

Томский государственный
архитектурно-строительный университет

ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

№ 1 2023
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

This image shows a full page of white paper with horizontal blue or grey ruling lines, typical of notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ляхович Л.С., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, зав. кафедрой строительной механики ТГАСУ, г. Томск; lls@tsuab.ru
Акимов П.А., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, главный ученый секретарь РААСН, г. Москва; pavel.akimov@gmail.com
Белостоцкий А.М., докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, ген. директор научно-исследовательского центра СтаДиО, г. Москва; amb@stadyo.ru
Бекер А.Т., докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, научный руководитель политехнического института ДВФУ, г. Владивосток; becker.at@dvfu.ru
Бондаренко И.А., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, директор НИИТИАГ, филиал ЦНИИП Минстроя России, г. Москва; niitag@yandex.ru
Власов В.А., докт. физ.-мат. наук, профессор, 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, проректор по учебной работе ТГАСУ, г. Томск; study@tsuab.ru
Гныря А.И., докт. техн. наук, профессор, советник РААСН, зав. кафедрой технологии строительства ТГАСУ, г. Томск; tsp_tgasu@mail.ru
Галютудинов З.Р., докт. техн. наук, доцент, зав. кафедрой железобетонных конструкций ТГАСУ, г. Томск; zgalyautdinov@tsuab.ru
Дегтярев В.В., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск; ngasu_gts@mail.ru
Ефименко В.Н., докт. техн. наук, профессор кафедры автомобильных дорог ТГАСУ, г. Томск; svefimenko_80@mail.ru
Ефименко С.В., докт. техн. наук, проректор по научной работе ТГАСУ, г. Томск; svefimenko@tsuab.ru
Есаулов Г.В., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, проректор по научной работе МАРХИ, г. Москва; gvesaulov@raasn.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, чл.-корр. РААСН, г. Москва; kaprielov@masterbeton-mb.ru
Копаница Н.О., докт. техн. наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ, г. Томск; kopantsa@mail.ru
Кудяков А.И., докт. техн. наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ, советник РААСН, г. Томск; kudyakov@tsuab.ru
Кумьяк О.Г., докт. техн. наук, профессор кафедры железобетонных конструкций ТГАСУ, советник РААСН, г. Томск; kumyak@yandex.ru
Лотов В.А., докт. техн. наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ, г. Томск; valotov@tpu.ru
Люсия Тсантилис, доцент кафедры охраны окружающей среды, земельных ресурсов и организации инфраструктуры Туринский политехнический университет, Турин, Италия; lucia.tsantilis@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, г. Томск; ovssn@tsuab.ru
Орозбеков М.О., докт. техн. наук, профессор, ректор ОшГУ, г. Ош, Кыргызская Республика; oshsu@mail.ru
Поляков Е.Н., докт. искусствоведения, канд. архитектуры, профессор кафедры теории и истории архитектуры ТГАСУ, член Союза архитекторов России, г. Томск; polyakov-en@ya.ru
Ситникова Е.В., канд. архитектуры, доцент кафедры реставрации и реконструкции архитектурного наследия ТГАСУ, г. Томск; elensi@vtomske.ru
Сколунович Ю.Л., докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, ректор НГАСУ (Сибстрин), г. Новосибирск; sjl1964@mail.ru
Травуш В.И., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, вице-президент РААСН, г. Москва; travush@mail.ru
Тептаев Б.Б., докт. техн. наук, профессор, академик Национальной инженерной академии РК и Международной академии транспорта, г. Алматы, Республика Казахстан; bagdatbt@yahoo.com
Цветков Н.А., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой теплогазоснабжения ТГАСУ, г. Томск; nac@tsuab.ru
Шубин И.Л., докт. техн. наук, чл.-корр. РААСН, директор НИИСФ РААСН, г. Москва; niisf@niisf.ru
Шубенков М.В., докт. архитектуры, профессор, зав. кафедрой градостроительства МАРХИ, вице-президент РААСН, г. Москва; shubenkov@gmail.com
Чупин В.Р., докт. техн. наук, профессор, 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.tgasu.ru>

Научное издание

ВЕСТНИК ТГАСУ № 1 – 2023

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

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций ПИ №77-9483 от 30 июля 2001 г.

Журнал перерегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) ПИ № ФС77-81849 от 24 сентября 2021 г.

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

Редакторы Т.С. Володина, Г.Г. Семухина. Переводчик М.В. Воробьева. Дизайнер Е.И. Кардаш. Технический редактор Н.В. Удлер.

Подписано в печать 22.02.2023. Формат 70×108/16. Гарнитура Таймс.

Уч.-изд. л. 12,89. Усл. печ. л. 15,31. Тираж 200 экз.

Зак. № 10.

Дата выхода: 28.02.2023.

Цена: свободная.

Адрес редакции/издателя: 634003, Томск, пл. Соляная, 2, тел. (3822) 65-37-61, e-mail: vestnik_tgasu@tsuab.ru

Отпечатано в ООП ТГАСУ, Томск, ул. Партизанская, 15

16+

© Томский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2023

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

VESTNIK
TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO
ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA

JOURNAL

OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Volume 25

№ 1 2023
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Published since April 1999

[illegible]

EDITORIAL STAFF

Lyakhovich L.S., DSc, Professor, RAACS Academician, Chief Editor, Head of Structural Mechanics Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; lls@tsuab.ru
Akimov P.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Chief Academic Secretary, Moscow, Russia; pavel.akimov@gmail.com
Belostotskii A.M., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Director General Research Center StaDiO, Moscow, Russia; amb@stadyo.ru
Beker A.T., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Academic Adviser, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia; bekker.at@dvfu.ru
Bondarenko I.A., DSc, Professor, RAACS Academician, Director Scientific Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning, Branch of the Central Institute for Research and Design of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation, Moscow, Russia; niitag@yandex.ru
Chupin V.R., DSc, Professor, Head of Urban Planning and Economy Dept., National Research Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russia; chupinvr@ex.istu.edu
Degtyarev V.V., DSc, Professor, 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
Galyaudinov Z.R., DSc, A/Professor, Head of Reinforced Concrete Construction Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; zgalyaudinov@tsuab.ru
Gnyrya A.I., DSc, Professor, RAACS Adviser, Head of 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, Moscow, Russia; kaprielov@masterbeton-mb.ru
Kopanitsa N.O., DSc, Professor, Building Materials and Technologies, TSUAB, Tomsk, Russia; kopanitsa@mail.ru
Kudyakov A.I., DSc, Professor, RAACS Adviser, Head of Construction Engineering Technology Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; kudyakov@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, Head of Architecture of Civil and Industrial Buildings Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; ovssn@tsuab.ru
Polyakov E.N., DSc, 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., DSc, A/Professor, Restoration and Renovation of Architectural Heritage Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; elensi@vtomske.ru
Shubenkov M.V., DSc, Professor, Head of Urban Planning Dept., Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia; shubenkov@gmail.com
Shubin I.L., DSc, RAACS Corresponding Member, Director Structural Physics Research Institute, RAACS, Moscow, Russia; niisf@niisf.ru
Teltaev B.B., DSc, Professor, Academician, National Academy of Engineering of Kazakhstan and International Academy of Transport, Almaty, Kazakhstan; bagdatbt@yahoo.com
Travush V.I., DSc, Professor, RAACS Vice President, RAACS Academician, Moscow, Russia; travush@mail.ru
Tsantilis L., A/Professor, Environment, Land and Infrastructure Engineering Dept., Polytechnic University of Turin, Turin, Italy; lucia.tsantilis@polito.it
Tsvetkov N.A., DSc, Professor, Head of Heat and Gas Supply Dept., TSUAB, Tomsk, Russia; nac@tsuab.ru
Vlasov V.A., DSc, Professor, 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, Vice-Rector for Academic Affairs, TSUAB, Tomsk, Russia; study@tsuab.ru
Zaichenko N.M., DSc, Professor, Rector, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka, Russia; mailbox@donnasa.ru

INFORMATION FOR AUTHORS AND READERS

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

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

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

Scientific Edition

VESTNIK TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA
JOURNAL OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE № 1 – 2023
Print ISSN 1607-1859 Online ISSN 2310-0044

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

Founder: Tomsk State University of Architecture and Building

Editors T.S. Volodina, G.G. Semukhina. Translator M.V. Vorob'eva. Design: E.I. Kardash. Technical editor N.V. Udler
Passed for printing: 22.02.2023. Paper size: 70×108/16. Typeface: Times New Roman Issue date: 28.02.2023.
Published sheets: 12,89. Conventional printed sheets: 15,31. Print run: 200 copies Price: free.
Order N 10.

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



© Tomsk State University
of Architecture and Building, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Каталевская Е.С., Ситникова Е.В. Купеческие усадьбы в планировочной структуре г. Томска конца XIX – начала XX века (ТГАСУ, г. Томск)	7
Киселева Т.Е. Высотное регулирование застройки на примере Франции (МАРХИ, г. Москва)	24
Каширипур М.М. Применение концепции устойчивого развития в городской структуре (БНТУ, г. Минск, Республика Беларусь)	35
Ухабин В.В., Соколова Н.В. Выявление границ высотности новой застройки в историческом центре крупного города (ПГУАС, г. Пенза)	50
Чернышова А.Н., Скоблицкая Ю.А. Архитектурно-планировочные особенности организации крытых комплексов для зимних видов спорта (ААИ ЮФУ, г. Ростов-на-Дону)	66
Чеберева О.Н., Стрельникова Е.Ю. Архитектурно-планировочные особенности зданий образовательных учреждений г. Екатеринодара (ННГАСУ, г. Нижний Новгород, КАСТ, г. Краснодар)	74
Гатин Т.Н. К вопросу об интерпретации термина «трансформация» в архитектуре (СФУ, г. Красноярск)	84
Горбачева Т.А., Смолина О.О. Особенности комфортной среды жизнедеятельности в типовых сериях, возведенных индустриальным способом в 1950–80-х годах (НГАСУ, г. Новосибирск)	93
Максимова К.А., Коренев В.И. Градостроительный анализ размещения университетских комплексов в крупных городах Сибири (ТГАСУ, г. Томск)	105

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Яровая Т.С., Антонов А.И., Матвеева И.В., Соломатин Е.О. Оценка влияния перегородок неполной высоты на акустические параметры помещения (ТГТУ, г. Тамбов, НИИСФ РААСН, г. Москва)	122
Подшивалов И.И. Моделирование напряженного состояния безригельных перекрытий экспериментального здания от прогрессирующего обрушения (ТГАСУ, г. Томск)	134
Герасимов Е.П. О нормировании надежности по раскрытию нормальных трещин изгибаемых железобетонных элементов (НГУАДИ, г. Новосибирск)	142

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Власов В.А., Клопотов А.А., Безухов К.А., Волокитин Г.Г., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Николаев Е.В., Голобоков Н.Н. Физико-химические и структурные исследования продукта порошковой смеси Si_3N_4 и AlN плазмохимическим способом (ТГАСУ, НИ ТПУ, ИСМ СО РАН, г. Томск)	152
Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Кунц О.А. Плазменная технология синтеза форстеритового материала (ТГАСУ, г. Томск)	166

C O N T E N T S

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Katalevskaya E.S., Sitnikova E.V. Merchant estates in Tomsk planning structure late in the 19th and early 20th centuries (Tomsk)	7
Kiseleva T.E. Building height control in France (Moscow)	24
Kashiripoor M.M. Application of sustainable development concept to the urban structure (Minsk, Republic of Belarus)	35
Ukhabin V.V., Sokolova N.V. Identification of critical altitude of buildings in historical center of a large city (Penza)	50
Chernyshova A.N., Skoblitskaya Yu.A. Architecture and planning of indoor winter sports complexes (Rostov-on-Don)	66
Chebereva O.N., Strelnikova E.Yu. Architecture of academic institution buildings in Ekaterinodar (Nizhny Novgorod, Krasnodar)	74
Gatin T.N. Toward interpretation of the term transformation in architecture (Krasnoyarsk)	84
Gorbacheva T.A., Smolina O.O. Convenient living environment in standard buildings built in the 1950–80s (Novosibirsk)	93
Maksimova K.A., Korenev V.I. Town-planning analysis of university campus location in large cities of Siberia (Tomsk)	105

BUILDING AND CONSTRUCTION

Yarovaya T.S., Antonov A.I., Matveeva I.V., Solomatin E.O. Effect of incomplete height of partitions on acoustical parameters of operating areas (Tambov, Moscow)	122
Podshivalov I.I. Finite element modeling of stress-strain state of girderless floor construction caused by progressive collapse (Tomsk)	134
Gerasimov E.P. Reliability specification of crack opening in flexural reinforced concrete elements (Novosibirsk)	142

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Vlasov V.A., Klopotov A.A., Bezukhov K.A., Volokitin G.G., Gorlenko N.P., Sarkisov Yu.S., Nikolaev E.V., Golobokov N.N. Physicochemical and structural investigations of Si_3N_4 and AlN powder mixture product using plasma treatment (Tomsk)	152
Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Kunts O.A. Thermal plasma sintering of forsterite ceramics (Tomsk)	166

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 7–23.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 7–23.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 728.8\9+72.035\036

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-7-23

КУПЕЧЕСКИЕ УСАДЬБЫ В ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЕ Г. ТОМСКА КОНЦА XIX – НАЧАЛА XX ВЕКА

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

Аннотация. Рассматривается купеческая усадебная застройка г. Томска конца XIX – начала XX в., главный дом и основная часть хозяйственных построек которой выполнены из дерева. Деревянная усадебная застройка на рубеже XIX–XX столетий была основным планировочным модулем в архитектурно-градостроительной структуре сибирских городов.

Актуальность исследования определяется проблемами сохранения целостности исторических городских усадеб Томска, в частности хозяйственных построек, которых в настоящее время осталось крайне мало. Комплексный анализ проведен на примере трех наиболее интересных усадеб томских купцов: Г.М. Голованова, А.Ф. Зеленовской, Кухтериных. Проанализированы планировочная структура и функциональное зонирование купеческих усадеб, архитектурно-планировочные решения построек, степень сохранности усадебных комплексов.

Новизна исследования заключается в проведенном комплексном научном анализе трех купеческих деревянных усадеб конца XIX – начала XX столетия г. Томска, обосновании их ценности как основных элементов объемно-планировочной структуры исторического города.

Научной базой статьи являются материалы историко-архивных и библиографических исследований, а также натурные исследования, проведенные авторами в 2022 г. Применены методы выявления, комплексного, системного и сравнительного анализа информации.

Основными результатами исследования стали собранные и проанализированные материалы по деревянным купеческим усадьбам г. Томска. Определена высокая градостроительная значимость исторической усадебной застройки, отмечены рациональное зонирование и multifunctionality купеческих усадеб.

Ключевые слова: деревянная архитектура, историческая застройка, купечество, городская усадьба, историко-культурное наследие, Томск, сохранение наследия

Для цитирования: 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.

ORIGINAL ARTICLE

MERCHANT ESTATES IN TOMSK PLANNING STRUCTURE LATE IN THE 19th AND EARLY 20th CENTURIES

Ekaterina S. Katalevskaya, Elena V. Sitnikova

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The article deals with wooden merchant estate buildings of Tomsk late in the 19th and early 20th centuries. At the turn of the 19–20th centuries, the wooden construction, is the fundamental planning in the architectural and town-planning structures in Siberian cities. The relevance of the study is determined by the problems of preserving the integrity of historical urban estates in Tomsk, in particular household buildings of which there are currently very few left.

Purpose: A comprehensive analysis of three most interesting estates of Tomsk merchants, namely G.M. Golovanov, A.F. Zelenevskaya, and the Kukhterins and the planning structure and functional zoning of merchant estates, architecture and planning of buildings, and preservation of estate complexes.

Methodology/approach: Historical, archival and bibliographic documents; field research conducted by the authors in 2022; methods of the data identification, comprehensive, systematic and comparative analyses.

Research findings: Collected and analyzed materials on wooden merchant estates in Tomsk. The high urban significance of the historical buildings is determined, the rational zoning and multifunctionality of merchant estates is identified.

Originality/value: The comprehensive analysis of three merchant wooden estates of the 19–20th centuries, justification of their value as the main elements of the spatial planning structure of the Tomsk city.

Keywords: wooden architecture, historical buildings, merchant class, city manor, historical and cultural heritage, Tomsk, heritage conservation

For citation: 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.

Настоящее исследование отражает актуальную проблему – сохранение деревянной усадебной застройки г. Томска конца XIX – начала XX в. Томск – один из немногих городов России, сохранивших до настоящего времени массивы исторической деревянной застройки, которая по праву является уникальным наследием мирового масштаба [1].

Деревянная застройка Томска – это великолепное архитектурно-художественное наследие России. Ни в одном регионе страны, даже там, где именно деревянное зодчество является синонимом народного, в городах не существует таких крупных художественно-полноценных массивов деревянной застройки.

Сохранившиеся до наших дней вековые произведения деревянной архитектуры являются достопримечательностью и гордостью нашего старинного города. Деревянная усадебная застройка придает облику Томска индивидуальность и красоту [2]. Наряду с основным массивом деревянной застройки, купеческие усадьбы выделяются оригинальностью, своеобразием форм, размером и функциональным разнообразием. Технические инновации, модные архитектурные направления, новейшие технологии и материалы воплотились в сибирских купеческих постройках.

Изучению деревянной архитектуры Томска посвящены труды Е.А. Ащепкова, О.В. Богдановой, А.П. Герасимова, В.Г. Залесова, Т.Н. Манониной, М.В. Мякишевой, Ю.П. Нагорнова, И.В. Куликовой, А.М. Прибытковой-Фроловой, Л.С. Романовой, Е.В. Ситниковой, Н.В. Шагова и других авторов.

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

Настоящее исследование посвящено изучению наиболее выразительной части усадебной застройки г. Томска – деревянных купеческих усадеб конца XIX – начала XX столетия. Для исследования выбраны три купеческие усадьбы, находящиеся в разных районах г. Томска, в которых основные жилые постройки и ряд хозяйственных служб выполнены из дерева.

Одна из ярких и узнаваемых деревянных усадеб г. Томска принадлежала купцу 2-й гильдии Егору Михайловичу Голованову. Глава торгового дома «Георгий Голованов с Сыном» занимался торговлей обувью и головными уборами, владел роскошным магазином «Обувь и головные уборы» на главной улице Томска. Однако для проживания построил деревянный 1- и 2-этажный особняк на ул. Солдатской, где многие томские богачи строили себе скамочные терема, один другого краше.

Территория усадьбы Егора Голованова занимала почти одну треть территории квартала, ограниченную улицами Солдатской, Ярлыковской, Торговой и Александровской. Разрешение на строительство дома дал исполняющий должность городского архитектора К.А. Заранек [3].

Усадьба имеет торцевое расположение. Основная часть построек сосредоточена в юго-западной части квартала на углу ул. Торговой и Ярлыковской (совр. ул. Вершинина и ул. Карташова). Угол квартала фиксировал двухэтажный деревянный жилой дом (№ 1 на рис. 1). Также на территории уже располагались: деревянный с мезонином флигель, баня и хозяйственные постройки, формирующие хозяйственный двор усадьбы (рис. 1). Надо отметить, что все постройки усадьбы были деревянными. Восточная сторона участка отдана парадной части. На углу ул. Ярлыковской и ул. Солдатской был устроен довольно большой для городской усадебной застройки сад с хвойными деревьями и беседкой для отдыха. А с небольшим отступом от линии застройки, а также с отклонением от горизонтали был возведен совершенно оригинальный терем.

Для строительства нового жилого дома Г.М. Голованов пригласил уже опытного инженера-архитектора С.В. Хомича, который применил нетрадиционное градостроительное решение. Так появился двухэтажный деревянный дом на высоком кирпичном цокольном этаже с размерами в плане 30 на 13 м

при высоте 17 м, напоминающий загородную дачу. Архитектор расположил дом с отступом в глубь усадьбы на семь метров, что придало дому автономность и интимность [4].



Рис. 1. План усадьбы купца Г.М. Голованова по ул. Солдатской (совр. ул. Красноармейская, 71). Чертеж составлен по материалам ГАТО. Ф. 233. Оп. 4. Д. 719

Fig. 1. Merchant Golovanov's manor layout on Soldatskaya Street (now 71, Krasnoarmeyskaya Str.). The drawing is based on State Archive documents. Form 233. List 4. Rec. 719

Главным акцентом здания стала восьмигранная башня, увенчанная шатром-дудочкой со шпилем, отсылающая к формам древнерусской церковной архитектуры. Восьмигранный шатер с четырех сторон имеет небольшие окошки, выполненные в форме сказочных домиков. На фронтоне ризалита главного фасада помещен традиционный для томской деревянной архитектуры солярный знак – атрибут счастья и благополучия хозяев дома. Постройка лаконично украшена пропиленной резьбой, несущей черты русского народного зодчества. Архитектор умело использовал игру теней от выступающих элементов, что добавило зданию художественной выразительности.

Построенный в период модерна особняк отличается крупными оконными проёмами и обшивкой, свойственной этому стилю. Предположительно, первоначально особняк был белый с тёмно-серой расшивкой «под фахверк» и красной кровлей. Именно такое цветовое решение было применено при реставрации здания в 1979 г. СНРПМ «Томскреставрация» (рис. 2). В окружении хвойных деревьев, расположенный в глубине усадьбы, дом с белым деревянным ограждением выглядел совершенно по-европейски и ярко выделялся среди остальной городской застройки [5].

