Ленинград, 1984. С. 16–23.
3. *Васильченко Г.С., Кошелев П.Ф.* Практическое применение механики разрушения для оценки прочности конструкций. Москва : Наука, 1974. 147 с.
4. *Irvin G.R.* Analysis of stresses and strain near the end of traversing plate // J. Appl. Mch. 1957. V. 24. P. 90–92.
5. *Новожилова Н.И., Быстров В.А., Шайкевич В.Л.* Прогнозирование надежности конструкций стальных и сталежелезобетонных мостов. Ленинград : ЛИСИ, 1989. 96 с.
6. *Weibull W.A.* Statistical theory of the strength of materials // Proc. Rog. Swedish Inst. Enging. Res. Stockholm. 1939. № 151. P. 93–105.
7. *Нечаев Ю.П.* Долговечность искусственных сооружений // Эксплуатационная надежность искусственных сооружений : сб. научных трудов. ВНИИЖТ. Москва : Транспорт, 1989. С. 67–72.
8. *Потапкин А.А.* Методические указания к основам расчета мостовых конструкций на надежность. Москва : МАДИ, 1987. 20 с.
9. *Новожилова Н.И.* Строительные металлические конструкции. Ленинград : ЛИСИ, 1998. 99 с.
10. *Картопольцев В.М., Картопольцев А.В., Алексеев А.А.* К вопросу надежности несущих балок пролетных строений мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 6. С. 183–195. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-6-183-195
11. *Safronov V.M.* Determination of the Remaining Resources of Reinforced concrete Bridges in exploitation // International Conference on Civil Eng. Des. and Const. 12–14 Sept. Varna, Bulgaria, 2008. P. 103–107.
12. *Костелянец Б.А., Картопольцев В.М.* К проблеме надежности больших мостов Сибирского региона // Автомобильные дороги. 1994. № 10–11. С. 9–13.

13. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. Москва : Стройиздат, 1982. 351 с.
14. Семкин Е.Ф., Картопольцев В.М. К вопросу многокритериальной оценки надежности мостов // Современные методы статистического и динамического расчета сооружений и конструкций. Вып. 3. Воронеж, 1994. С. 25–33.
15. Должиков В.Н. Условия работы и отказы искусственных сооружений и их элементов. Донецк : Донецкий политехнический институт. Горловский филиал, 1987. 6 с. Депонирована в ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. 28.12.87. ГАСНТИ, 73.31.13.
16. Добромислов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. Москва : Изд-во АСВ, 2004. 72 с.
17. Fisher J.W., Mertz D.R., Shong A. Steel bridge members under variable amplitude long life fatigue loading // Mat. Coop. Highway Res. Program Rept. 1983. № 267. 26 p.
18. Chesson E., Asce F. Structural steel failures // Proc. W.H. Munsn Symp. Behav. Metal Struct. Res. Pract. Philadelphia, Pr. 17 May, 1983. P. 156–173.
19. Ashby M.F., Gandni C., Taplin M.R. Fracture Mechanism Maps and thlir Construction for F.C.C. Metalsnot Aalloys // Acta Net. 1979. V. 27. P. 699–729.
20. Пашкевич А.А., Шахназаров С.С. Возможный подход к оценке технического состояния и остаточного ресурса строительных конструкций // Металлические конструкции и испытание сооружений. Ленинград : ЛИСИ, 1980. С. 67–76.

REFERENCES

1. Kartopoltsev V.M., Kartopoltsev A.V., Kolmakov B.D. Conceptual framework of fatigue life criterion assessment of steel bridge residual life. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015; (4): 206–211. (In Russian)
2. Bystrov V.A. Loading Modes of Steel-Reinforced Concrete Superstructures of Road Bridges to Assess Reliability of their Elements. In: *Voprosy nadezhnosti mostovykh konstruksii*, 1984. Pp. 16–23. (In Russian)
3. Vasilchenko G.S., Koshelev P.F. Practical Application of Fracture Mechanics for Structural Strength Evaluation. Moscow: Nauka, 1974. 147 p. (In Russian)
4. Irvin G.R. Analysis of Stresses and Strain Near the End of Traversing Plate. *Journal of Applied Mechanics*. 1957; (24): 90–92.
5. Novozhilova N.I., Bystrov V.A., Shoikevich V.L. Structural Reliability of Steel and Steel-Reinforced Concrete Bridges. Leningrad, 1989. 96 p. (In Russian)
6. Weibull W.A. A Statistical Theory of the Strength of Materials. Generalstabens Litografiska Anstalts Foerlag, Stockholm, 1939. Pp. 93–105.
7. Nechaev Yu.P. Durability of Artificial Structures. In: *Operational Reliability of Artificial Structures*. Moscow: Transport, 1989. Pp. 67–72. (In Russian)
8. Potapkin A.A. Methodological Guidelines for Structural Analysis of Bridges. Moscow, 1987. 17 p. (In Russian)
9. Novozhilova N.I. Building Metal Structures. Leningrad, 1998. 99 p. (In Russian)
10. Kartopoltsev V.M., Kartopoltsev A.V., Alekseev A.A. Towards Reliability of Load-Bearing Beams of Bridges. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (6): 183–195. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-6-183-195 (In Russian)
11. Safronov V.M. Determination of Remaining Resources of Reinforced Concrete Bridges in Exploitation. In: *Proc. Int. Conf. on Civil Engineering Desing and Construction*. Varna, Bulgaria, 2008. Pp. 103–107.
12. Kostelianets B.A., Kartopoltsev V.M. Reliability of Large Bridges in the Siberian Region. *Avtomobil'nye dorogi*. 1994; (10–11): 9–13. (In Russian)
13. Bolotin V.V. Probability Theory and Reliability Theory Methods in Structural Analysis. Moscow: Stroyizdat, 1983, 351 p. (In Russian)
14. Semkin E.F., Kartopoltsev V.M. Multi-Criteria Assessment of Bridge Reliability. In: *Modern Methods of Statistical and Dynamic Structural Analysis*. Iss. 3. 1994. Pp. 25–33. (In Russian)
15. Dolzhikov V.N. Working Conditions and Failures of Artificial Structures and Elements. Donetsk: Donetsk Polytechnic Institute, 1987. 6 p. (In Russian)