После реставрации 1990-х гг. особняк был перекрашен в голубой цвет с белыми деталями, что сильно повлияло на его восприятие. В интерьерах дома сохранились элементы первоначального убранства: филенчатые двери, тянутые карнизы, богато украшенные лепные розетки на потолках, точеные балясины лестницы, ведущей в мезонин и др.



Рис. 2. Общий вид дома по ул. Красноармейской, 71, в г. Томске. Фото 1980-х гг. из книги «Деревянная архитектура Томска», 1987 г. (слева) и фото первой половины XX в. (справа)

Fig. 2. General view of house 71, Krasnoarmeyskaya Street in Tomsk. Photograph on the left is adopted from the book "Tomsk Wooden Architecture" (1987), and photograph on the right is made early in the 20th century

В настоящее время в доме располагается Областное государственное автономное учреждение культуры «Томский областной Российско-немецкий Дом». Историческая территория усадьбы сократилась наполовину. Теперь на месте бывших строений купца Г.М. Голованова расположена высотная жилая застройка. Сохранился только основной дом и хвойный сад, восстановлено ограждение усадьбы по ул. Красноармейской и Карташова [1].

Более традиционным примером купеческой усадебной застройки является усадьба ссыльных поляков Зеленовских на ул. Обруб в г. Томске (рис. 3, 4).

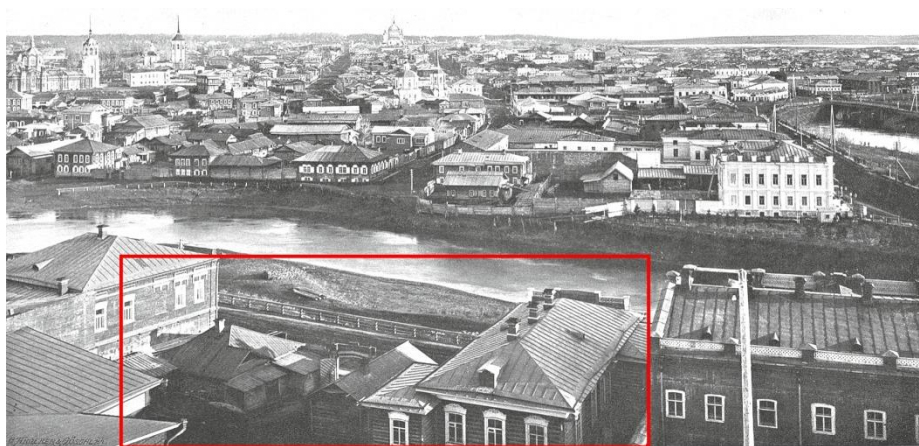


Рис. 3. Вид с горы на усадьбу А.Ф. Зеленовской. Фото из альбома «Великий путь: Виды Сибири и великой Сибирской железной дороги», 1899 г.

Fig. 3. View from the mountain to the A.F. Zelenevskaya villa. Photograph is adopted from the album "Great Route: Views of Siberia and the Great Siberian Railway", 1899



Рис. 4. Вид бывшей усадьбы А.Ф. Зеленовской, 1960–70-е гг. (два здания в центре). Фото Т.В. Окушко (URL: <http://tomsk1604.ru/catalog/obr-4/>)

Fig. 4. The former manor house of A.F. Zelenevskaya in the 1960–70s (two buildings in the centre). Photograph by T.V. Okushko

В 1874 г. семья Зеленовских переехала в Томск. На имя жены Аделаиды Фоминичны был приобретен участок земли. Купленный Зеленовскими участок ранее принадлежал канцелярскому служащему Михаилу Николаевичу Петрову, который получил его по наследству от отца, владевшего им с 1851 г. Одной стороной он выходил на р. Ушайку, позади находилась Воскресенская гора [6].

Казимир Яковлевич Зеленовский занимался винокуренным производством. В 1882 г. на усадьбе по Обрубному переулку начал работать водочный завод, который был узаконен 12 декабря 1885 г. [7]. В Томское губернское правление было подано прошение о разрешении строительства водочного завода в нижнем этаже двухэтажного деревянного здания [6].

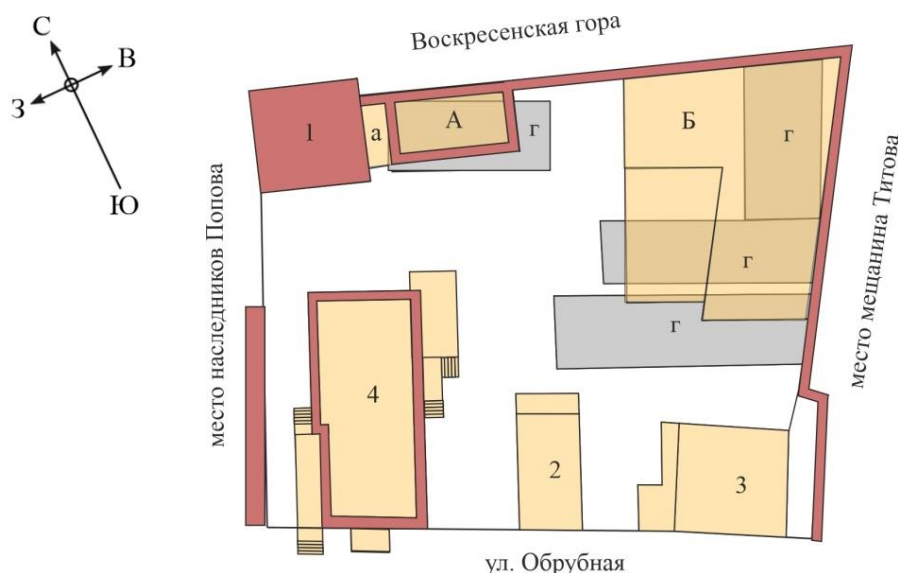
Проект на строительство двухэтажного деревянного дома был подписан 28 февраля 1889 г. [8], 28 ноября 1894 г. было подано еще одно прошение на постройку в дворовой части усадьбы двухэтажного деревянного на каменном подвале флигеля и двухэтажных деревянных служб [9].

Согласно документу «План места купеческой жены Зеленовской» на участке в это время располагались: у подножия Воскресенской горы крытый дерном склад для вина и спирта, двухэтажные службы, одноэтажный флигель; перпендикулярно к ним находились: навес, одноэтажные службы, два одноэтажных флигеля (рис. 5).

На начало XX в. все постройки усадьбы были деревянными, только отдельные элементы выполнены из кирпича: цокольные и подвальные этажи жилых зданий, одноэтажный крытый дерном склад для вина и спирта, а также брандмауэрные и подпорные стены, которые с трех сторон ограждали усадьбу, за исключением уличного фасада застройки (рис. 6).

Главный жилой дом усадьбы – двухэтажный деревянный на каменном цокольном этаже – в плане представлял собой прямоугольник, узкой стороной выходящий на красную линию застройки улицы. С северо-запада и юго-востока располагались прирубы, которые служили лестничными клетками и имели

крыльца с навесами. Центральная ось главного фасада в три оси окон отмечена треугольным фронтоном карниза, а также в центре второго этажа располагался балкон. Карниз среднего выноса профилирован, места врубок были закрыты лопатками. Наличники окон завершались барочными волютами, на первом этаже были дополнены ставнями (рис. 7).



Изъяснение плана усадьбы:

Проектируемые постройки:

А – двухэтажный деревянный на каменном подвале флигель с крыльцом и брандмауэром;

Б – деревянная двухэтажная служба с навесом;

Г – строения, подлежащие к сломке (обозначены серым цветом).

Существующие строения:

1 – каменный одноэтажный крытый дерном склад для вина и спирта;

2, 3 – деревянный одноэтажный флигель;

4 – двухэтажный деревянный дом на каменном основании

Рис. 5. План усадьбы купеческой жены А.Ф. Зеленовской по ул. Обрубной (совр. ул. Обруб, 6) на 1894 г. Чертеж составлен по материалам ГАТО. Ф. 233. Оп. 4. Д. 2032

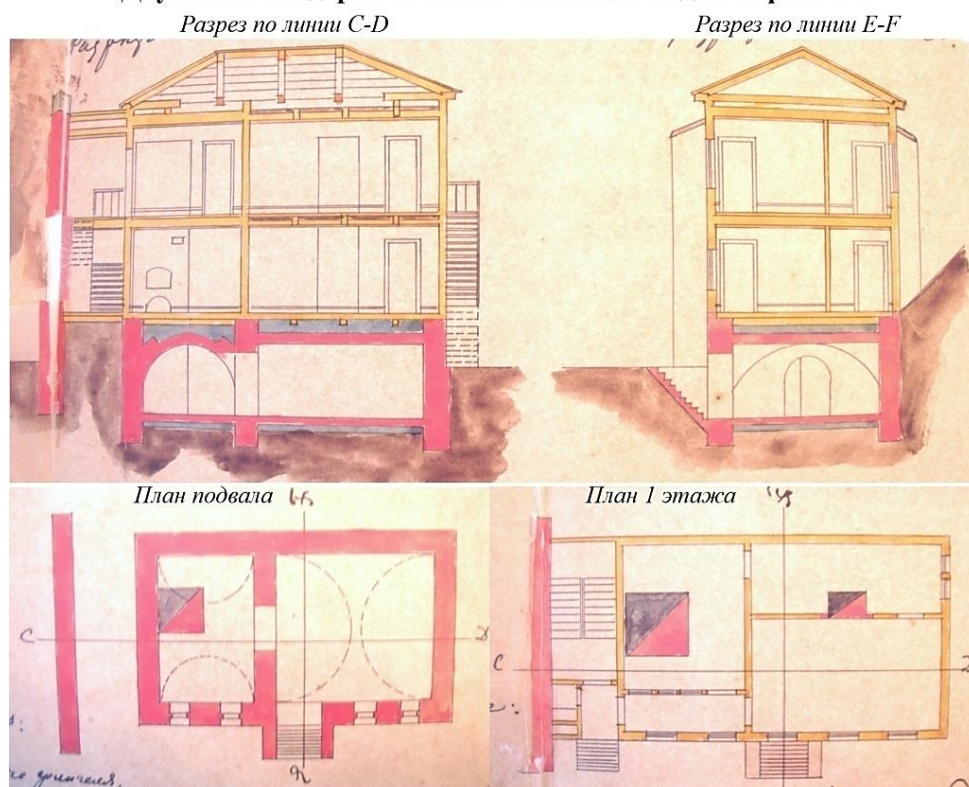
Fig. 5. Merchant's wife A. F. Zelenevskaya manor layout on Obrubnaya Street (now 6, Obrub Str.). The drawing is based on State Archive documents. Form 233. List 4. Rec. 2032

Первоначально в подвале дома находилась пивная лавка, первый этаж сдавался внаем управляющему казенной палатой Захарину, второй занимала семья Зеленовских. Сын Аделаиды Фоминичны и Казимира Яковлевича Зеленовских – Казимир Казимирович (1888–1931) – стал известным художником [6].

В 1910 г. одноэтажные флигели были снесены, на их месте было поставлено каменное одноэтажное с подвалом строение, проект которого был утвержден в 1913 г. Наблюдение за его строительством было поручено архитектору В.Ф. Оржешко. Это единственное сохранившееся сегодня усадебное строение. Деревянный флигель и хозяйственные постройки усадьбы были утрачены в XX в. Деревянный двухэтажный дом, построенный в 1889 г., снесли в 1990-е гг. Камен-

ный дом в 1990 – начале 2000-х гг. использовался под ресторан «Мимино». Затем более десятилетия объект стоял заброшенным, а в 2020–2022 гг. здание реконструировали, в настоящее время ведутся отделочные работы. В результате здание полностью утратило свой первоначальный вид (рис. 8).

Двухэтажный деревянный на каменном подвале флигель



Деревянные двухэтажные службы с навесом

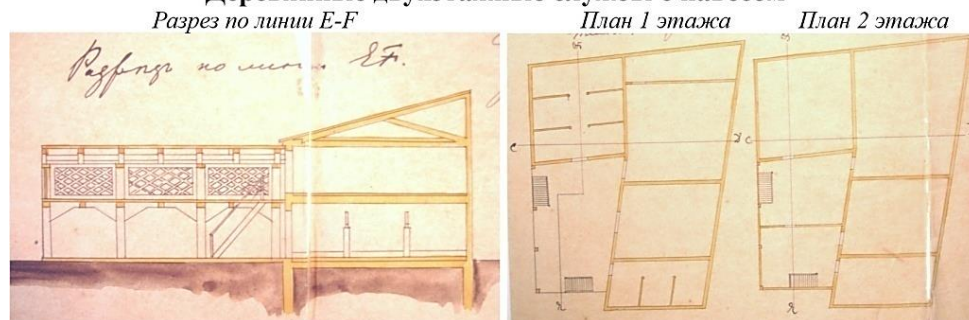


Рис. 6. Предлагаемые к постройке объекты усадьбы купеческой жены А.Ф. Зеленовской по ул. Обрубной (совр. ул. Обруб, 6) на 1894 г. Материалы ГАТО. Ф. 233. Оп. 4. Д. 2032

Fig. 6. Proposed facilities to be built for merchant's wife A. F. Zelenevskaya on Obrubnaya Street (now 6, Obrub Str.) in 1894. Adopted from State Archive documents. Form 233. List 4. Rec. 2032



Рис. 7. Чертежи главного и дворового фасадов дома по ул. Обруб, 6, в г. Томске. Автор М.А. Яблонская. Материалы архива СИ «Сибспецпроектреставрация»

Fig. 7. Drawings of the main and courtyard facades of the house in Tomsk, 6, Obrub Str., Author M.A. Yablonskaya. Adopted from the archive "Sibspetsproektrestavratsiya"



Рис. 8. Общий вид каменного дома по ул. Обруб, 6, в г. Томске. Фото до реконструкции (слева) и современный вид (справа). Фото Е.С. Каталевской, декабрь 2022 г.

Fig. 8. General view of the stone house in Tomsk, 6, Obrub Str. Left photograph: before reconstruction. Right photograph: present days (by E.S. Katalevskaya, December 2022)

Одной из наиболее крупных купеческих усадеб г. Томска являлась усадьба семьи Кухтериных. Глава томского рода Евграф Николаевич Кухтерин (1834–1887) был из потомственных тюменских ямщиков. В 1870 г. он был приписан в томское купечество, занимался организацией извоза и торговлей. После смерти отца в 1887 г. фирму «Евграф Кухтерин и сыновья» возглавил старший сын Алексей. Общими усилиями Кухтерины добились успеха во всех сферах предпринимательства: крупнейшая в Сибири спичечная фабрика, винокуренный завод, механизированная мукомольная мельница, пасека, строительство жилых домов и общественных зданий и т. д. [10].

Главная контора семьи Кухтериных в Томске размещалась в их усадьбе, расположенной на Воскресенской горе по ул. Иркутской, 10 и 12, недалеко от Воскресенской церкви (рис. 9, 10).

В 1888 г. усадьба Кухтериных выходила только на ул. Иркутскую, однако со временем границы её расширились. Территория активно застраивалась жилыми и хозяйственными постройками, мощные складские помещения были возведены вдоль ул. Кузнечный взвоз, для чего были задействованы соседние участки. К 1897 г. усадьба уже занимала большую часть квартала

и формировала застройку трёх улиц (рис. 11). Основной въезд в усадьбу осуществлялся с ул. Иркутской. Главный дом стоял по красной линии застройки улицы. Это был двухэтажный на каменном фундаменте прямоугольный объем с простым лаконичным декором и горизонтальной обшивкой широкой профильной доской (рис. 10) [10].



Рис. 9. Улица Иркутская, вид на Воскресенскую церковь. Справа – усадьба Кухтериных. Открытка начала XX в.

Fig. 9. Irkutskaya Street, view of the Voskresenskaya Church. On the right: the Kukhterin estate. Postcard from the early 20th century



Рис. 10. Усадьба Кухтериных по ул. Иркутской (совр. ул. Пушкина). Дом украшен в честь коронации Николая II, до настоящего времени не сохранился. Фото 1896 г. из фондов ТОКМ

Fig. 10. The Kukhterin's manor house on Irkutskaya Street (now Pushkin Str.). The house decorated in honour of Nikolai II crowning, is not preserved. 1896

Дом существовал до 80-х гг. XX в., по бокам от него располагались трехчастные ворота и выходили торцы служб.

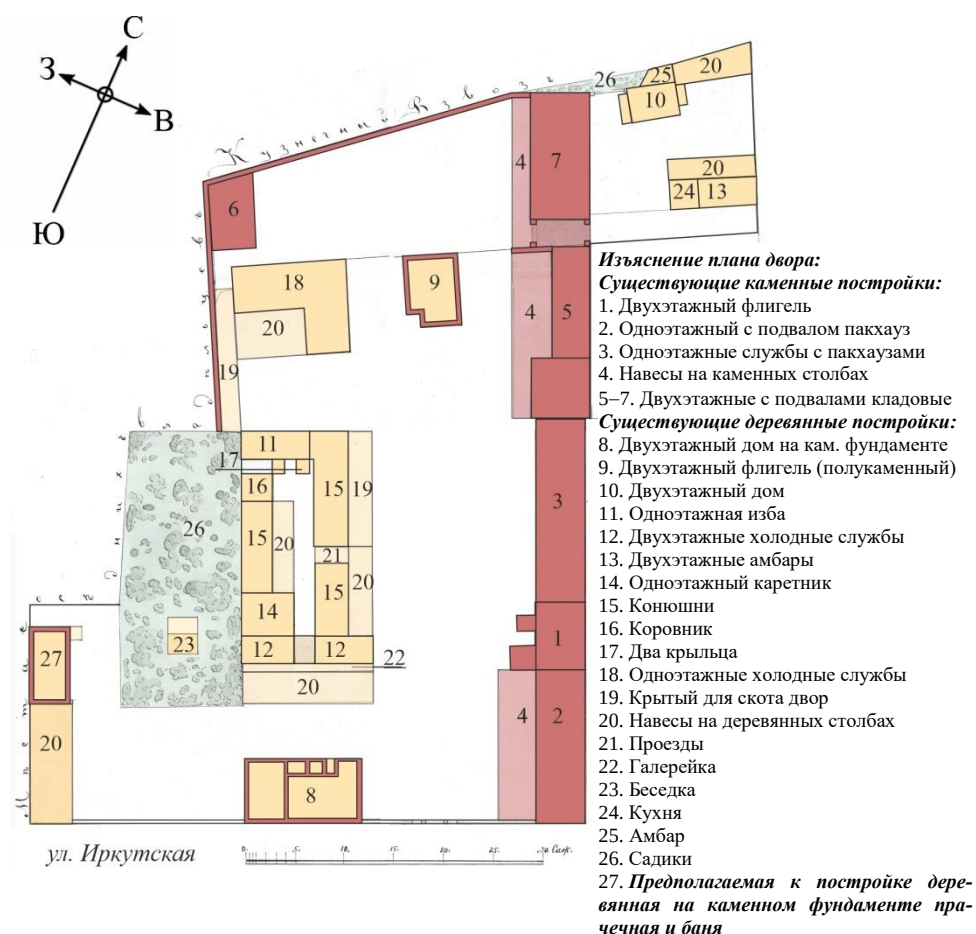


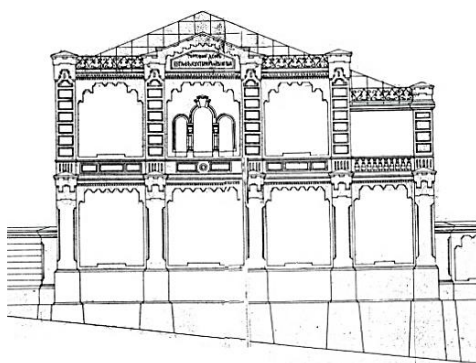
Рис. 11. План усадьбы Кухтериных по ул. Иркутской. Чертеж составлен по материалам ГАТО. Ф. 233. Оп. 2. Д. 2274; Д. 1261

Fig. 11. Merchant Kukhterin's manor layout on Irkutskaya Street. The drawing is based on State Archive documents. Form 233. List 2. Rec. 1261

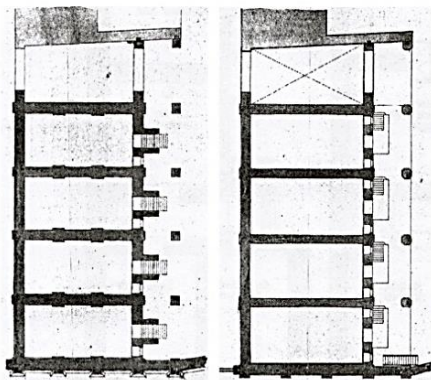
Усадьба имела сложную форму в плане и выходила на две противоположные стороны квартала (рис. 11). Въезды на усадьбу и главный жилой дом были ориентированы на ул. Иркутскую (совр. ул. Пушкина), являвшуюся частью Московско-Сибирского тракта. Застройка по Кузнечному взвозу была представлена мощными каменными складскими постройками, которые также протянулись через всю территорию усадьбы сплошной каменной стеной, отделяющей территорию Кухтериных от соседей с восточной стороны. В число каменных построек входили двухэтажные с подвалами кладовые, одноэтажные службы с пакхаузами, двухэтажный флигель и навесы на каменных столбах (рис. 11, № 1–7). В центральной части усадьбы компактно сформирован хозяйственный блок деревянных построек, включающий холодные службы, амбары, конюшни, каретник, коровник, крытый двор для скота, соединенные навесами на столбах в единый замкнутый двор. С западной стороны от хозяйственного

блока выделен зеленый сад с беседкой для отдыха. Ещё один деревянный двухэтажный на каменном основании флигель расположен в северной части усадьбы (рис. 11, № 9). В южной части усадьбы отмечена предполагаемая к постройке деревянная на каменном фундаменте прачечная и баня (рис. 12).

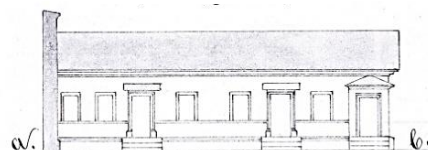
Фасад по Кузнечному взвозу
каменных с подвалом хлебных и навеса
на каменных столбах (рис. 11, № 7)



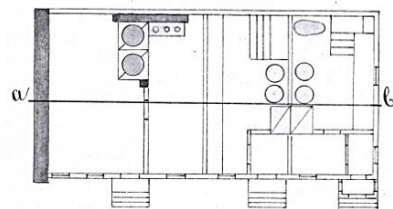
Планы подвального
и 1-го этажа



Фасад прачечной и бани
(рис. 11, № 27)



План прачечной и бани



Разрез прачечной и бани по а-в

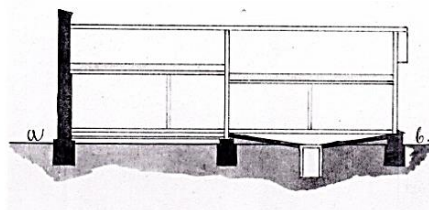


Рис. 12. Чертежи проектируемых построек на усадьбе Кухтериных по ул. Иркутской в г. Томске. Материалы из фонда ГАТО. Ф. 233. Оп. 2. Д. 1261 и Д. 2274

Fig. 12. Drawings of projected buildings in the Kukhterins' estate on Irkutskaya Street, Tomsk. Adopted from the State Archive, Form 233. List 2. Recs 1261 and 2274

Проектируемые каменные с подвалом двухэтажные кладовые по Кузнечному взвозу были возведены достаточно точно по разработанному проекту 1891 г. (рис. 11, № 7; рис. 12). В 1904 г. к этому объекту было пристроено здание Окружного суда, и постройка была включена в единый с ним объем. В советское время на фасаде по Кузнечному взвозу, украшенном кирпичным декором, были пробиты три прямоугольных окна. В таком виде бывшие кладовые Кухтериных сохранились до настоящего времени, в 2000-х гг. с правой стороны появилась ещё одна пристройка (рис. 13).



Рис. 13. Бывшие склады Кухтериных в современной застройке по Кузнечному взвозу (рис. 11, № 7). Фото Е.В. Ситниковой, 2018 г.

Fig. 13. The Kuchterins' former warehouses in modern development along Kuznetsky Vzvoz (Fig. 11, No. 7). Photograph by E.V. Sitnikova, 2018

Кладовые, располагавшиеся на противоположном углу усадьбы (рис. 11, № 6) до недавнего времени сохранялись в достаточно целостном состоянии (рис. 13, 14), но в настоящее время ведутся работы по перестройке складских построек Кухтериных согласно проекту ООО «Архитектурное бюро «Стиль», 2022 г. (рис. 15).



Рис. 14. Бывшие склады Кухтериных по Кузнечному взвозу (рис. 11, № 6). Фото Е.В. Ситниковой, 2004 г.

Fig. 14. The Kuchterins' former warehouses on Kuznetsky Vzvoz (Fig. 11, No. 6). Photograph by E.V. Sitnikova, 2004



Рис. 15. Проект реконструкции складских построек Кухтериных, выполнен ООО «Архитектурное бюро «Стиль», 2022 г.

Fig. 15. Renovation project of the Kuchterins' warehouses by ООО "Architectural Bureau Stil", 2022

Из состава усадьбы Кухтериных сохранилось еще несколько каменных зданий – двухэтажный жилой флигель по ул. Пушкина, 10/2 (рис. 11, № 1), в котором на 2022 г. сохранилась жилая функция (рис. 16); бывшие двухэтажные с подвалами кладовые (рис. 11, № 5) по ул. Пушкина, 10/1, в настоящее время постройки используются под общественные функции, там располагает-

ся мебельная фирма «Акцент» и мебельная компания «Эксклюзив мебели» (рис. 17). Также на территории усадьбы сохранился полукаменный двухэтажный флигель, первый этаж выполнен из кирпича, второй – деревянный (рис. 11, № 9) по ул. Пушкина, 10, используемый под административную функцию, там располагается компания «ДионисУпак», которая занимается производством и торговлей упаковочными материалами. Здание утратило свой первоначальный вид, обшито фасадной металлической плиткой, что скрывает архитектурную выразительность фасадов (рис. 18).



Рис. 16. Двухэтажный флигель по ул. Пушкина, 10/2 (рис. 11, № 1). Фото Е.С. Каталевской, 2022 г.

Fig. 16. Two-storey outbuilding, 10/2, Pushkin Street (Fig. 11, No. 1). Photograph by E.S. Katalowskaia, 2022



Рис. 17. Бывшие кладовые по ул. Пушкина, 10/1 (рис. 11, № 5). Фото Е.В. Ситниковой, 2022 г.

Fig. 17. Former store rooms, 10/1, Pushkin Str. (Fig. 11, No. 5). Photograph by E.V. Sitnikova, 2022



Рис. 18. Двухэтажный полукаменный флигель по ул. Пушкина, 10 (рис. 11, № 9). Фото Е.В. Ситниковой, 2022 г.

Fig. 18. Two-storey outbuilding made partially of stone, 10, Pushkin Str. (Fig. 11, No. 9). Photograph by E.V. Sitnikova, 2022

В настоящее время большую часть бывшей усадьбы Кухтериных занимает автосервис с мойкой «Угона.НЕТ», и вся территория постоянно занята автомобилями. Можно отметить, что основной род занятий Кухтериных – извоз принял современное обличье в связи со сменой средств передвижения.

В результате проведенного исследования определено, что деревянная усадебная застройка являлась основным градостроительным планировочным модулем в застройке г. Томска конца XIX – начала XX в. и представляет собой ценный пласт историко-культурного наследия города [11]. А купеческие усадьбы выделяются среди обывательской застройки горожан не только размерами и многофункциональностью, но и выразительным архитектурным обликом объектов, выполненных часто по проектам известных архитекторов.

В планировочной структуре купеческих усадеб прослеживается рациональное функциональное зонирование, включающее сочетание как необходимых для жизнеобеспечения объектов, так и дополнительных построек, связанных с видами деятельности владельцев. Например, в усадьбе Зеленева располагалось производство спирта и вина, а в составе усадьбы Кухтериных – мощные складские помещения и обширный скотный двор, которые были необходимы для организации извоза и торговли. Усадьба Г.М. Голованова является ярким примером жилой купеческой усадьбы, в которой выделяется главный объект – особняк, представляющий собой сказочный терем, построенный с отступом от красной линии застройки в окружении хвойной растительности.

Также необходимо отметить, что, несмотря на неоспоримую историко-культурную ценность этих объектов, ни одна из рассмотренных купеческих усадеб не сохранилась в полном объеме. Если каменные купеческие постройки стараются сохранить, как представляющие главную архитектурную ценность города, то деревянные усадьбы становятся большой редкостью для г. Томска. Поэтому важно проводить восстановительные работы по сохранению деревянных усадеб, приспособлявая их под современные потребности города. Это позволит: повысить его историко-культурный потенциал; организовать элитное жилье; создать туристическую зону с атмосферой дореволюционного города и т. д.

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, Томск, 01–04 марта 2022 г. Ч. 1. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2022. С. 305–309. EDN YDSFDE
2. Каталевская Е.С., Ситникова Е.В. Традиции сельской деревянной усадебной застройки в городской архитектуре Томска // Архитектура и архитектурная среда: вопросы исторического и современного развития : материалы Международной научно-практической конференции, 22–23 апреля 2022 г. В 2 томах. Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2022. С. 306–312. EDN HWSILR
3. Государственный архив Томской области. Ф. 233. Оп. 4. Д. 719. Л. 4–7.
4. Богданова О.В. Сибирский шедевр архитектора Хомича. Томск : Красное знамя, 2004. 72 с.

5. Ситникова Е.В. Деревянная архитектура Томска второй половины XIX – начала XX в. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 1 (30). С. 59–65.
6. Овчинникова Л.И. Казимир Зеленецкий: к истории гильдейского купечества Томска // Сибирское купечество: истоки, деятельность, наследие : материалы Второй Всероссийской конференции, 15–17 апреля 2016 г. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2017. – С. 93–101. – EDN YLJJKH
7. Государственный архив Томской области. Ф. 6. Оп. 1. Д. 2034.
8. Государственный архив Томской области. Ф. 233. Оп. 2. Д. 1022.
9. Государственный архив Томской области. Ф. 233. Оп. 2. Д. 2032.
10. Ситникова Е.В. Постройки купцов Кухтеринных в архитектуре г. Томска рубежа XIX–XX вв. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 5. С. 35–49. DOI 10.31675/1607-1859-2018-20-5-35-49. EDN YLJJKH
11. Каталевская Е.С., Ситникова Е.В. Комплексные исследования городской усадьбы на ул. Дзержинского, 12, в г. Томске // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 1. С. 22–32. DOI 10.31675/1607-1859-2022-24-1-22-32. EDN NSUDAL

REFERENCES

1. Katalevskaya E.S., Sitnikova E.V. Merchant Golovanov's estate on Soldatskaya Steet (now 71, Krasnoarmeyskaya Str.) in Tomsk. In: *Proc. 12th Int. Sci. Conf. 'Investments, Urban Development, Real Estate as Drivers of Socio-Economic Development of Territory and Improvement of the Quality of Life'*, Vol. 1, Tomsk: TSUAB, 2022. Pp. 305–309. EDN YDSFDE (In Russian).
2. Katalevskaya E.S., Sitnikova E.V. Traditions of rural wooden manor buildings in urban architecture of Tomsk. In: *Proc. Int. Sci. Conf. 'Architecture and Architectural Environment: Issues of Historical and Modern Development'*, in 2 vol., Tyumen, 2022. Pp. 306–312, EDN HWSILR (In Russian).
3. State Archive. Form 233. List 4. Rec. 719. Pp. 4–7. (In Russian).
4. Bogdanova O.V. Siberian masterpiece of architect Khomich. Tomsk: Krasnoe znamya, 2004. 72 p. (In Russian).
5. Sitnikova E.V. Wooden architecture of Tomsk late in the 19th and early 20th centuries. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2011; 1 (30): 59–65. (In Russian).
6. Ovchinnikova L.I. Kazimir Zelenevsky: towards the history of the Guild merchants of Tomsk. In: *Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf. 'Siberian Merchants: Origins, Activities, Heritage'*. Tomsk: TSUAB, 2016. Pp. 93–101. EDN YLJJKH (In Russian).
7. State Archive. Form 6. List 1. Rec. 2034. (In Russian).
8. State Archive. Form 233. List 2. Rec. 1022. (In Russian).
9. State Archive. Form 233. List 2. Rec. 2032. (In Russian).
10. Sitnikova E.V. Merchants Kukhterins contribution to Tomsk architecture. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2018; 20 (5): 35–49. DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-5-35-49. EDN YLJJKH (In Russian).
11. Katalevskaya E.S., Sitnikova E.V. Overall study of mansion at Dzerzhinskii street in Tomsk. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2022; 24 (1): 22–32. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-1-22-32. EDN NSUDAL (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, elen-si@vtomske.ru

Authors Details

Ekaterina S. Katalevskaya, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ezhuzeeva@mail.ru

Elena V. Sitnikova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, elensi@vtomske.ru

Статья поступила в редакцию 15.12.2022
Одобрена после рецензирования 25.12.2022
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 15.12.2022
Approved after review 25.12.2022
Accepted for publication 23.01.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 24–34.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 24–34.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 711.64(44)

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-24-34

ВЫСОТНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЗАСТРОЙКИ НА ПРИМЕРЕ ФРАНЦИИ

Татьяна Евгеньевна Киселева

*Московский архитектурный институт (государственная академия),
г. Москва, Россия*

Аннотация. Статья посвящена принципам и приемам высотного регулирования застройки во Франции.

Цель исследования: подготовить обзор принципов градостроительного регулирования высоты зданий на примере Франции, выявить действенные инструменты регулирования.

Методика исследования основывается на комплексном подходе, включающем в себя анализ местной градостроительной документации и морфологических особенностей застройки.

Новизна работы: примеры регламентных положений и выдержки из статей регламентов, представленные в работе, публикуются впервые.

Выводы статьи: выявлены действенные инструменты «средового» высотного регулирования: относительные регламентные показатели (в том числе правило габаритов) и правило высотной модуляции. Предложено внедрение этих инструментов в российскую практику.

Ключевые слова: высотное регулирование, градостроительный регламент, морфология застройки, архитектура Франции, архитектура жилых зданий

Для цитирования: Киселева Т.Е. Высотное регулирование застройки на примере Франции // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 24–34. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-24-34.

ORIGINAL ARTICLE

BUILDING HEIGHT CONTROL IN FRANCE

Tatiana E. Kiseleva

Moscow Architectural Institute (State Academy), Moscow, Russia

Abstract. Purpose: The aim of this work is to consider the principles of town-planning regulation and building height control in France and identify effective tools for this regulation.

Methodology/approach: The comprehensive approach, which includes the analysis of local urban planning documents and building morphology.

Research findings: Effective tools of town-planning regulation and building height control are identified. The environmental town-planning regulation is the rule of dimensions and flexible regulation is the rule of the height control. Their introduction is proposed.

Practical implications: The results of this work can be implemented in practice in Russia.

Originality/value: Examples of regulatory provisions and excerpts from other papers concerning regulations presented in this work, are published for the first time.

Keywords: height control, town-planning regulation, urban morphology, architecture in France, residential building architecture

For citation: Kiseleva T.E. Building height control in France. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (1): 24–34. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-24-34.

Высотное регулирование застройки играет важную роль в системе градостроительной документации. Оно помогает обеспечить сомасштабность нового строительства существующему, избежать чрезмерных точечных нагрузок на социальную и транспортную инфраструктуру, равномерно распределить плотность. Комплексное высотное регулирование исключает возможность неконтекстуальной точечной застройки, тем самым привнося вклад в создание визуально комфортной городской среды.

Изучение системы высотного регулирования на примере Франции позволяет выявить методы и инструменты, которые могли бы быть применены в российских реалиях.

Абсолютные и относительные предельные показатели

В российской системе градостроительной документации за высотное регулирование отвечают Правила землепользования и застройки. Во Франции аналогичным документом является градостроительный регламент, входящий в состав Местного градостроительного плана города [1] либо в разд. 2 градостроительного регламента нового формата, на который с 2015 г. происходит постепенный переход регламентов образца 2000 г., наиболее распространенных в системе градостроительной документации Франции.

Во Франции (как и в России) градостроительный регламент основывается на карте зонирования. Для каждой территориальной зоны устанавливаются предельные показатели, ограничивающие форму застройки. Высотные ограничения прописаны в ст. 10 текстового градостроительного регламента.

Для анализа методов высотного регулирования застройки французских городов была составлена репрезентативная выборка текстов регламентов. Этой выборкой ставилась задача охватить разные по своему характеру территории: исторические зоны крупных городов, низкоплотную застройку секторов индивидуального строительства, модернистскую послевоенную застройку, высокоплотную застройку конца XX в., современную застройку в зонах комплексного развития территорий (таблица).

Комплексный анализ ст. 10 регламента (высотные ограничения) позволил сделать вывод о двух видах предельных показателей высоты: абсолютных и относительных. Абсолютные предельные показатели высоты, как правило, выражены в виде числа. К ним относятся:

- ограничение высоты строений (в метрах);
- ограничение этажности строений (в количестве этажей);
- ограничение этажности + ограничение высоты строений (в количестве этажей + в метрах).

**Список градостроительных регламентов,
проанализированных в рамках данной работы
A list of urban planning regulations analyzed in this work**

Название города	Названия территориальных зон, проанализированных детально	Комментарии
Amiens	UBca	Зона комплексной застройки Amiens Zac Gate la Vallée
Argenteuil	UCj	Зона «город-сад»
Bagneux	UC, UR	Зона коллективного жилья, зона индивидуальной застройки
Bordeaux	UP1	Исторические зоны города
Courcouronnes	URM2	Зоны плотного коллективного жилья
Gennevilliers	UPa	Зона «город-сад»
Epinaux-sur-Seine (Plaine Commune, межкоммунальный градостроительный план)	UCa	Большой ансамбль, коллективное жилье
Ivry-sur-Seine	UIc	Зона комплексной застройки Ivry Confluences
Levallois-Perret	UA	Зона исторической застройки
Lille (межкоммунальный градостроительный план)	UCM1.1.1	«Сердце города»
Lyon	UPR2	Зона комплексной застройки Lyon Confluences
Marly-le Roi	UC	Большой ансамбль
Marseille	sUci, sUjo; Uap	Зоны комплексной застройки сектора Euromed; зоны исторической застройки центра города
Montrouge	U	Городская зона
Neuilly-sur-Seine	Udb	Озелененные городские зоны
Paris	UG	Объединенная городская зона
Saint-Ouen (Plaine Commune, межкоммунальный градостроительный план)	UP24	Зона комплексной застройки Les Docks de Saint Ouen
Sarcelles	UC	Большие ансамбли, коллективное жилье (Национальная программа реновации)
Versailles	SC, SA	Зоны исторической застройки

В некоторых случаях, если речь идет о местности с сильно выраженным рельефом, высота может устанавливаться по географическим высотным отметкам NGF¹.

¹ Национальная геодезическая система высот Франции.

Вторым видом предельных показателей являются относительные показатели. В отличие от абсолютных, они выражены в виде формулы или геометрической схемы, связывающей одни элементы городской среды с другими. Примером может служить установление предельной высоты здания относительно ширины улицы, называемое во Франции «правилом габаритов» (*règle de prospect, règle de gabarits*).

В основе этого правила заложено несколько принципов. Первый из них – главенство общественного над частным. Устанавливая зависимость высоты зданий от габаритов общественного пространства, регламент формирует иерархию элементов городской среды: пространство улицы является первичным по отношению к частному земельному участку. Второй принцип – средовой подход к развитию города. Здание рассматривается не как отдельный, автономный объект, а как составной элемент уличной системы. Улица выступает в роли своеобразного «общего знаменателя», упорядочивающего застройку вдоль нее.

Частным случаем правила габаритов является формула $H = L$, где H – высота строения, а L – ширина улицы в красных линиях.

Известная с эпохи Возрождения, эта формула используется в градостроительном регламенте французских городов для установления соответствия масштаба застройки той среде, в которой она создается.

Следуя этой формуле, небольшие улицы шириной 6–10 м застраиваются двухэтажными зданиями, тогда как проспекты шириной 50 м выдерживают более высокую застройку до 15–16 этажей (рис. 1).

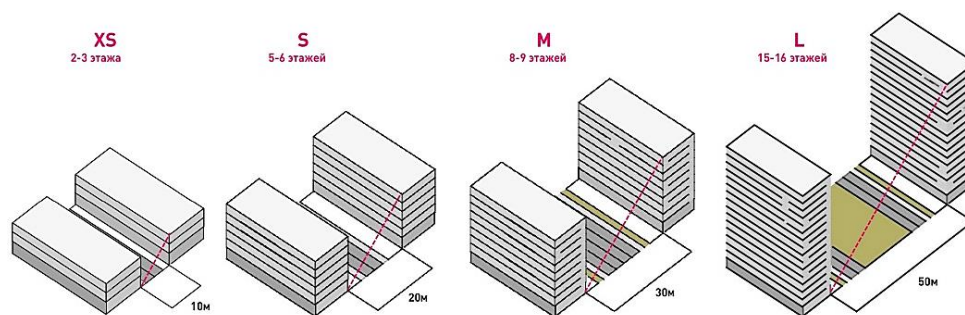


Рис. 1. Иллюстрация правила габаритов $H = L$
Fig. 1. Illustration of dimension rule $H = L$

Применение правила габаритов во Франции имеет богатую историю. Рассмотрим вкратце ее основные этапы на примере Парижа.

Краткий исторический экскурс

Исторически роль правила габаритов (рис. 2) заключалась в обеспечении необходимым светом нижних этажей зданий, расположенных вдоль улицы: в условиях отсутствия нормативов освещения растущая плотность застройки вдоль узких улиц старого Парижа могла негативно сказаться на и без того сложной санитарной ситуации в городе.