16. *Dobromyslov A.N.* Reliability Assessment of Buildings by External Signs. Moscow: ASV, 2004. 72 p. (In Russian)
17. *Fisher J.W., Mertz D.R., Shong A.* Steel Bridge Members under Variable Amplitude Long Life Fatigue Loading. *National Cooperative Highway Research Program*. 1983; (267): 26 p.
18. *Chesson E., Asce F.* Structural Steel Failures. In: *Proc. W.H. Munsn Symp. Behav. Metal Struct. Res. Pract.* Philadelphia, Pr. 17 May, 1983. Pp. 156–173.
19. *Ashby M.F., Gandni C., Taplin M.R.* Fracture Mechanism Maps and their Construction for F.C.C. Metals and Alloys. *Acta Metallurgica*. 1979; (27): 699–729.
20. *Pashkevich A.A., Shakhnazarov S.S.* Possible Approach to Assess Technical Condition and Residual Life of Buildings. In: *Metal Structures and Testing of Structures*. Leningrad, 1980. Pp. 67–76. (In Russian)

Сведения об авторе

Алексеев Александр Аверьянович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная 2, alekseev10@yandex.ru

Author Details

Aleksandr A. Alekseev, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia. alekseev10@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 13.06.2024
Одобрена после рецензирования 25.06.2024
Принята к публикации 17.09.2024

Submitted for publication 13.06.2024
Approved after review 25.06.2024
Accepted for publication 17.09.2024

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

WE HONOR OUR JUBILARIANS



ЛЯХОВИЧ Леонид Семёнович (12.09.1934) академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники России, почетный строитель России, почетный строитель г. Томска и Томской области.

В 1955 г. окончил Новосибирский инженерно-строительный институт по специальности «ПГС». С 1956 г. в Томском государственном архитектурно-строительном университете. Ассистент, доцент, заведующий кафедрой «Строительная механика» (1964–2018), декан строительного факультета (1965–1968), проректор по научной работе (1974–2008). С 2018 г. по настоящее время профессор кафедры «Строительная механика».

Основные научные интересы: расчет сооружений на устойчивость и колебания, проектирование систем минимальной материалоемкости. Предложенный им энергетический критерий эквивалентности систем в расчетах на устойчивость и собственные колебания явился основой для развития теории аппроксимации при описании некоторых процессов поведения сооружений, в том числе и при обработке результатов неразрушающих испытаний. Сформулированный им критерий определения места заданного числа в спектре критических сил и собственных частот упругих систем уточняет и развивает теорию качественного анализа устойчивости и колебаний сооружений. Критерий применен и для кинематического анализа сооружений. Критерий модифицирован для расчетов на устойчивость систем с односторонними и кусочно-линейными связями. На основе модифицированного критерия в сочетании с методом ветвей и границ предложен способ отыскания «нижней» и «верхней» критических нагрузок таких систем. В теории оптимизации сооружений предложен метод, позволяющий одновременно варьировать не только параметрами сечений элементов, но и связей, дополнительных или снимаемых масс, а также параметрами предварительного напряжения и при этом учитывать разнородные ограничения. Выявлен ряд свойств систем минимальной материалоемкости. Среди них особые свойства форм потери устойчивости и собственных колебаний при рациональной расстановке связей оптимальной жесткости, а для случая колебаний – еще и для задач догружения и разгрузки сооружений. На основе выявленных свойств сформулирован критерий оценки уровня оптимальности полученных решений и предложен метод синтеза оптимальных систем как сооружений, обладающих заранее известными свойствами. Предложены методы

формирования расчётных схем прицельных связей и прицельных кинематических устройств, то есть таких, каждое из которых соответственно увеличивает или уменьшает значение только одной из собственных частот до заданной величины, не изменяя при этом значений остальных частот.

Автор более 170 научных публикаций, в том числе трёх монографий. Подготовил 30 кандидатов и трех докторов наук.

В апреле 1994 г. избран членом-корреспондентом, а в мае – 1996 г. действительным членом РААСН. Член Президиума РААСН. Был научным руководителем и председателем научно-технических советов программы «Архитектура и строительство» (1989–2004) и конкурса грантов по «Фундаментальным проблемам архитектуры и строительных наук» (1993–2004) Минобразования России. Более 15 лет был членом экспертного совета ВАК. Член редколлегий четырёх журналов Перечня ВАК, главный редактор журнала «Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета». Председатель совета по защите диссертаций при Томском государственном архитектурно-строительном университете.

За многолетнюю плодотворную деятельность в высшей школе и научные достижения поощрен государственными наградами и отмечен почетными знаками отличия, в том числе орденом Дружбы, медалью «За трудовую доблесть», «За доблестный труд в ознаменование 100-летия со дня рождения В.И. Ленина», «Большой медалью» РААСН, медалью РААСН «За полезные труды», медалью «За заслуги перед Томской областью», и другими. Л.С. Ляхович – почетный профессор Ассоциации строительных вузов, почетный доктор НИ МГСУ и ряда российских архитектурно-строительных университетов: Воронеж, Ростова, Новосибирска, Томска. Лауреат конкурса Томской области в сфере науки и образования.