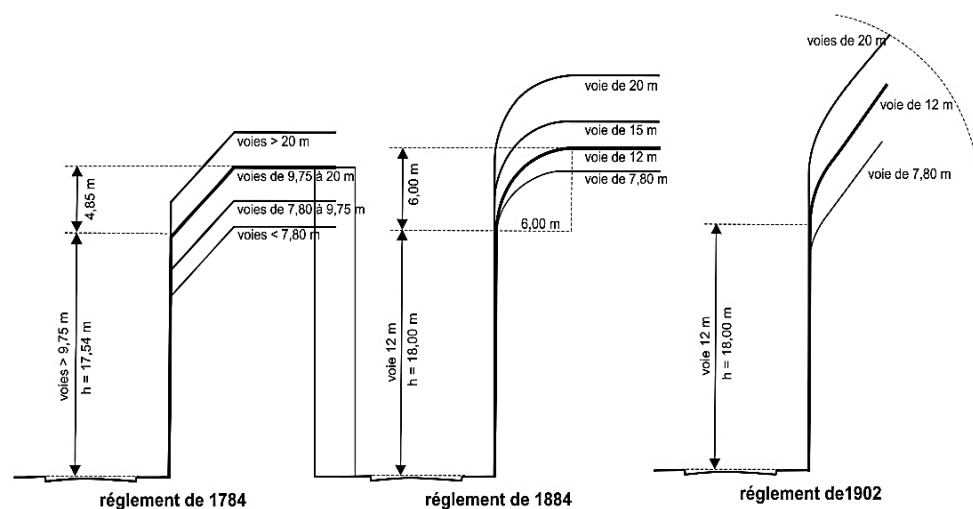


Рис. 2. Эволюция правил габаритов в парижских регламентах
Fig. 2. Dimension rule evolution in Parisian regulations

Правило габаритов застройки парижских улиц появляется в Королевском указе уже в 1783 г.², устанавливая «вертикальные пропорции» уличного пространства:

- для улиц шириной от $\sim 7,3$ до $8,8$ м³ предельную высоту $\sim 13,7$ м (вертикальный прямоугольник с отношением сторон 1:1,5–1:1,8);
- для улиц шириной $\sim 9,1$ м предельную высоту $\sim 18,3$ м для каменных зданий и $\sim 13,7$ м для деревянных зданий;
- для всех других улиц предельную высоту ~ 11 м, включая аттики и мансарды.

Позже регламент 1859 г.⁴ устанавливает схожую зависимость:

- для улиц шириной до $7,8$ м предельную высоту $11,7$ м (вертикальный прямоугольник с отношением сторон 1:1,5);
- для улиц шириной от $7,8$ до $9,75$ м предельную высоту $14,60$ м (вертикальный прямоугольник с отношением сторон 1:1,5–1:1,8);
- для улиц шириной более $9,75$ м предельную высоту $17,55$ м;
- для улиц шириной более 20 м предельную высоту 20 м (квадрат или горизонтальный прямоугольник).

Регламент 1902 г. повышает предельную высоту в городе, устанавливая:

- для улиц шириной до 12 м предельную высоту, равную ширине дороги, увеличенной на 6 м (вертикальный прямоугольник с отношением сторон 1:1,5);
- для улиц шириной от 12 м предельную высоту 18 м, увеличенную на четверть ширины части улицы, превышающей 12 м, при предельной отметке в 20 м.

² В книге [3] представлен обзор эволюции градостроительных регламентов французской столицы.

³ Значения переведены из футов в метры.

⁴ Жан Кастекс, Жан-Шарль Деполь и Филипп Панре в своей книге [4] подробно рассматривают период реконструкции Парижа под руководством барона Османа.

Послевоенный регламент Парижа 1961 г.⁵, открывший путь модернистской застройке французской столицы, повышает общие высотные отметки (абсолютные показатели): 31 м для центральной части и 37 м для периферийной части города. Внутри этих общих отметок высоты зданий снова поставлены в зависимость от ширины улиц, при этом важным отличием модернистского регламента являлась возможность повышать высоту здания при отступе от красной линии.

В современном высотном регулировании застройки Парижа относительные показатели дополняют и обременяют абсолютные.

Карта высотного регулирования Парижа (рис. 3) демонстрирует четыре основные ступени высотных ограничений: 18 и 25 м в центре города, 31 и 37 м в периферийных кварталах. Эту логику впоследствии дополнили высокоплотные сектора новой застройки на юго-востоке Парижа (50 и 180 м). Став первыми попытками либерализации современного высотного регламента Парижа, эти два сектора созданы для проектов башен-близнецов (архитектор Жан Нувель) и крупной зоны комплексного развития Charenton-Bercy.

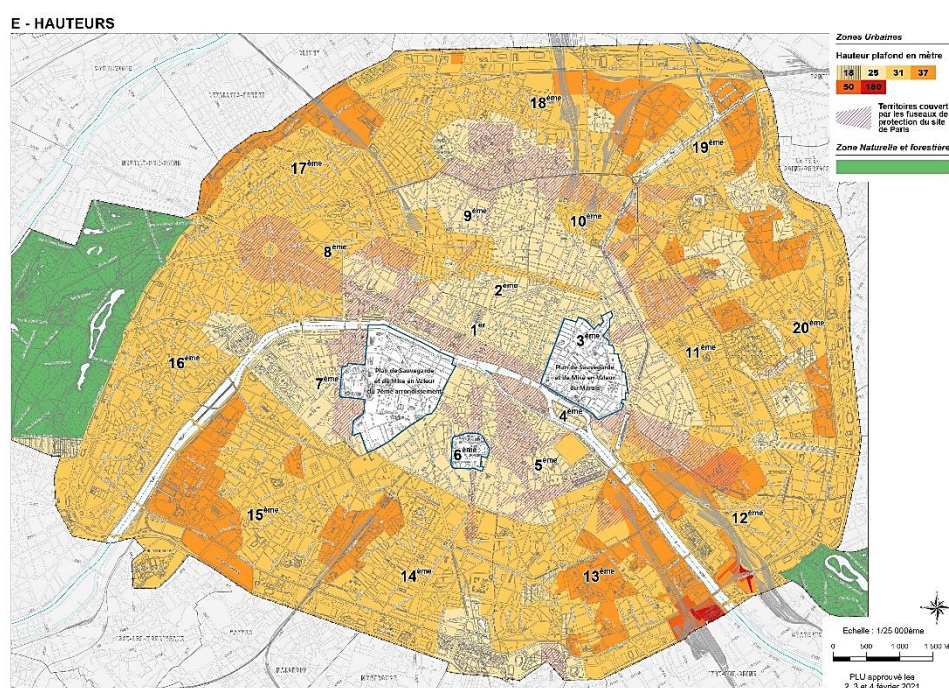


Рис. 3. Карта современного высотного регулирования застройки Парижа

Fig. 3. A map of modern height control in Paris

Сводная карта высотного регулирования Парижа является своего рода исключением из правил в системе градостроительной документации Франции. Если предельная высота, как правило, устанавливается в текстовом документе

⁵ Регламент применяется на практике с 1961 г., хотя его окончательное утверждение датируется 1967 г.

для каждой территориальной зоны, то в случае Парижа это сделать не представлялось возможным из-за отмены зонирования (объединения территориальных зон в Единую городскую зону) [8].

Текстовый регламент Парижа, в свою очередь, устанавливает традиционную зависимость между габаритом улицы и высотой здания.

Правило высотной модуляции

Помимо правила габаритов во французской системе высотного регулирования застройки существует еще один инструмент регулирования, заслуживающий внимания: принцип высотной модуляции (*modulation des hauteurs*). Он применяется, прежде всего, для достижения разнообразия силуэта застройки. Рассмотрим вкратце, в каких условиях он появился.

В 1980–90-х гг. во Франции параллельно существуют две тенденции: выход на первый план частных застройщиков в проектах жилищного строительства и при этом антимонопольная политика, выражающаяся в контроле за сбалансированным распределением проектов между разными девелоперскими компаниями и, следовательно, ограничении размеров кварталов в зонах комплексного развития.

Очевидно, что при ограниченной площади квартала (лота) девелопер стремился к достижению максимальной плотности и, следовательно, высоты. Результатом могли стать поднятые до максимальной отметки и опоясывающие весь периметр квартала объемы зданий.

Как в этих условиях обеспечить разнообразный ландшафт застройки? Как избежать монотонности ее силуэта?

Ответом на эти вопросы стало введение «высотной модуляции». Она была отчасти вдохновлена американской моделью *transfer of development rights*⁶, принципом которой являлся «перенос» неиспользуемого до предельной высотной отметки габарита на соседнее здание, создавая некий регламентный «бонус» (рис. 4).

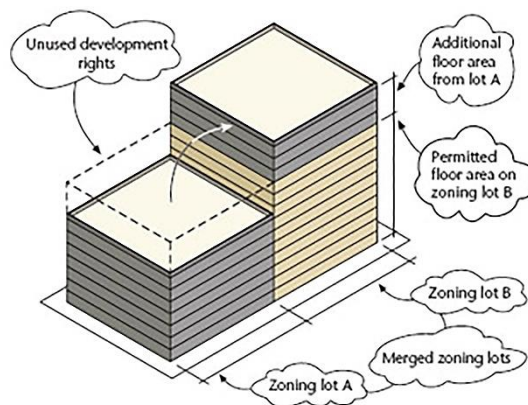


Рис. 4. Схема transfer of development rights, Нью-Йорк
Fig. 4. Schematic of transfer of development rights, New York

⁶ Transferable development rights. URL: <https://www1.nyc.gov/site/planning/plans/transferable-development-rights/transferable-development-rights.page>

С некоторыми изменениями принцип был применен в проекте комплексного развития Paris Rive Gauche архитектором Кристианом де Портзампарком [5]. Авторский градостроительный регламент предполагал уход от монотонной периметральной застройки за счет контрастной этажности и компактных в плане высотных доминант.

При этом регламент Портзампарка устанавливал достаточно жесткий «пространственный конверт» для каждого квартала, буквально определяя его объемно-пространственное решение еще до начала архитектурного проекта. Для каждого квартала был разработан свой регламентный «паспорт», в котором графически отображались возможные объемные решения (рис. 5).

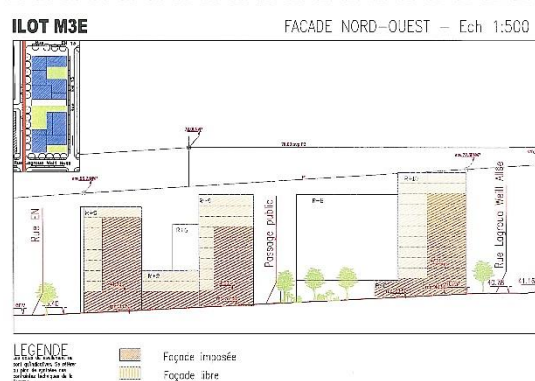


Рис. 5. Объемно-пространственный регламент одного из кварталов и соответствующий регламенту реализованный проект

Fig. 5. Regulated dimensions of volumetric solution of block of houses and residential building built in accordance with regulations

Позже инструмент высотной модуляции был введен архитектурным бюро AUA Paul Chemetov в регламенты территорий комплексного развития в городах Амьен и Иври-сюр-Сен (рис. 6, 7). Рассмотрим их подробнее.

Зона комплексного развития Amiens Zac Gare la Vallée простирается длинной полосой между железнодорожными путями, идущими к вокзалу г. Амьена, и рекой Somme. В соответствии с планом развития территории высота застройки и ее плотность ступенчато понижаются от путей к реке, переходя от плотной коллективной жилой застройки к компактным индивидуальным домам.

Таким образом, в регламенте было выделено три «ступени» предельных высотных отметок: 26, 18 и 12,5 м. Для того чтобы гарантировать постепенный переход между этими ступенями, было введено правило высотной модуляции.

В кварталах с предельной высотой застройки 18 м треть длины здания может выходить за пределы этой отметки при условии компенсационного понижения соседней части здания. Превысить предельную высоту можно до следующей высотной «ступени» (26 м).

Для кварталов с предельной высотой 12 м действует аналогичное правило (возможное превышение предельной отметки до 18 м).

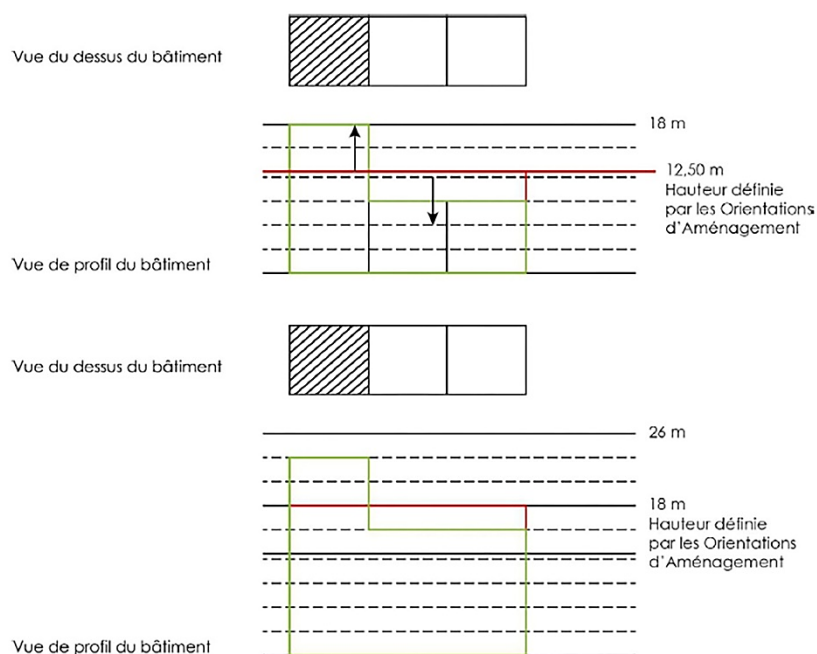


Рис. 6. Правило высотной модуляции. Выдержка из градостроительного регламента г. Амьен [6]

Fig. 6. Height modulation rule. Excerpt from the Amiens town planning regulations [6]

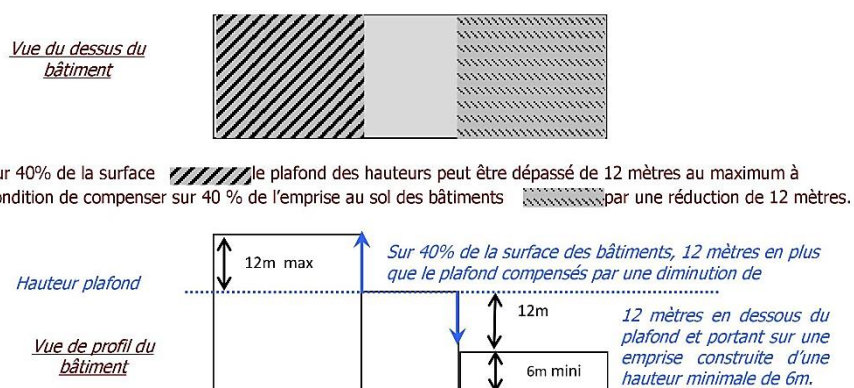


Рис. 7. Правило высотной модуляции. Выдержка из градостроительного регламента г. Иври-сюр-Сен [7]

Fig. 7. Height modulation rule. Excerpt from the Ivry-sur-Seine town planning regulations [7]

Похожего принципа придерживается градостроительный регламент зоны комплексного развития г. Иври-сюр-Сен, юго-восточного пригорода Парижа. До сорока процентов длины фасада здания могут выходить за предельную высотную отметку при условии компенсационного понижения соседней части того же здания.

Таким образом, вместо монотонного фасада можно получить более разнообразную объемную комбинаторику.

Интерес применения рассмотренных инструментов в российской системе градорегулирования

Выявленные в статье инструменты высотного регулирования – относительные предельные показатели (правило габаритов) и правило высотной модуляции – могут быть применены в российских Правилах землепользования и застройки.

Приходится констатировать, что многие из современных проектов комплексной жилой застройки, реализуемых на периферии российских городов, отличаются монотонностью силуэта. В условиях укрупненных планировочных единиц (макрокварталов) и экссивной стандартизации строительства в новых жилых кварталах наметилась критическая нехватка объемного разнообразия застройки.

Градостроительные регламенты, прописанные в Правилах землепользования и застройки, определяют достаточно суммарные, укрупненные предельные показатели плотности и высоты, но не уделяют должного внимания характеру застройки и принципам ее объемно-пространственной организации⁷.

В этих условиях принцип высотной модуляции может стать действенным инструментом достижения более живого *скайлайна*.

Другой насущной проблемой является несомасштабность новой застройки по отношению к существующей внутри сформировавшейся городской ткани в исторических центрах городов. Этой проблемы можно избежать посредством ввода относительных регламентных показателей, связывающих элементы застройки между собой, не позволяя тем самым отдельным объектам нарушить общий баланс.

Введение этих двух параметров недостаточно для достижения гармоничной, разнообразной и сомасштабной человеку городской среды. Необходимо формирование комплексного подхода, основанного на учете морфологических особенностей застройки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Киселева Т.Е. Местный градостроительный план (plan local d'urbanisme) как основа политики развития городов Франции // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2022. № 2 (59). С. 67–70.
2. Ложкин А.Ю. Очерк 9. Регламент. Феномен Остоженки // *Archi.ru*. 2013. URL: <https://archi.ru/russia/47610/ocherk-9-reglament-fenomen-ostozhenki#1> (дата обращения: 17.07.2022).
3. *Arnold Françoise et coll. Aventures architecturales à Paris. L'art dans les règles* / Ed. Picard. 2000. 240 p.
4. *Castex Jean, Depaule Jean-Charles, Panerai Philippe. Formes urbaines: de l'îlot à la barre* / Ed. Parenthèses. 1997. 196 p.
5. *Lucan Jacques. Où va la ville aujourd'hui? Formes urbaines et mixités* / Ed. de la Villette. 2012. 208 p.

⁷ О необходимости введения объемно-пространственного регламента и удачном примере работы с морфологическим регулированием застройки в рамках проекта комплексного развития территории говорится в статье [2].

6. *Plan local d'urbanisme de la ville d'Amiens* (Местный градостроительный план г. Амьен). URL: <https://www.amiens.fr/Vivre-a-Amiens/Urbanisme-Logement/Plan-local-urbanisme> (дата обращения: 17.07.2022).
7. *Plan local d'urbanisme de la ville d'Ivry-sur-Seine* (Местный градостроительный план г. Иври-сюр-Сен). URL: <https://www.ivry94.fr/1087/reglement-d-urbanisme-plan-local-d-urbanisme.htm> (дата обращения: 17.07.2022).
8. *Plan local d'urbanisme de la ville de Paris* (Местный градостроительный план г. Париж). URL: <https://www.paris.fr/pages/le-plan-local-d-urbanisme-plu-2329> (дата обращения: 17.07.2022).

REFERENCES

1. Kiseleva T.E. The plan local d'urbanisme as the basis of urban policy in French cities. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2022; 2 (59): 67–70. (In Russian).
2. Lozhkin A.Y. Urban regulation. The Ostozhenka phenomenon. Available: <https://archi.ru/russia/47610/ocherk-9-reglament-fenomen-ostozhenki#1> (accessed July 17, 2022). (In Russian).
3. *Arnold Françoise, et al. Aventures architecturales à Paris. L'art dans les règles*. Ed. Picard, 2000. 240 p.
4. *Castex Jean, Depaule Jean-Charles, Panerai Philippe. Formes urbaines: de l'îlot à la barre*. Ed. Parenthèses, 1997. 196 p.
5. *Lucan Jacques. Où va la ville aujourd'hui? Formes urbaines et mixités*. Ed. de la Villette, 2012. 208 p.
6. Plan local d'urbanisme de la ville d'Amiens. Available: www.amiens.fr/Vivre-a-Amiens/Urbanisme-Logement/Plan-local-urbanisme (accessed July 17, 2022).
7. Plan local d'urbanisme de la ville d'Ivry-sur-Seine. Available: www.ivry94.fr/1087/reglement-d-urbanisme-plan-local-d-urbanisme.htm (accessed July 17, 2022).
8. Plan local d'urbanisme de la ville de Paris. Available: www.paris.fr/pages/le-plan-local-d-urbanisme-plu-2329 (accessed July 17, 2022).

Сведения об авторе

Киселева Татьяна Евгеньевна, аспирант, Московский архитектурный институт (государственная академия), 107031, г. Москва, ул. Рождественка, 11, корп. 2, kiseleva@hotmail.fr

Author details

Tatiana E. Kiseleva, Research Assistant, Moscow Architectural Institute (State Academy), 11, Rozhdestvenka Str., 107031, Moscow, Russia, kiseleva@hotmail.fr

Статья поступила в редакцию 27.07.2022
Одобрена после рецензирования 22.12.2022
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 27.07.2022
Approved after review 22.12.2022
Accepted for publication 23.01.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 35–49.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 35–49.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 711.1

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-35-49

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В ГОРОДСКОЙ СТРУКТУРЕ

Мохаммад Махди Каширипур

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В настоящее время проблемам устойчивого развития городской структуры уделяется большое внимание. Созревание концепции устойчивости, заложенной в городском планировании и архитектуре, привело к появлению некоторых других подходов и идеологий. Они могут иметь разные акценты и в целом согласуются с принципами и целями устойчивого развития городов. С конца прошлого века применение этой концепции в городской среде повлияло на изменение города и его структуры. Эти изменения должны привести к повышению качества жизни людей и улучшению их отношения к окружающей среде.

Цель настоящего исследования заключается в рассмотрении влияния применения концепции устойчивого развития в основных текстурах города, которые здесь являются структурой города. Основной задачей этой цели является рассмотрение и анализ применения и влияния данной концепции на развитие городских территорий и их структуры, а также проблем, стоящих на пути достижения поставленных целей. Основное внимание уделяется решению проблем влияния данной концепции на городскую структуру. Для достижения этой цели сначала рассматривается понятие устойчивого развития и его применение в городе, а затем города и их структура до применения концепции устойчивого развития и после применения этой концепции в структуре города.

Данный анализ позволил прийти к выводу, что каждый город имеет собственную систему последовательного урбанистического мышления и решений для достижения цели устойчивого развития, определённый подход к структурному решению. В заключении на основании всего анализа автором сформулированы преимущества и недостатки использования такой концепции в структуре города.

Ключевые слова: устойчивое развитие, градостроительство, городская структура, городская территория, дизайн городской среды

Для цитирования: Каширипур М.М. Применение концепции устойчивого развития в городской структуре // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 35–49. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-35-49.

ORIGINAL ARTICLE

**APPLICATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT
CONCEPT TO THE URBAN STRUCTURE****Mohammad M. Kashiripoor***Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. In the modern world, increased attention is paid to the sustainable development of urban areas. The sustainability concept embedded in urban planning and architecture leads to the emergence of some other approaches and ideologies. While they may have different emphases, they generally agree with principles and goals of sustainable urban development. Since the end of the last century, the application of this concept in the city has influenced the city and its structure. Lonely this change must come to an omission of the quality of life and people's relation to the environment.

Purpose: The aim of this work is to examine the influence of application of the sustainable development concept to the city development; consider and analyze this concept. The main attention is paid to problems and solutions of this concept in the urban structure.

Methodology/approach: Consideration of the sustainable development concept and its application in the city; the city analysis before and after the use of this concept; discussion of advantages and disadvantages of this concept.

Research findings: Each city has its own system of coherent urban thinking, a solution to achieve the goal of sustainable development, and a certain approach to a structural solution.

Keywords: sustainable development, urban design, urban structure, urban area, urban environment

For citation: Kashiripoor M.M. Application of sustainable development concept to the urban structure. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (1): 35–49. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-35-49.

Введение

Актуальность работы. При разработке градостроительных документов важную роль играет структура планировки города, определяющая векторы его развития. В настоящее время проблемам устойчивого развития городской структуры уделяется большое внимание. Особенно это характерно для стран развивающихся, т. к. на современном этапе им присуща массовая урбанизация.

В сфере градостроительства концепция устойчивого развития воплощена в направлениях, которые объединены идеей экоустойчивости и охраны окружающей среды. Единое использование такой концепции влияет на основные важнейшие факторы (структуры) города, а также на качество и условия жизни жителей.

Цель работы – применение концепции устойчивого развития города и ее влияние на структуру города.

Решаемые задачи:

- рассмотреть термин «устойчивое развитие»;
- рассмотреть и проанализировать применение концепции устойчивого развития городских территорий и их структуры;
- рассмотреть понятие города и его структуры;
- проанализировать влияние концепции устойчивого развития на структуру города и ее визуальный эффект для жителей;

– выявить проблемы, недостатки концепции устойчивого развития и разработать решения применения ее в городской структуре.

Методика исследования. Для решения поставленных задач проводится: обзор литературы, подходов к понятию концепции устойчивого развития и ее применению в городе, анализ города и его структуры до применения концепции устойчивого развития, а затем анализ в результате применения этой концепции, что позволяет найти решение обозначенных задач для достижения цели исследования.

Основная часть

В настоящее время 55 % населения земного шара живет в городах. Ожидается, что к 2050 г. этот показатель возрастет до 70 %, что сделает урбанизацию одной из самых значительных тенденций XXI в.

Глобальная тенденция урбанизации привела к росту благосостояния, поскольку города генерируют 80 % мировой экономики. Тем не менее при плохом планировании и управлении урбанизация порождает неравенство и уже привела к тому, что миллиард человек живет в трущобах с неадекватными и часто опасными условиями жизни. Однако при правильном управлении и использовании урбанизация может помочь миру преодолеть некоторые из его основных глобальных проблем, включая бедность, неравенство, ухудшение состояния окружающей среды, изменение климата, нестабильность и конфликты.

Устойчивое развитие

Определение и понимание. Понятие устойчивого развития является довольно молодым, первое его употребление фиксируется в докладе комиссии Брантленд (Brundtland Commission), датированном 1987 г. Термин был определен следующим образом: *устойчивое развитие* – есть развитие, которое удовлетворяет потребности поколения людей, не создавая угроз будущим поколениям при удовлетворении собственных потребностей [1].

Концепция устойчивого развития была принята в 1990-х гг. и с тех пор получила широкое распространение в большинстве научных и промышленных отраслей. С момента появления этой концепции были предложены различные определения и применены различные методы для ее реализации. Концепция устойчивого развития общества преобладает в экономической, экологической, социальной и некоторых других стратегиях развитых стран. Суть концепции заключается в том, чтобы сбалансировать эти три составляющие развития жизни общества, т. е. достичь такого состояния, когда развитие экономики и социальной сферы не наносит вреда биосфере (экологии) и, наоборот, когда акцентирование внимания на экологической составляющей не приводит к стагнации экономики страны и социальной сферы. Итак, устойчивое развитие общества – это гармонизация отношений общества и природы.

Как отмечают некоторые авторы, рассматриваемая концепция устойчивого развития неоднозначна с точки зрения науки и общественного мнения. С одной стороны, некоторые исследователи подвергают концепцию резкой критике и интерпретируют ее в качестве мифа и утопии. Они ставят под сомнение принципиальную возможность формирования устойчивой и сбалансиро-

рованной экосистемы обитания человека и говорят о том, что она не имеет научной основы. Более того, Д.Р. Виннер считает мифом идею достижения экологической стабильности. Такая точка зрения не беспочвенна, но слишком узконаправленна.

С другой стороны, есть исследователи, отстаивающие данную концепцию с разных точек зрения. Такие авторы, как В.А. Коптюг, В.М. Матросов и А.Д. Урсул, рассматривают концепцию с позиций общей философии, а такие авторы, как В.Н. Белоусов, А.В. Иконников, Т.А. Саваренская, В.А. Колесников, – в контексте архитектуры.

В рамках указанной концепции было образовано множество новых понятий: экогород, удобство для жизни, или жизнеспособность (liveability), устойчивая городская мобильность и экологический след. В современной реальности, для которой характерен тренд на экологическую составляющую жизни общества, данные термины приобретают все большую популярность. Экогорода и устойчивые города – это тождественные понятия, основой которых является такое проектирование территории, при котором отсутствует негативное влияние на природную сферу. Liveability означает пригодность территории для жизни. А под экологическим следом понимают воздействие жизнедеятельности людей на экологию, то, что они оставляют после себя, – потребляемые ресурсы, поглощаемые отходы и т. д.

Объем и контекст, в котором используются обозначенные термины, различаются. Это могут быть компактные, проходимые кварталы, городская застройка на основе интеграции инфраструктуры транспорта, развитие открытых пространственных систем для релакса, цикличное использование зданий и т. д.

В контексте региона как территории устойчивое развитие аккумулирует в себе сферу экономики, жилищных ресурсов, ресурсов землепользования, охрану экосферы и иные составляющие планирования в комплексный подход к региональному развитию.

Подход к устойчивому городскому развитию включает множество элементов – это и сокращение времени в пути, и обеспечение доступности зеленых насаждений, а также более комплексные организационные меры (справедливость в отношении жилья, качественное образование, защита невозобновляемых природных ресурсов) с далеко идущими последствиями. Такой подход наиболее рационален, т. к. он позволяет соблюдать интересы социума, стимулирует экономическое развитие с учетом потребностей природной сферы, т. е. все три составляющие находятся в гармонии между собой.

Вследствие этого сформировалось десять основных положений концепции устойчивого развития, а именно:

- участие жителей города в его управлении;
- развитие системы местного самоуправления;
- обеспечение равного доступа к природным ресурсам;
- рациональное использование природных ресурсов, поощрение устойчивого производства и потребления;
- устойчивое развитие градостроительства и архитектуры (ограничение расширения города посредством повторного использования заброшенных местностей, регенерации районов неблагополучных, обеспечение интеграции

функций отдельных строений с учетом баланса рабочих мест, услуг и жилья, сохранения культурного и исторического наследия города, продвижения качественной архитектуры, современных технологий в строительстве);

- устойчивая мобильность (сокращение потребности в личном автотранспорте, рост поездок, которые совершаются с применением общественного транспорта, велосипеда и пеших передвижений);

- развитие и совершенствование местных программ и планов, направленных на сохранение здоровья местных жителей;

- устойчивая и активная местная экономика, высокая занятость населения города;

- справедливость и равенство в обществе;

- решение глобальных задач и проблем с учётом местных интересов [2].

Вышеназванные положения нашли отражение во многих научных работах в области градостроительства, архитектуры, транспорта, экономгеографии и др. Ниже представлены этапы развития популярных концепций градостроительства.

Условия применения концепции устойчивого развития города.

В настоящее время устойчивое развитие города рассматривается на уровне общей стратегии, и пока не разработано четких градостроительных критериев, методов проектирования планировочной структуры города и его застройки, удовлетворяющих целям данного подхода. Концепцию устойчивого развития трактуют как актуальную задачу, которую необходимо решать всем жителям и руководителям города, чтобы обеспечить качественную городскую среду, высокий уровень и качество жизнедеятельности людей, баланс между природной и рукотворной средой [3].

Главной целью городского устойчивого развития является обеспечение:

- достойного места жительства для людей;
- здоровья и активного долголетия жителей;
- работой, приносящей удовольствие при достаточном заработке;
- здоровья и сохранности окружающей среды, жизни в балансе с природной средой;
- безопасности имущества и личности;
- стабильности, комфорта для людей;
- развитой инфраструктуры;
- сохранности исторического наследия и элементов культуры;
- сохранности ландшафта;
- застройки, соответствующей высокому архитектурному и художественному уровням [4].

Как видно из перечня, все это может определяться материальными составляющими городской структуры (жилая обеспеченность, здоровые условия жизни, рациональная организация функциональных зон, пространственная доступность социальной инфраструктуры и др.). При этом теоретической базы для разработки градостроительных проектов, в полной мере отвечающих требованиям устойчивого развития, не существует [5].

Практическое применение концепций устойчивого развития в городах. Одновременно с исходной, социально ориентированной концепцией

устойчивого развития в градостроительстве развивались собственные теории, авторы которых стремились поддерживать баланс между урбанизацией и природной средой селитебных территорий.

В 70-х гг. XX столетия возникла так называемая теория **транзитно-ориентированного развития** (или TOD – Transit Oriented Development), автор теории Питер Калторп. Данная теория предполагает формирование планировочных функционально интегрированных образований, которые обеспечены транспортом общественного пользования [6].

С точки зрения планирования города TOD определяется как вид городского развития, который увеличивает количество жилых, коммерческих и развлекательных площадей в пределах пешей доступности от общественного транспорта. Это способствует симбиотической взаимосвязи между плотной, компактной городской формой, дизайном и использованием общественного транспорта.

Это попытка компостировать города и уменьшить зависимость от новых городских застроек на периферии, которые в значительной степени способствуют переходу от немоторизованных к моторизованным видам передвижения. Это создает действительно эффективное и равноправное сообщество.

Развитие, ориентированное на транзит, как правило, концентрирует развитие внутри и вокруг транзитных систем в целях содействия транзитного пассажиропотока, который рассматривается как одна из эффективных стратегий устойчивого развития. TOD – это не просто какое-то развитие вблизи транзита. Преимуществами данного подхода является то, что он:

- повышает «местную эффективность», которая объединяет пешеходный, велосипедный и общественный транспорт для улучшения доступности и делает его пригодным для жизни;
- создает ощущение общности и места;
- способствует увеличению пассажиропотока в общественном транспорте и сокращению использования частных транспортных средств;
- обеспечивает доступную и безопасную среду обитания для сообщества.

Транзит в основном определяется как термин в единственном числе, который обычно используется для описания общих общественных транспортных услуг. Это также относится к таким видам общественного транспорта, как BRTS и MRTS, с учетом того, что ориентированная на транзит застройка предназначена для максимального доступа к общественному транспорту в жилом, коммерческом или многофункциональном районах.

В конечном счете они препятствуют автозависимости человека и способствуют транзитному пассажиропотоку, тем самым уменьшая пробки на дорогах, улучшая качество воздуха и ограничивая выбросы углекислого газа. Район застройки, ориентированный на транзит, обычно имеет центр с железнодорожным вокзалом, станцией метро, трамвайной остановкой или автобусной станцией, окруженный относительно высокой плотностью застройки со все более низкой плотностью застройки, распространяющейся за пределы центра.

По словам известного архитектора и урбаниста П. Калторпа (Peter Calthorpe), концепция развития, ориентированная на транзит, проста: «Жилье средней и высокой плотности, а также дополнительные общественные объекты, рабочие

места, магазины и услуги сосредоточены в многофункциональных комплексах в стратегических точках региональной транспортной системы» [7]. Ориентированная на транзит застройка может иметь другие названия, такие как пешеходные зоны, традиционная застройка микрорайонов, городские поселки или компактные сообщества. Развитие, ориентированное на транзит, подчеркивает «интеграцию транзита на региональной основе» и доступность для пешеходов по соседству.

Питер Калторп кратко изложил принципы городского проектирования, связанные с TOD, а именно:

- региональный рост, учитывающий развитие транзита;
- расположение жилой, социальной и рекреационной инфраструктуры рядом с транспортом;
- соединение жилой, социальной и рекреационной инфраструктуры разветвленной сетью улиц;
- гармонизация таких составляющих, как цена, тип и плотность жилых объектов;
- бережное отношение к экосреде, развитие открытых пространств, сохранение прибрежных территорий;
- уместное размещение объектов социальной инфраструктуры в жилых зонах;
- перепланировка местности в непосредственной близости от транзитных коридоров.

Положительные моменты TOD заключаются в следующем:

- сокращение количества поездок на личном транспорте и, соответственно, снижение загруженности дорожной сети, улучшение качества воздуха вследствие уменьшения выбросов газов;
- создание таких районов, которые будет отличать удобство для людей, передвигающихся пешком, что, в свою очередь, повышает активность жителей и соответствует концепции здорового образа жизни;
- увеличение доступности общественного транспорта, это приводит к его развитию и рентабельности;
- рост стоимости квадратного метра жилой недвижимости, расположенной в непосредственной близости к остановкам транспорта;
- развитие транспортного сообщения с местами работы жителей, что позволяет снизить зависимость от частного транспорта [8].

Концепция TOD аналогична системам пассажирского транспорта, существовавшим в европейских странах во второй половине XX в., но с более сильным акцентом на альтернативный транспорт и комфорт пешеходов.

Десять лет спустя (в 1980-е гг.) в градостроительстве Америки сложилось такое направление, как «*новый урбанизм*». В соответствии с ним выстраивается теория о необходимости создания компактных жилых поселений в пригородах вблизи от больших городов. Такие поселения должны быть соединены с городом развитой сетью автодорог.

Составляющие данной теории – это пешая доступность, развитая сеть дорог и улиц, разные виды застройки, продуманная планировка в совокупности с качественным строительством, структуризация местности, экотранс-

порт, достаточная плотность населения, устойчивое развитие, высокий уровень качества жизни [9].

Продолжением этой теории стала концепция «умного роста» [10]. **Умный рост** (smart growth) – теория городского планирования, направленная на компактную застройку жилых районов, планировка которых основана на тротуарах, а не на масштабном росте территорий застройки.

А. Геллер считает, что основа данной теории – это неизбежность пространственного развития города, которая приводит к необходимости управления данным развитием и его рационализации.

Антонимом умного роста является простой рост, и если умный рост предполагает эффективное поступательное развитие города (разумный рост), то собственно простой рост, наоборот, указывает на неэффективность и стагнацию. Разумный рост нацелен на развитие устойчивых территорий посредством реконструкции и повторного использования застроенных мест при сохранении природных и сельскохозяйственных территорий [12].

Десять принципов умного роста города:

- интеграция образований и застройки;
- применение застройки и планировки компактного вида;
- разные типы жилых застроек;
- формирование районов, удобных для пешеходов;
- применение градостроительного контекста и «духа места»;
- сбережение условий природы;
- реконструкция уже освоенных местностей;
- формирование различных возможностей для перемещения (с помощью транспорта и пешком);
- открытость процесса застройки и проектирования;
- сотрудничество в ходе градостроительного развития общественности и сторон, которые в этом заинтересованы [13, 14].

В начале 90-х гг. XX в. в США были разработаны смарт-коды, демонстрирующие метод разработки городских зданий и планировочных сооружений – проектирование по шаблонам с заданными параметрами застройки и открытыми пространствами [11].

Смарт-коды простыми словами – строительные нормы объемов зданий, размеров пространств через графические шаблоны.

Смарт-коды позволяют комплексно развивать территории, давая конкретные рекомендации по размеру квартала, контурам улиц, неудачам в процессе развития и т. д., чего не хватает традиционному регулированию застройки городов [11].

Смарт-код предлагает объемно-пространственные решения в сочетании с прилегающими открытыми пространствами и основными районами города, выделенными по принципу нарезки (центр, периферия, пригороды, сельское хозяйство) [15].

Смарт-код – это система, отличная от городского планирования, основанного на контроле параметров, используемого во многих странах, таких как США, Германия, Швеция и др. [16].

Следует отметить, что существует четыре типа устойчивых городов:

- *компактные города* – функциональная интеграция, компактность;
- *экогород* – экологическое разнообразие, функционирование экологических и природных ресурсов в городе;
- *неотрадиционная застройка* – возвращение традиционной планировки;
- *сдерживание расползания* – поддержание компактности территорий города и населенных пунктов.

Эти концепции проектирования связаны с проблематикой устойчивости городских форм, но проектировщики разрабатывают такие концепции для нового города или части города.

Таким образом, можно выделить следующие теории применения устойчивого развития в городах:

- теория транзитно-ориентированного развития – данная теория предполагает формирование планировочных функционально интегрированных образований, которые обеспечены транспортом общественного пользования;
- новый урбанизм – компактные поселения в пригородах напротив больших городов;
- умный рост – теория городского планирования, направленная на компактную застройку жилых районов, планировка которых основана на тротуарах, а не на масштабном росте территорий застройки.

Город и его структура

Города – это не просто сумма зданий, а прежде всего набор социальных отношений, которые развивают их жители. Города характеризуются большим разнообразием социальных групп и стилей жизни.

Городская композиция представляет собой форму города, в которой она получает формальный порядок, так что форма любого городского ансамбля связана не со случайным явлением, а с вмешательством, освоенным и понятным.

Планировочная структура города состоит из каркаса (линейных элементов – улиц, рек и т. д.) и узлов (общественных центров, расположенных на пересечении планировочных осей – площадей), а также заполнения каркаса – зон [4]. Выделяют природные составляющие планировочной структуры города (реки, леса, водные поверхности) и антропогенные – созданные человеком. В теории градостроительства выявлены закономерности развития планировки и застройки поселений, установлены критерии эффективности проектных решений. Однако эти критерии нуждаются в уточнении в свете концепции устойчивого развития.

Влияние применения концепции устойчивого развития в городах (визуальный обзор). В связи с применением термина устойчивого развития к городу, возникла необходимость в изменении ряда документов в градостроительстве. Надо принимать во внимание тот факт, что почти 50 лет эта концепция изменяет облик города, и нужно учитывать, как эти изменения выглядят с точки зрения жителей.

Про строительство и планировку нового квартала или района города вопрос более понятен, возможно использование разных форм проектирования,

связанных с концепцией устойчивого развития, что позволяет найти общее решение и связь с политикой города или страны по развитию города. Среди подобных форм можно выделить: *компактный город, экогород, нетрадиционная застройка и сдерживание расползания городов.*

При застройке в черте города чёткие решения, изменения и подходы найти сложнее. После 50 лет применения подхода к изменению качества жизни жителей в городе можно найти хорошие примеры.

Город Амстердам – прекрасный образец для визуального рассмотрения, он широко известен своими градостроительными решениями и применением концепции устойчивого развития. Данный процесс начался с 1970-х гг. с концепции «Пригодность для жизни, или жизнеспособность» (livability). В дальнейшем идея развивалась с учетом принципов устойчивого развития в градостроительстве. На сегодняшний день строительство новых домов и районов этого города соответствует сертификатам и стандартам устойчивого развития. В последние годы этот город входит в список десяти самых благоприятных для жизни городов. Это четко прослеживается при сравнении фото одного и того же места с разницей в 50 лет (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Вид на улицу в Амстердаме с разницей в 50 лет
Fig. 1. A view of the street in Amsterdam 50 years ago and today

Стоит обратить внимание на тот факт, что количество жителей города в данный период увеличилось примерно на 35 %, т. е. масштабы полученных результатов велики.

«Пригодность города для жизни» имеет множество индикаторов, учитывающих точку зрения не только жителей, но ещё и правительства. Попадание в топ-рейтинг указывает на развитие города во всех сферах и на соответствие принципам устойчивого развития: экономически, экологически и социально.



Рис. 2. Вид на открытое пространство в Амстердаме с разницей в 50 лет
Fig. 2. A view of open space in Amsterdam 50 years ago and today

С точки зрения жителей, можно отметить следующие изменения фактуры в структуре города:

Каркас улиц: более эффективно работает общественный транспорт, уделено внимание пешеходным дорогам, развитие инфраструктуры, появление зеленых территорий, велосипедных дорог и развитие их инфраструктуры в местах автомобильных дорог, присутствие людей и акцентирование внимания на общих площадях улиц по отношению к машинам и их владельцам.

Каркас рек: невыделение их из черты города и использование не только как транспортное средство, но и как природную составляющую каркаса города с акцентированием внимания на их качестве и как часть окружающей среды.

Узлы: смещение акцента на присутствие людей, а не машин и развитие инфраструктуры, общественного транспорта для качественного обслуживания жителей, их удобства, т. е. достижение баланса между элементами природы, людьми и машинами, которые являются средством для удобства и обслуживания человека (рис. 2).

Заполнение: здания и зоны, как листья от дерева, наполняют основную территорию города, и между ними присутствует гармония, т. е. учитывается принцип неизменности общего облика города, здания, и зоны связаны с культурно-историческими событиями города. Такие дома строятся из долговечных материалов, с применением современных технологий и в удобном месте для жителей, они не разрушают общий облик города и не вредят окружающей среде.

Надо отметить, что такие подходы в градостроительстве и применение концепции устойчивого развития дублировались во многих странах мира, особенно в странах Западной Европы и Северной Америки.

Преимущества и недостатки применения концепции устойчивого развития в структуре города. По итогам визуального сравнения ситуации в городе и его структуры можно увидеть многие изменения: от ориентации на машины до ориентации на людей, прослеживаются визуальные изменения в структуре города.

В приведенной ниже таблице показаны преимущества и недостатки использования концепции устойчивого развития в городской структуре.

**Преимущества и недостатки использования
концепции устойчивого развития
Advantages and disadvantages of sustainable development concept**

Преимущество	Недостаток
Увеличение доли пешеходов, велодорожек и озеленения вдоль улиц Развитие инфраструктуры и удобства для пешеходов и велосипедистов Эффективная работа общественного транспорта с уменьшением его доли Акцентирование внимания на природной составляющей каркаса города, гармония в структуре города Гармония вновь построенных зданий и сооружений с уже имеющимися в структуре города и с окружающей средой Повышение внимания к культуре и ее показателям в структуре города	Большое количество субсидирования и различных затрат на уровне государства для поддержки устойчивости и ее показателей Увеличение финансовых затрат для жизни и обслуживания населения Необходимость постоянного обновления информации и мониторинга по разным параметрам, который, вероятно, не очень приятен для жителей города

Выводы

Основной целью изучения городской структуры является формирование собственной системы последовательного урбанистического мышления в смысле развития потенциала междисциплинарных подходов в этой области и понимания города. Главными целями городского устойчивого развития являются: обеспечение достойного места жительства для людей, здоровья и активного долголетия; обеспечение жителей работой, приносящей удовольствие при достаточном заработке; сохранности окружающей среды, жизни в балансе с природной средой; обеспечение безопасности имущества и личности; социальной стабильности, комфортной жизни в окружении соседей и друзей; обеспечение доступности объектов инфраструктуры города; сохранения памятников культуры и истории, ландшафта.

Анализ помог определить условия придания развитию города устойчивости. Сложность определяется тремя основными элементами: землей, населением и городской деятельностью, которые по своей конфигурации, размерам и профилю соответственно порождают специфические формы и территориальной организации в городах.

Заключение

Использование концепции устойчивого развития городов в XXI в. решает задачу создания пригодного города для жизни. «Пригодность города для жизни» имеет множество индикаторов, учитывающих точку зрения не только жителей, но ещё и правительства. Попадание в топ-рейтинг указывает на развитие города во всех сферах и на соответствие основным аспектам устойчивого развития: экономическим, экологическим и социальным.

Несмотря на достижение хороших результатов от применения данной концепции в городах, итоговый результат этой концепции ещё далек от совершенства и необходима ее доработка во всех аспектах. Применение концепции устойчивого развития города и его структуры указывает на повышение в XX в. внимания к жителям города и окружающей среде, однако это внимание очень дорогостоящее и многим странам не по карману.

В связи с увеличением населения на земле и темпов урбанизации надо учитывать самые необходимые и очевидные моменты в городах, принимающих такие нагрузки, а это сама структура города. При этом наибольший ущерб получают сами жители города.

В настоящее время устойчивое развитие города рассматривается на уровне общей стратегии, и пока не разработано четких градостроительных критериев, методов проектирования планировочной структуры города и его застройки, удовлетворяющих целям данного подхода. Однако концепция устойчивого развития и устойчивых городов может оказать существенное влияние на процесс развития городов в мировой экономике, поскольку определяет долгосрочные цели и задачи для удовлетворения текущих и будущих потребностей. Такой подход может оказать долгосрочное стимулирующее воздействие на людей, которые в будущем будут жить в гармонии с окружающей средой.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bruntland H.G. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future // UN Documents and policy papers. URL: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (дата обращения: 04.11.2016).
2. Бегун Т.В. Устойчивое развитие: определение, концепция и факторы в контексте моногородов // Экономика, управление, финансы : материалы II Междунар. науч. конф. Пермь : Меркурий, 2012. С. 158–163.
3. Kunzmann K.R. The ESDP, the New Territorial Agenda and the Peripheries in Europe. Valetta, Malta : University Publishers Limited, 2007. 254 p.
4. Яковлев И.Н. Закономерности формирования, тенденции эволюции и механизмы устойчивого развития градостроительных структур высокоурбанизированных объектов Российской Федерации (на примере Самарской области) : специальность 004607972 : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры . Санкт-Петербург, 2010. 381 с.
5. Каширин М.М. Влияние архитектурно-планировочной структуры городов на их устойчивое развитие // Архитектура : сб. научных трудов. 2015. Вып. 8. С. 29–33.
6. Calthorpe P. Urbanism in the Age of Climate Change. New York, NY : Island Press, 2010. 152 p.
7. Calthorpe P., Fulton W. The Regional City: Planning for the End of Sprawl. New York, NY : Island Press, 2001. 328 p.
8. Thadani D.A. The Language of Towns & Cities: A Visual Dictionary. New York, NY : Rizzoli, 2010. 781 p.
9. Ten principles of New Urbanism: Congress for New Urbanism. 2010. URL: <http://www.newurbanism.org/newurbanism/principles.html> (дата обращения: 24.05.2022).
10. Speck J., Lydon M., Duany A. The Smart Growth Manual. New York, NY : McGraw-Hill Professional, 2009. 240 p.
11. Kettren L.E., Anderson C., Bedell J., Campbell M., Freeman H.W., Hoekstra J. Form-Based Codes in Seven Steps – The Michigan Guidebook to Liveability. CNU Michigan, 2010. 144 p.
12. Geller A.L. Smart Growth: A prescription for livable cities // American Journal of Public Health. 2003. V. 93. № 9. P. 1410–1415.

13. *This is Smart Growth* // International City/County Management Association (ICMA – D. Emerine, C. Shenot). U.S. Environmental Protection Agency (EPA – M.K. Bailey, L. Sobel, M. Susman), 2006. – 6 p.
14. *What is smart growth?* // United States Environmental Protection Agency, Smart Growth Network, 2001. URL: <http://www.epa.gov/smartgrowth/pdf/whitissg4v2.pdf> (дата обращения: 01.11.2011).
15. *Greyfields into Goldfields: From Failing Shopping Centers to Great Neighborhoods* // Congress for the New Urbanism and PricewaterhouseCoopers. San Francisco : Congress for the New Urbanism, 2001. 6 p.
16. *Slone D.K., Goldstein D.S., Gowder W.A. A Legal Guide to Urban and Sustainable Development For Planners, Developers and Architects.* John Wiley & Sons, 2008. 368 p.

REFERENCES

1. *Bruntland H.G.* Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. UN Documents and policy papers. Available: www.un-documents.net/our-common-future.pdf (accessed November 4, 2016).
2. *Begun T.V.* Sustainable development: Definition, concept and factors in the context of single-industry towns. In: *Proc. 2nd Int. Sci. Conf. 'Economics, Management, Finances'*, Perm: Merkurii, 2012. Pp. 158-163. (In Russian).
3. *Kunzmann K.R.* The ESDP, the new territorial agenda and the peripheries in Europe. Valetta, Malta: University Publishers Limited, 2007. 254 p.
4. *Yakovlev I.N.* Mechanisms of formation, trends of evolution and sustainable development of urban structures of the high-urbanized sites of the Russian Federation (the Samara Region). DSc Thesis. Saint-Petersburg, 2010. 381 p. (In Russian).
5. *Kashiripour M.M.* The impact of architectural and planning structure of cities on their sustainable development. In: *Coll. Papers 'Architecture'*, vol. 8, 2015. Pp. 29–33. (In Russian).
6. *Calthorpe P.* Urbanism in the age of climate change. New York: Island Press, 2010. 152 p.
7. *Calthorpe P., Fulton W.* The regional city: Planning for the end of sprawl. New York: Island Press, 2001. 328 p.
8. *Thadani D.A.* The language of towns & cities: A visual dictionary. New York: Rizzoli, 2010. 781 p.
9. Ten principles of new urbanism: Congress for New Urbanism, 2010. Available: www.newurbanism.org/newurbanism/principles.html (accessed May 24, 2022).
10. *Speck J., Lydon M., Duany A.* The smart growth manual. New York: McGraw-Hill Professional, 2009. 240 p.
11. *Kettren L.E., Anderson C., Bedell J., Campbell M., Freeman H.W., Hoekstra J.* Form-based codes in seven steps. The Michigan guidebook to liveability. CNU Michigan, 2010. 144 p.
12. *Geller A.L.* Smart growth: A prescription for livable cities. *American Journal of Public Health*. 2003; 93 (9): 1410–1415.
13. *This is Smart Growth.* International City/County Management Association (ICMA – D. Emerine, C. Shenot). U.S. Environmental Protection Agency (EPA – M.K. Bailey, L. Sobel, M. Susman), 2006. 6 p.
14. *What is smart growth?* United States Environmental Protection Agency, Smart Growth Network, 2001. Available: www.epa.gov/smartgrowth/pdf/whitissg4v2.pdf (accessed November 1, 2011).
15. *Greyfields into goldfields: From failing shopping centers to great neighborhoods.* Congress for the New Urbanism and PricewaterhouseCoopers. San Francisco: Congress for the New Urbanism, 2001. 6 p.
16. *Slone D.K., Goldstein D.S., Gowder W.A.* A legal guide to urban and sustainable development for planners, developers and architects. John Wiley & Sons, 2008. 368 p.

Сведения об авторе

Каширипур Мохаммад Махди, канд. архитектуры, доцент, Белорусский национальный технический университет, 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 150, [mkashiripour@gmail.com](mailto:makashiripour@gmail.com)

Author Details

Mohammad M. Kashiripoor, PhD, A/Professor, Belarusian National Technical University,
150, Nezavisimosti Ave., 220013, Minsk, Republic of Belarus, mkashiripoor@gmail.com

Статья поступила в редакцию 10.07.2022
Одобрена после рецензирования 02.12.2022
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 10.07.2022
Approved after review 02.12.2022
Accepted for publication 23.01.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 50–65.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 50–65.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 711:721.012.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-50-65

ВЫЯВЛЕНИЕ ГРАНИЦ ВЫСОТНОСТИ НОВОЙ ЗАСТРОЙКИ В ИСТОРИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ КРУПНОГО ГОРОДА

Владимир Витальевич Ухабин, Наталья Владимировна Соколова

Пензенский государственный университет

архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

Аннотация. Сохранение аутентичности сложившейся застройки исторического центра города и его панорамного восприятия невозможно без регулирования этажности новостроек, появляющихся в процессе реконструкции, реновации и освоения «зелёных» территорий города. Объектом настоящего исследования является историко-архитектурная среда центра крупного города, предметом – методика выявления высотных ограничений в исторической застройке города.

Цель работы – разработка методики выявления границ высотности новой застройки в историческом центре крупного города на основе ландшафтно-визуального анализа с учетом изученного теоретического и практического опыта формирования высотных ограничений в исторических центрах городов.

Предложенная комплексная методика была апробирована в 2021–2022 гг. в условиях исторического центра г. Пензы и получила высокую оценку профессионального сообщества. Сформированная методика вобрала в себя результаты отечественных и зарубежных исследований и практических подходов. Основным из ее достоинств является комплексность и высокое качество получаемых результатов.

Методика достаточно универсальна и может использоваться в условиях различных исторических городов, адаптивна для применения в малых городах, а также приемлема с введением корректировок в крупнейших городах. Методика может использоваться как в целом, так и отдельными этапами в зависимости от градостроительных задач.

Ключевые слова: исторический центр, высотный регламент, ландшафтно-визуальный анализ

Для цитирования: Ухабин В.В., Соколова Н.В. Выявление границ высотности новой застройки в историческом центре крупного города // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 50–65. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-50-65.

ORIGINAL ARTICLE

IDENTIFICATION OF CRITICAL ALTITUDE OF BUILDINGS
IN HISTORICAL CENTER OF A LARGE CITY

Vladimir V. Uhabin, Natalia V. Sokolova

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

Abstract: The authenticity preservation of buildings in the historical center of the city and its panoramic perception, are impossible without regulating the number of storeys of new buildings that appear during the reconstruction, renovation and development of green areas.

Purpose: Methodology development of historical and architectural environment of the large city center to identify the critical altitude of historical buildings.

Methodology: the landscape visual analysis, based on theoretical and practical experience in the critical altitude principle.

Research findings: The proposed methodology was tested in 2021–2022 in the historical center of the city of Penza. It is highly appreciated by the professional community. This methodology includes research of Russian and foreign scientists and practical approaches. High quality of results are obtained.

Practical implications: The proposed methodology is quite universal and can be used in various historical cities, small towns, and also in largest cities. It can be used both as a whole and in separate stages, depending on the urban planning tasks.

Keywords: historical center, critical altitude, landscape visual analysis

For citation: Uhabin V.V., Sokolova N.V. Identification of critical altitude of buildings in historical center of a large city. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (1): 50–65. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-50-65.

Исторический центр города является немым свидетелем его архитектурного, культурного и социально-политического прошлого. В его границах сконцентрированы важнейшие историко-культурные объекты. Сегодня, в век небоскрёбов и урбанизации, историческая застройка подвержена агрессивному подавлению современными сооружениями, вносящими диссонанс в исторически сложившееся пространство города.

Сохранение аутентичности сформировавшейся застройки исторического центра города и его панорамного восприятия невозможно без регулирования этажности новостроек, появляющихся в процессе реконструкции, реновации и освоения «зелёных» территорий. Эта задача в условиях действующего законодательства обрела характер сложно разрешимой проблемы. Появление высотных зданий, возводимых в самых неожиданных местах, стало привычным результатом процесса градостроительной реконструкции. Отсутствие надёжного механизма, основанного на ландшафтно-визуальном анализе и позволяющего регулировать этажность зданий в исторической среде, приводит к следующим проблемам: композиционно-пространственному разрушению среды, искажению и пространственному разрушению сложившихся ансамблей, снижению уровня комфортности среды в результате её переуплотнения, ликвидации озеленения городских территорий, ухудшению условий инсоляции жилых квартир и придомовых территорий. Вследствие ранее пере-

численных проблем появляется цепь новых: тотальное заполнение этих территорий автомобилями в условиях слабого использования подземных пространств, разбалансировка обслуживания населения детскими дошкольными и школьными объектами и т. д. [1].

Объектом настоящего исследования является историко-архитектурная среда центра крупного города, предметом – методика выявления высотных ограничений в исторической застройке города для сохранения средовых характеристик исторического центра.

Цель исследования – разработать методику выявления границ высотности новой застройки в историческом центре крупного города на основе ландшафтно-визуального анализа с учетом изученного теоретического и практического опыта формирования высотных ограничений в исторических центрах городов.

Вопросу формирования высотных ограничений в историческом центре города посвящен целый ряд как российских, так и зарубежных работ. Для выявления особенностей применения ландшафтно-визуального анализа при решении задач охраны объектов культурного наследия и исторических центров городов были изучены работы авторов, рассматривающих приемы сохранения исторической среды в различных градостроительных и природно-ландшафтных условиях. Так, например, Е.Л. Беляева выявляет особенности зрительного восприятия архитектурно-пространственной среды города, Л.А. Ильина и В.Р. Крогиус в своих трудах рассуждают об исторической застройке на активном рельефе и описывают приемы создания архитектурного террасирования, В.Н. Белюсов и Л.Н. Кулага предлагают концепцию визуального единения каждого отдельного архитектурного ансамбля, а также рассуждают о преемственности высотных сооружений в структуре исторического центра города. Особое внимание было уделено работам, описывающим методику проведения ландшафтно-визуального анализа с целью выявления ограничений высотности застройки. Рассмотрены методика С.К. Регамэ, Д.В. Брунса и Г.Б. Омеляненко, основанная на чувственном визуальном восприятии городского ландшафта; методики по определению ограничений высотности на основе лучей видимости, описанные О.И. Пруцыным и Б.Е. Сотниковым [2–8].

Наиболее информативными для настоящей работы стали исследования Т.В. Вавилонской, посвященные г. Самаре, основанные на принципах детального поквартального исследования и разделении территории квартала на пояса застройки, а также практическая работа по г. Краснодару, основанная на аналогичных принципах¹; работы, посвященные Москве² и Лондону, основанные на выявлении главных городских доминант и построении визуальных коридоров к ним; Законы Нью-Йорка, описывающие принципы повышения высотности зданий при визуальном сохранении масштабности улицы путём

¹ Российская Федерация. Администрация Краснодарского края. Об утверждении предмета охраны, границ территории и требований к градостроительным регламентам в границах территории исторического поселения регионального значения города Краснодара Краснодарского края: приказ администрации Краснодарского края от 01.03.2019 № 26-кн.

² Российская Федерация. Правительство Москвы. Об отраслевой схеме высотных ограничений застройки на территории города Москвы (по данным визуально-ландшафтного анализа): Постановление Правительства Москвы от 13.08.2012 № 398-ПП.

возведения многоярусных зданий; работа, посвящённая Ванкуверу, основанная на принципах сохранения визуального наблюдения природного ландшафта и др. [9–17].

В итоге были собраны и проанализированы основные приёмы и инструменты проведения ландшафтно-визуального анализа для различных целей и в различных градостроительных и природно-топографических условиях. На их основе была сформирована «Комплексная методика выявления границ высотности новой застройки в историческом центре крупного города на основе ландшафтно-визуального анализа». Методика состоит из трех этапов: предварительного, основного и заключительного (рис. 1).

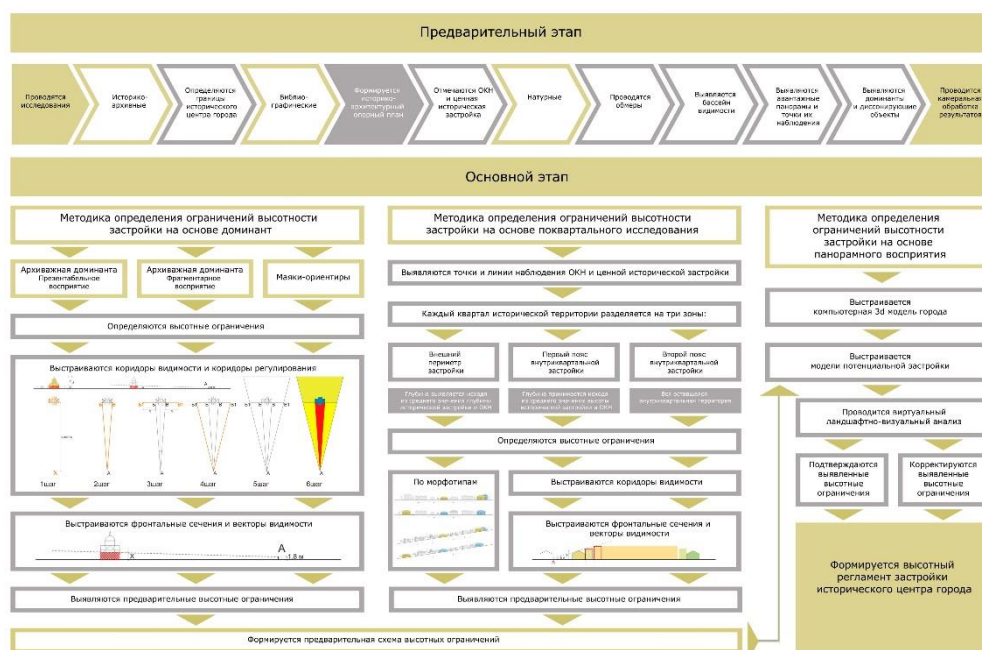


Рис. 1. Комплексная методика выявления границ высотности новой застройки в историческом центре крупного города на основе ландшафтно-визуального анализа

Fig. 1. Comprehensive methodology for identifying critical altitude of historical buildings in the city centre based on landscape visual analysis

Предварительный этап. На предварительном этапе – важном для формирования прикладной базы будущего исследования – проводятся историко-архивные и библиографические исследования, натурные исследования, определяются границы исторического центра города на основе ретроспективного анализа исторических планов, разрабатывается историко-архитектурный опорный план: отмечаются здания, являющиеся объектами культурного наследия, а также ценная историческая застройка, выявляются существующие и утраченные исторические и современные доминанты, диссонирующие объекты. Важным итогом натурных исследований является установление высотных габаритов объектов культурного наследия и исторической застройки. При этом следует

отметить рельефные изогипсы и их цифровые значения, особенности городского ландшафта, точки панорамных и видовых раскрытий, смотровые площадки, основные точки наблюдения, зоны наилучшего зрительного восприятия архитектурных памятников, бассейны видимости архитектурных ансамблей и отдельных доминант (архиважных доминант и маяков-ориентиров). Также выявляются точки и линии наблюдения наиболее презентабельных панорам и видов на исторический центр. При этом точки и линии наблюдения панорам должны располагаться в социально доступных общественных пространствах города на расстоянии не дальше чем 3000 м.

Основной этап. На данном этапе предлагается выполнить три основных шага по определению ограничений высотности застройки:

1) определение ограничений высотности застройки на основе доминант (архиважных доминант (при презентабельном и фрагментарном восприятии) и маяков-ориентиров);

2) определение ограничений высотности застройки на основе поквартального исследования;

3) определение ограничений высотности застройки на основе панорамного восприятия.

Определение ограничений высотности застройки на основе доминант. В роли доминант рассматриваются главные историко-культурные и градоформирующие объекты и ансамбли, имеющие главенствующее значение в восприятии городского пространства и называемые архиважными доминантами, а также историко-культурные и градоформирующие объекты и ансамбли, имеющие второстепенное значение и называемые маяками-ориентирами. Выявляются дальние точки и линии наблюдения наиболее важного восприятия доминант. При этом точки и линии наблюдения должны находиться в социально доступных общественных пространствах города на расстоянии не дальше чем 2000 м, т. е. данная дистанция является пороговой для восприятия отдельных архитектурных объектов.

Восприятие архиважной доминанты подразделяется на презентабельное и фрагментарное. Презентабельное восприятие архиважной доминанты подразумевает возможность целено воспринимать силуэт, объём и архитектурные детали объекта, фрагментарное – возможность визуально зафиксировать большую детальную часть объекта и распознать его. Габариты визуально воспринимаемого фрагмента архиважной доминанты должны составлять не меньше 20 % от общих габаритов здания. Иные точки наблюдения не фиксируются.

Для определения ограничений высотности застройки на основе презентабельного восприятия архиважных доминант выполняются следующие действия. Из каждой точки (линии) наблюдения выстраиваются два коридора: первый – обозначает целенаправленное точечное восприятие непосредственно архиважной доминанты (коридор видимости), второй – зону для принятия высотных ограничений (коридор регулирования). Коридор видимости, направленный на архиважную доминанту, выстраивается на плане с помощью двух лучей, направленных из точки (линии) наблюдения и проходящих по касательной по отношению к крайним точкам силуэта архиважной доминанты (рис. 2, 1-й и 2-й шаги).

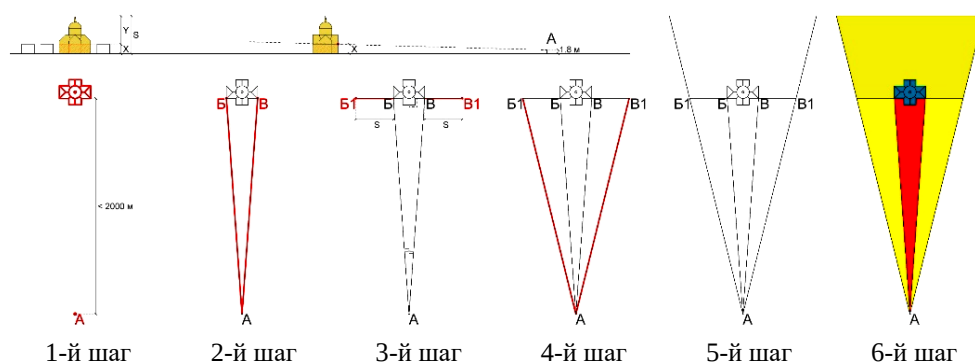


Рис. 2. Построение коридоров видимости и регулирования в условиях презентабельного восприятия доминанты:

A – точка наблюдения; B, B – крайние точки силуэта доминанты (коридор видимости); B₁, B₁ – крайние точки коридора регулирования; x – скрытый от наблюдателя фрагмент доминанты; y – видимый фрагмент доминанты; s – высота доминанты

Fig. 2. Construction of visibility and regulation corridors under presentable dominant perception:

A – observation point; B, B – extreme points of dominant silhouette (visibility corridor); B₁, B₁ – extreme points of regulation corridor; x – dominant fragment hidden from observer; y – visible dominant fragment; s – dominant height

Коридор регулирования, направленный на архиважную доминанту, выстраивается на плане следующим образом: из точек пересечения выстроенных лучей коридора видимости и архиважной доминанты проводятся отрезки, перпендикулярные биссектрисе выстроенного коридора видимости и равные высоте архиважной доминанты (для сохранения ансамблевости и визуальной целостности). В итоге выстраивается коридор регулирования с помощью двух лучей, направленных из точки (линии) наблюдения к точкам проведенных отрезков. На плане коридор видимости и коридор регулирования накладываются друг на друга (рис. 2, шаги с 3-го по 6-й). Во фронтальном сечении коридор регулирования выстраивается в виде вектора: от каждой точки (линии) наблюдения с уровня человеческих глаз выстраивается вектор видимости, направленный на доминирующую над окружающей исторической застройкой часть архиважной доминанты (уровнем человеческих глаз принята высота 180 см от уровня земли).

Для определения ограничений высотности застройки на основе фрагментарного восприятия архиважных доминант выполняются действия, аналогичные описанным выше. Из каждой точки (линии) наблюдения выстраивается два коридора (коридор видимости и коридор регулирования). Коридор видимости, направленный на видимый фрагмент архиважной доминанты, выстраивается на плане с помощью двух лучей, направленных из точки (линии) наблюдения и проходящих по касательной по отношению к видимому фрагменту архиважной доминанты (рис. 3, 1-й и 2-й шаги).

Коридор регулирования, направленный на видимый фрагмент архиважной доминанты, выстраивается на плане в зависимости от ситуации «затенения»: горизонтального или кулисного. При горизонтальном затенении – следующим образом: из точек пересечения выстроенных лучей коридора видимости

и видимого фрагмента архиважной доминанты проводятся отрезки, перпендикулярные биссектрисе выстроенного коридора видимости и равные высоте видимого фрагмента архиважной доминанты. В итоге выстраивается коридор регулирования с помощью двух лучей, направленных из точки (линии) наблюдения к точкам проведенных отрезков. При кулисном затенении коридор регулирования выстраивается, проходя по касательной к плану затеняющего здания. На плане коридор видимости и коридор регулирования накладываются друг на друга (рис. 3, шаги с 3-го по 6-й). Во фронтальном сечении коридор регулирования выстраивается в виде вектора. Из каждой точки (линии) наблюдения с уровня человеческих глаз выстраивается вектор видимости, направленный на нижний уровень видимого фрагмента архиважной доминанты.

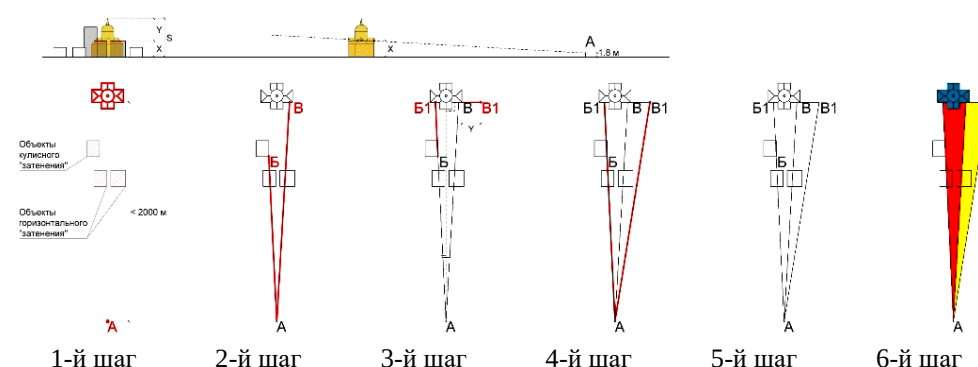


Рис. 3. Построение коридоров видимости и регулирования в условиях фрагментарного восприятия доминанты:

А – точка наблюдения; Б, В – крайние точки силуэта доминанты (коридор видимости); Б₁, В₁ – крайние точки коридора регулирования; х – скрытый от наблюдателя фрагмент доминанты; у – видимый фрагмент доминанты; s – высота доминанты

Fig. 3. Construction of visibility and regulation corridors under fragmental dominant perception: А – observation point; Б, В – extreme points of dominant silhouette (visibility corridor); Б₁, В₁ – extreme points of regulation corridor; х – dominant fragment hidden from observer; у – visible dominant fragment; s – dominant height

Для определения ограничений высотности застройки на основе восприятия высотных исторических доминант, легко воспринимаемых при созерцании панорамы города и служащих ориентирами для пешеходно-туристического движения, – маяков-ориентиров – выполняются те же действия, что и для архиважных доминант: на плане выстраиваются коридор видимости и коридор регулирования, во фронтальном сечении коридор регулирования выстраивается в виде вектора.

Предварительное значение высотных ограничений в зонах коридоров регулирования определяется равным длине отрезков, выстроенных во фронтальном сечении, ограниченных уровнем земли (учитывая рельеф) и вектором видимости.

Определение ограничений высотности застройки на основе поквартирного исследования. Для определения ограничений высотности застройки

на основе поквартального исследования используется ранее сформированный историко-архитектурный опорный план с отмеченными в каждом квартале объектами культурного наследия (ОКН) и ценной исторической застройки. Выявляются точки и линии наблюдения каждого отдельного ОКН и объекта ценной исторической застройки. При этом точки и линии наблюдения должны находиться в социально доступных общественных пространствах города на расстоянии не дальше чем 500 м. Именно такая дистанция является предельной для хорошего восприятия отдельных элементов зданий.

Каждый отдельный квартал исторической территории разделяется на три зоны: внешний периметр застройки, первый пояс внутриквартальной застройки и второй пояс внутриквартальной застройки. При этом глубина (ширина) внешнего периметра застройки выявляется исходя из среднего значения глубины исторической застройки и объектов культурного наследия. Первый пояс внутриквартальной застройки предназначен для обеспечения инсоляционных и противопожарных разрывов, а также служит резервом для потенциальной реконструкции, достройки и пристройки фронтальной исторической застройки. Его глубина (ширина) принимается исходя из средней высоты исторической застройки. Вторым поясом внутриквартальной застройки является вся оставшаяся внутриквартальная зона.

Высотные ограничения во внешнем периметре застройки выявляются по принципам морфологической преемственности. Потенциальная застройка по своим габаритам должна быть уместной в исторически сложившемся морфотипе, например малоэтажной застройки с приусадебными участками, малоэтажной разреженной застройки, периметрально-компактной застройки и пр. При отсутствии данных о морфотипах застройки предлагается устанавливать высотные ограничения в соответствии со следующими рекомендациями.

Во-первых, для сохранения качественного восприятия обзораемого объекта выявляются зоны фонового восприятия, действующие в пределах внешнего периметра застройки: зона Δ , зона Ω . Для исторической застройки, не являющейся ОКН, выявляется лишь зона Δ . Зона Δ определяется путём геометрического построения коридоров видимости по отношению к крайним точкам фасада рассматриваемого архитектурного объекта в масштабах улицы с учетом бинокулярного зрения человека, составляющего угол в 120° , и максимального значения ширины самой улицы. Зона Ω определяется путём геометрического построения коридоров видимости в радиусе от 50 до 500 м от ОКН (в зависимости от восприятия от бокового до фронтального соответственно) с учетом приемлемого для качественного восприятия объекта угла зрения, равного 27° (рис. 4).

Далее выявляются высотные ограничения во внешнем периметре застройки. При этом учитывается наличие или отсутствие активного рельефа и ОКН.

На спокойном рельефе при наличии памятника архитектуры. Высота в зоне Δ от ОКН не должна превышать высоту, равную высоте близстоящего ОКН (по карнизу и по коньку крыши). При этом при непосредственном соседстве двух ОКН во внешнем периметре застройки в зоне Δ от меньшего по высоте ОКН допускается возведение многоярусных зданий. Первый ярус по карнизу не должен превышать высоту, равную высоте меньшего ОКН. Второй

ярус при отдалении плоскости фасада на 1,5 м от внешнего фронта застройки не должен превышать высоту, равную высоте большего ОКН (по карнизу и по коньку крыши). Высота в зоне Ω от ОКН не должна превышать высоту, равную высоте самого высокого ОКН, находящегося в рассматриваемом квартале (по карнизу и/или по коньку крыши). Высота в зоне внешнего периметра застройки за пределами Δ и Ω не должна превышать высоту, равную высоте самого высокого ОКН (или высоту самого высокого исторически ценного объекта, в случае его большей масштабности), находящегося в рассматриваемом квартале (по карнизу и по коньку крыши) (рис. 5, 6).

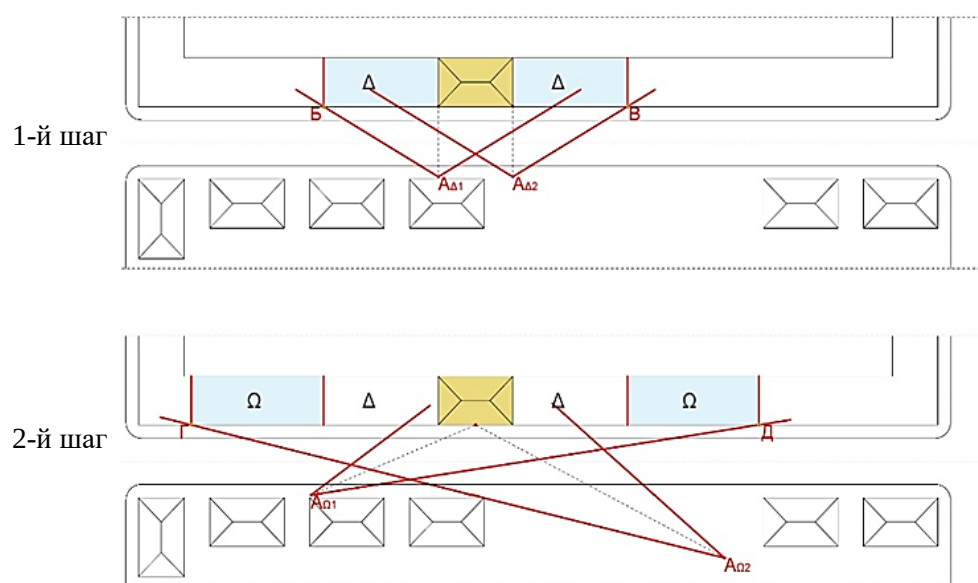


Рис. 4. Выявление зон Δ и Ω во внешнем периметре застройки

Fig. 4. Identification of Δ and Ω zones in the outer perimeter

На спокойном рельефе при отсутствии памятника архитектуры (ОКН) среди исторической застройки. Высота в зоне Δ от ценного исторического объекта не должна превышать высоту, равную высоте близстоящего исторического объекта (по карнизу и по коньку крыши). При этом допускается возведение многоярусных зданий. Первый ярус по карнизу не должен превышать высоту, равную высоте ценного исторического объекта. Второй ярус при отдалении плоскости фасада на 1,5 м от внешнего фронта застройки не должен превышать высоту, равную высоте самого высокого исторически ценного объекта, находящегося в рассматриваемом квартале, и самого высокого ОКН, находящегося в соседних ему кварталах (по карнизу и по коньку крыши). Высота в зоне внешнего периметра застройки за пределами Δ не должна превышать высоту, равную высоте самого высокого исторически ценного объекта, находящегося в рассматриваемом квартале, или ОКН, находящегося в рассматриваемом и соседних ему кварталах (рис. 7).

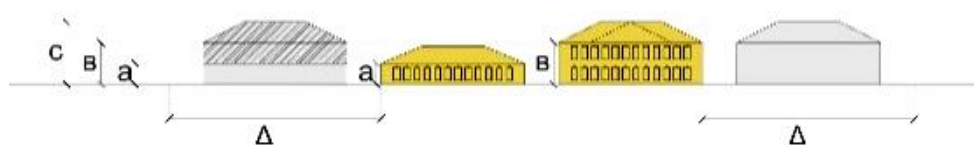


Рис. 5. Высотные ограничения в зоне Δ при непосредственном соседстве двух ОКН:

a – наименьшая высота ОКН; b – наибольшая высота ОКН; c – максимально допустимая высота новой застройки

Fig. 5. Critical altitude in zone Δ at neighboring cultural heritage sites:

a – lowest height; b – highest height; c – maximum allowable height of new building

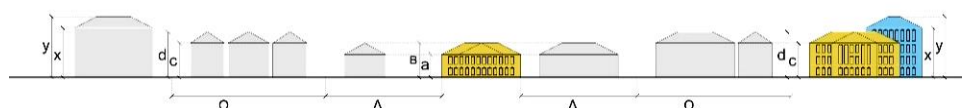


Рис. 6. Высотные ограничения во внешнем периметре застройки на спокойном рельефе при наличии ОКН:

a/b – наименьшая высота ОКН (по карнизу/по коньку); c/d – наибольшая высота ОКН (по карнизу/по коньку); x/y – максимально допустимая высота новой застройки (по карнизу/по коньку)

Fig. 6. Critical altitude in the outer perimeter, on smooth topography with cultural heritage sites:

a/b – lowest height (bench/fust); c/d – highest height (bench/fust); x/y – maximum allowable height of new building (bench/fust)

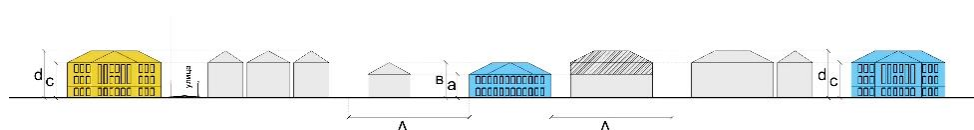


Рис. 7. Высотные ограничения во внешнем периметре застройки на спокойном рельефе при отсутствии ОКН среди исторической застройки:

a/b – наименьшая высота ценного исторического объекта (по карнизу/по коньку); c/d – наибольшая высота ценного исторического объекта и/или ОКН, расположенного в соседнем квартале (по карнизу/по коньку)

Fig. 7. Critical altitude in the outer perimeter, on smooth topography without cultural heritage sites:

a/b – lowest height of valuable historical site (bench/fust); c/d – highest height of valuable historical site and/or cultural heritage site in the neighboring town block (bench/fust)

На активном рельефе при наличии памятника архитектуры (ОКН) высота в зоне Δ не должна превышать высоту, равную высоте близстоящего ОКН (по карнизу и по коньку крыши). При этом, при возведении здания ниже по рельефу, допускается строительство многоярусных зданий. Первый ярус по рельефу, допускается строительство многоярусных зданий. Первый ярус по рельефу не должен превышать высоту, равную высоте близстоящего ОКН. Второй ярус, при отдалении плоскости фасада на 1,5 м от внешнего фронта застройки, не должен превышать высоту, равную высоте близстоящего ОКН относительно уровня земли возводимого здания (по карнизу и по коньку крыши). Высота в зоне Ω не должна превышать высоту, равную высоте само-

го высокого ОКН, находящегося в рассматриваемом квартале (по карнизу и по коньку крыши). При возведении здания ниже по рельефу допускается строительство многоярусных зданий. Первый ярус по карнизу не должен превышать высоту, равную высоте самого высокого ОКН, находящегося в рассматриваемом квартале. Второй ярус при отдалении плоскости фасада на 1,5 м от внешнего фронта застройки не должен превышать высоту, равную высоте, принятой для второго яруса в зоне Δ .

Высота в зоне внешнего периметра застройки за пределами Δ и Ω не должна превышать высоту, равную высоте самого высокого ОКН (или высоту самого высокого исторически ценного объекта, в случае его большей масштабности), находящегося в рассматриваемом квартале (по карнизу и по коньку крыши). При возведении здания ниже по рельефу допускается возведение многоярусных зданий. Первый ярус по карнизу не должен превышать высоту, равную высоте самого высокого ОКН (или высоту самого высокого исторически ценного объекта, в случае его большей масштабности), находящегося в рассматриваемом квартале. Второй ярус при отдалении плоскости фасада на 1,5 м от внешнего фронта застройки не должен превышать высоту, принятую для второго яруса в зоне Δ (рис. 8).

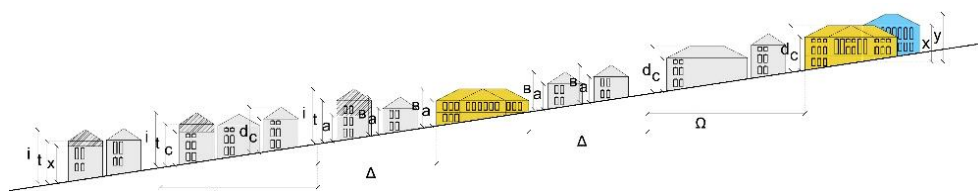


Рис. 8. Высотные ограничения во внешнем периметре застройки на активном рельефе при наличии ОКН:

a/b – наименьшая высота ОКН (по карнизу/по коньку); c/d – наибольшая высота ОКН (по карнизу/по коньку); x/y – максимально допустимая высота новой застройки выше по рельефу (по карнизу/по коньку); t/i – максимально допустимая высота новой застройки ниже по рельефу (по карнизу/по коньку)

Fig. 8. Critical altitude in the outer perimeter, on nonuniform topography with cultural heritage sites:

a/b – lowest height (bench/fust); c/d – highest height (bench/fust); x/y – maximum allowable height (bench/fust); t/i – maximum allowable height down the topography (bench/fust)

На активном рельефе при отсутствии памятника архитектуры среди исторической застройки высота в зоне Δ не должна превышать высоту, равную высоте близстоящего ценного исторического объекта (по карнизу и по коньку крыши). При этом при возведении здания ниже по рельефу допускается строительство многоярусных зданий. Первый ярус по карнизу не должен превышать высоту, равную высоте близстоящего ценного исторического объекта. Второй ярус при отдалении плоскости фасада на 1,5 м от внешнего фронта застройки не должен превышать высоту, равную высоте ценного исторического объекта относительно уровня земли возводимого здания (по карнизу и по коньку крыши).

Высота в зоне внешнего периметра застройки за пределами Δ не должна превышать высоту, равную высоте самого высокого ценного исторического объекта, находящегося в рассматриваемом квартале, или ОКН, находящегося в рассматриваемом и соседних ему кварталах. При возведении здания ниже по рельефу допускается строительство многоярусных зданий. Первый ярус по карнизу не должен превышать высоту, равную высоте самого высокого ценного исторического объекта, находящегося в рассматриваемом квартале. Второй ярус при отдалении плоскости фасада на 1,5 м от внешнего фронта застройки не должен превышать высоту, равную высоте, принятой для второго яруса в зоне Δ (рис. 9).

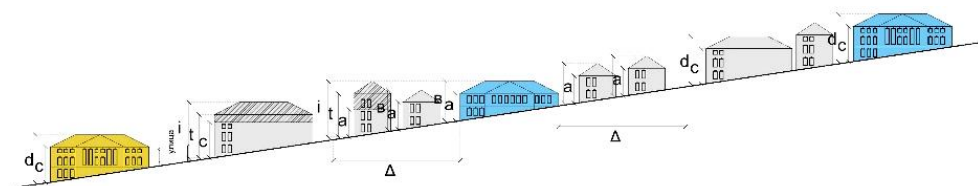


Рис. 9. Высотные ограничения во внешнем периметре застройки на активном рельефе при отсутствии ОКН среди исторической застройки:

a/b – наименьшая высота ценного исторического объекта (по карнизу/по коньку); c/d – наибольшая высота ценного исторического объекта и/или ОКН, расположенного в соседнем квартале (по карнизу/по коньку); t/i – максимально допустимая высота новой застройки ниже по рельефу (по карнизу/по коньку)

Fig. 9. Critical altitude in the outer perimeter, on nonuniform topography without cultural heritage sites:

a/b – lowest height of valuable historical site (bench/fust); c/d – highest height of valuable historical site and/or cultural heritage site in the neighboring town block (bench/fust); t/i – maximum allowable height down the topography (bench/fust)

Следующим действием является выявление высотных ограничений в первом и втором поясе внутриквартальной застройки.

Из каждой точки (линии) наблюдения каждого отдельного ОКН выстраивается коридор видимости, направленный на высшую точку ОКН (конёк крыши, карниз и т. п.). На плане коридор видимости выстраивается с помощью двух лучей, направленных из точки (линии) наблюдения и проходящих по касательной по отношению к ОКН; во фронтальном сечении коридоры видимости выстраиваются в виде векторов, направленных с уровня человеческих глаз на высшую точку ОКН (конёк крыши, карниз и т. п.). Уровнем человеческих глаз принимается высота 180 см от уровня земли.

Длина отрезков, выстроенных во фронтальном сечении из внешних границ первого пояса внутриквартальной застройки и второго пояса внутриквартальной застройки, ограниченных уровнем земли (учитывая рельеф) и вектором видимости, является предварительным значением высотных ограничений в зонах коридоров видимости первого пояса внутриквартальной застройки и второго пояса внутриквартальной застройки соответственно.

По завершении вышеописанных этапов каждая из полученных схем (схема «Архиважная доминанта презентабельное восприятие», схема «Архи-

важная доминанта фрагментарное восприятие», схема «Маяки-ориентиры», схема «Определение высотности застройки на основе поквартального исследования») накладывается друг на друга, высотные ограничения, имеющие более строгое, т. е. меньшее значение, становятся предварительно решающими в формировании высотного регламента.

Определение ограничений высотности застройки на основе панорамного восприятия. По завершении шагов «Определение высотности застройки на основе доминант» и «Определение высотности застройки на основе поквартального исследования» выполняется последний шаг – «Определение высотности застройки на основе панорамного восприятия», являющийся проверочным. Выстраивается компьютерная модель исторического центра города с учётом рельефа и существующей застройки. Для этого могут быть использованы различные программы. Степень генерализации рельефа и застройки принимается с учетом минимальной потери достоверности получаемых результатов. Далее в компьютерной модели выстраиваются условные модели потенциальной застройки в виде прямоугольных параллелепипедов (условные модули потенциальной застройки). В плане фигуры предлагается принимать размером 30×30 м, высоту – из результатов вышеописанных этапов.

На основе полученной цифровой модели проводится виртуальный визуальный анализ, аналогичный реальному: проверяются все выявленные презентационные панорамы города, раскрытия улиц и видовые раскрытия со смотровых площадок, существующих и потенциальных. При обнаружении диссонирующих объектов (среди вновь возведённых) принятые высотные ограничения ужесточаются и проверяются путём понижения высоты модели. При отсутствии диссонирующих объектов (среди вновь возведённых) принятые высотные ограничения по результатам первых двух этапов становятся решающими в формировании высотного регламента.

Заключительный этап. Итогом всей работы и завершающим этапом служит создание высотного регламента, регулирующего высоту новой застройки в историческом центре города в виде карты и текстового документа. Данный регламент может быть как самостоятельным документом, так и частью уже сложившейся системы градостроительной документации. Он может стать частью правил землепользования и застройки, а также регламента, устанавливаемого для исторического поселения или объединенной охранной зоны объектов культурного наследия.

Предложенная методика была апробирована в 2021–2022 гг. в условиях исторического центра г. Пензы [18]. На ее основе в рамках магистерской диссертации был разработан «Высотный регламент исторического центра города Пензы», получивший высокую оценку профессионального сообщества. Сформированная методика вобрала в себя опыт и приёмы отечественных и зарубежных исследований и практических подходов. Основным из ее достоинств является комплексность и высокая достоверность получаемых результатов. При этом методика достаточно универсальна и может использоваться в условиях различных исторических городов, адаптивна для применения в малых городах, а также приемлема с введением корректировок в крупнейших городах. Методи-

ка может использоваться как в целом, так и отдельными этапами в зависимости от градостроительных задач.

Применение предлагаемой комплексной методики выявления границ высотности новой застройки в историческом центре крупного города на основе ландшафтно-визуального анализа позволит остановить композиционно-пространственное разрушение исторической среды города и повысить комфортность проживания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Соколова Н.В., Ухабин В.В. Методики ландшафтно-визуального анализа при регулировании высотности застройки в исторических центрах городов // Вопросы планировки и застройки городов : материалы XXXIII Международной научно-практической конференции. Пенза : ПГУАС, 2021. С. 24–31.
2. Беляева Е.Л. Архитектурно-пространственная среда города как объект зрительного восприятия. Москва : Стройиздат, 1977. 125 с.
3. Крогиус В.Р. Город и рельеф. Москва : Стройиздат, 1979. 120 с.
4. Белоусов В.Н., Кулага Л.Н. Основы формирования архитектурно-художественного облика городов. Москва : Стройиздат, 1981. 190 с.
5. Регамэ С.К., Брунс Д.В., Омеляненко Г.Б. Сочетание новой и сложившейся застройки при реконструкции городов / Центр. н.-и. и проект. ин-т по градостроительству. Москва : Стройиздат, 1989. 142 с.
6. Пруцын О.И., Рымашевский Б., Борусевич В. Архитектурно-историческая среда / под ред. О.И. Пруцын. Москва : Стройиздат, 1990. 408 с.
7. Архитектурно-историческая среда // сост. Б.Е. Сотников. Ульяновск : УлГТУ, 2010. 208 с.
8. Ухабин В.В., Соколова Н.В. Изучение особенностей зрительного восприятия архитектурных объектов и городской среды // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2022. № 3 (40). С. 235–245.
9. Вавилонская Т.В., Черняк Н.В. Концепция высотного регулирования застройки исторического центра Самары // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 2. С. 6–11.
10. London View Management Framework, supplementary planning guidance. URL: <https://www.london.gov.uk/what-we-do/planning/implementing-london-plan/london-plan-guidance-and-spgs/london-view-management/> (дата обращения: 12.05.2022).
11. Karaga K. Urban skyline planning strategy analysis // Case study: London. URL: https://www.researchgate.net/publication/296695437_Urban_skyline_planning_strategy_analysis_Case_study_London (дата обращения: 12.05.2022).
12. Tavernor Robert, Gunter Gassner. Visual consequences of the plan: managing London's changing skyline // City, culture and society. 2010. V. 1. P. 99–108.
13. Building zone resolution // City of New York. Board of Estimate and Apportionment (Adopted July 25, 1916). URL: <https://www1.nyc.gov/assets/planning/download/pdf/about/city-planning-history/zr1916.pdf> (дата обращения: 17.08.2022).
14. Zoning Handbook // New York City Department of City Planning. URL: https://iris.nyt.edu/~maltwick/ESP/readings/Zoning_Handbook.pdf (дата обращения: 17.08.2022).
15. Zoning regulations prescribing the requirements and limitations applicable throughout the several zoning districts of Broward county. URL: <https://www.broward.org/Planning/Zoning/Chapters/1968-zonning-regulations.pdf> (дата обращения: 17.08.2022).
16. Building Height Standards Review for the Hobart City. URL: <https://www.hobartcity.com.au/Projects/Current-projects/Building-Height-Standards-Review> (дата обращения: 12.05.2022).
17. Nijhuis Steffen, Frank van der Hoeven. Exploring the Skyline of Rotterdam and The Hague. Visibility Analysis and its Implications for Tall Building Policy // Built Environment. 2018. V. 43. P. 571–588.
18. Ухабин В.В., Соколова Н.В. Сохранение визуального восприятия архиважной доминанты на примере города Пензы // Вопросы планировки и застройки городов : материалы

XXXIV Международной научно-практической конференции. Пенза : ПГУАС, 2022. С. 158–168.

REFERENCES

1. Sokolova N.V., Ukhabin V.V. Visual landscape analysis of critical altitude height of buildings in historic city centres. In: *Proc. 33rd Int. Sci. Conf. 'Problems of Urban Development'*. Penza, 2021. Pp. 24–31. (In Russian).
2. Belyaeva E.L. Architectural and spatial environment of a city as an object of visual perception. Moscow: Stroiizdat, 1977. 125 p. (In Russian).
3. Krogus V.R. City and topography. Moscow: Stroiizdat, 1979. 120 p. (In Russian).
4. Belousov V.N., Kulaga L.N. Foundations for architecture formation in cities. Moscow: Stroiizdat, 1981. 190 p. (In Russian).
5. Regame S.K. Combination of new and existing buildings in urban renewal. Moscow: Stroiizdat, 1989. 142 p. (In Russian).
6. Prutsyn O.I., Rymashevskii B., Borusevich V., Prutsyn O.I. (Ed.). Architectural and construction environment. Moscow: Stroiizdat, 1990. 408 p. (In Russian).
7. Sotnikov B.E. Architectural and historical environment. Ulyanovsk, 2010. 208 p. (In Russian).
8. Ukhabin V.V., Sokolova N.V. Visual perception of architectural objects and urban environment. *Obrazovanie i nauka v sovremennoy mire. Innovatsii*. 2022; 40 (3): 235–245. (In Russian).
9. Vavilonskaya T.V., Cherpak N.V. Concept for high-rise development in Samara's historic centre. *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2013; (2): 6–11. (In Russian).
10. London view management framework, Supplementary planning guidance. Available: www.london.gov.uk/what-we-do/planning/implementing-london-plan/london-plan-guidance-and-spgs/london-view-management/ (accessed August 1, 2022).
11. Karaga K. Urban skyline planning strategy analysis. Case study: London. Available: www.researchgate.net/publication/296695437_Urban_skyline_planning_strategy_analysis_Case_study_London (accessed May 12, 2022).
12. Tavernor R., Gassner G. Visual consequences of the plan: Managing London's changing skyline. *City, culture and society*. 2010; 1: 99–108.
13. Building zone resolution. City of New York. Board of Estimate and Apportionment (Adopted July 25, 1916.) Available: www1.nyc.gov/assets/planning/download/pdf/about/city-planning-history/zr1916.pdf (accessed August 10, 2022).
14. Zoning Handbook. New York City Department of City Planning. Available: https://iris.nyu.edu/~maltwick/ESP/readings/Zoning_Handbook.pdf (accessed May 20, 2022).
15. Zoning regulations prescribing the requirements and limitations applicable throughout the several zoning districts of Broward county. Available: www.broward.org/Planning/Zoning/Chapters/1968-zoning-regulations.pdf (accessed May 15, 2022).
16. Building height standards review for the Hobart City. Available: www.hobartcity.com.au/Projects/Current-projects/Building-Height-Standards-Review (accessed May 12, 2022).
17. Nijhuis S., Hoeven F. Exploring the skyline of Rotterdam and the Hague. Visibility analysis and its implications for tall building policy. *Built Environment*. 2018; 43: 571–588.
18. Ukhabin V.V., Sokolova N.V. Preservation of visual perception of archival landmark in Penza. In: *Proc. 34th Int. Sci. Conf. 'Problems of Urban Development'*. Penza, 2022. Pp. 158–168. (In Russian).

Сведения об авторах

Ухабин Владимир Витальевич, магистр, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28, vladimir.ukhabin@yandex.ru

Соколова Наталья Владимировна, канд. архитектуры, доцент, Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, 28, sok.natali.2015@yandex.ru

Authors Details

Vladimir V. Uhabin, MsD, Penza State University of Architecture and Construction, 28, German Titov Str., 440028, Penza, Russia, vladimir.ukhabin@yandex.ru

Natalia V. Sokolova, PhD, A/Professor, Penza State University of Architecture and Construction, 28, German Titov Str., 440028, Penza, Russia, sok.natali.2015@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 04.09.2022
Одобрена после рецензирования 27.11.2022
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 04.09.2022
Approved after review 27.11.2022
Accepted for publication 23.01.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 66–73.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 66–73.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 725.85

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-66-73

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ КРЫТЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ЗИМНИХ ВИДОВ СПОРТА

Анастасия Николаевна Чернышова, Юлия Александровна Скоблицкая
*Академия архитектуры и искусств
Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Аннотация. В статье представлены основные архитектурно-планировочные особенности организации крытых комплексов для зимних видов спорта. Рассмотрена актуальность и потребность внедрения такого рода комплексов в России.

Основной целью статьи является выявление возможности массового занятия зимними видами спорта, развитие архитектуры зимних спортивных комплексов, а также определение перспективных вариантов формирования данных комплексов.

На основе данных статистики были определены самые популярные зимние виды спорта, для которых появление комплексов очень значимо.

Были выделены характерные черты в планировке генплана и размещения, а также основные функциональные блоки и их связи между собой.

Ключевые слова: зимний вид спорта, крытый комплекс, спортивный комплекс, лыжная трасса, каток

Для цитирования: Чернышова А.Н., Скоблицкая Ю.А. Архитектурно-планировочные особенности организации крытых комплексов для зимних видов спорта // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 66–73. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-66-73.

ORIGINAL ARTICLE

ARCHITECTURE AND PLANNING OF INDOOR WINTER SPORTS COMPLEXES

Anastasia N. Chernyshova, Yulia A. Skoblitskaya
*Southern Federal University Academy of Architecture and Arts,
Rostov-on-Don, Russia*

Abstract. Purpose: The aim of this work is to identify the possibility of mass winter sports, architecture of winter sports complexes. It should be noted that not only the quantity, but also the quality of these complexes is important.

Methodology: Description of the architecture and planning of indoor winter sports complexes. The introduction of such complexes in Russia are considered. Based on statistical data,

the most popular winter sports are identified, for which the appearance of complexes is more significant. The general plan and main functional units of complexes are identified.

Practical implications: The quality development and improvement of sports, allowing athletes to train in any season. This will give rise to the architecture of these structures.

Originality/value: The impossibility of holding classes in winter sports all year round, development of the architecture of winter sports complexes, determination of promising options for the development of such complexes.

Keywords: winter sports, sports complex, skiing run, ice rink

For citation: Chernyshova A.N., Skoblitskaya Yu.A. Architecture and planning of indoor winter sports complexes. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (1): 66–73. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-66-73.

В современном мире спорт стал неотъемлемой частью жизни. Спортивная культура всё прочнее укрепляет свои позиции, быстро развивается, создавая новые виды спорта, удивляя и восхищая своей красотой и силой.

Зимние виды спорта являются одними из наиболее ярких, зрелищных и захватывающих. Стремительно растет количество профессиональных спортсменов, а также любителей, которые активно занимаются зимними видами спорта, такими как фигурное катание, хоккей, лыжный спорт, керлинг и пр. Также постепенно увеличивается и количество крытых спортивных объектов с искусственным льдом. Это можно подтвердить статистическими данными в сравнении 2013 и 2017 гг. (рис. 1).

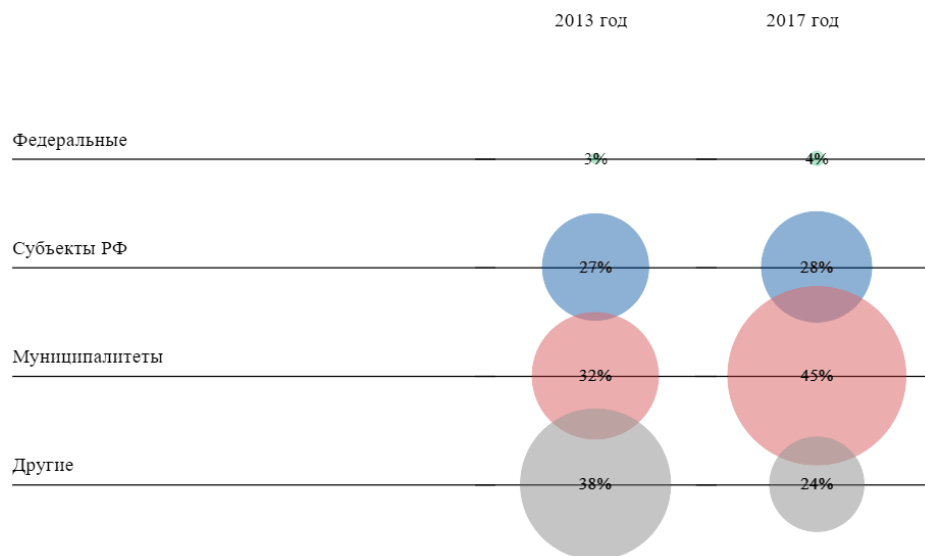


Рис. 1. Крытые спортивные объекты с искусственным льдом
Fig. 1. Indoor sports facilities with artificial ice

Следует отметить, что на большей части территории РФ нет возможности заниматься зимними видами спорта круглогодично, более того, климат некото-

рых регионов страны не позволяет организовывать тренировочный процесс на постоянной основе указанными видами спорта даже в зимний период.

Также наблюдается малая осведомленность и подготовленность людей к зимним видам спорта. Данный фактор является следствием недостаточного количества специально оборудованных сооружений, площадок, комплексов, позволяющих активно развиваться культуре зимних видов спорта среди молодежи и людей более старшего поколения [1, 14].

Зимняя Олимпиада 2014 года в Сочи и дальнейшая популяризация зимних видов спорта в стране выявили значительную нехватку комплексов, позволяющих заниматься круглый год на регулярной основе [4]. При этом многие недооценивают роль в подготовке профессиональных спортсменов, а также занятий любителей крытых комплексов для зимних видов спорта в развитии этой сферы деятельности. В ходе исследования и изучения статистических данных по обеспеченности спортивными объектами в мире было выявлено, что наиболее обеспеченная страна – Канада, а Россия занимает 3-е место, немного опережая Швецию и Финляндию (рис. 2).

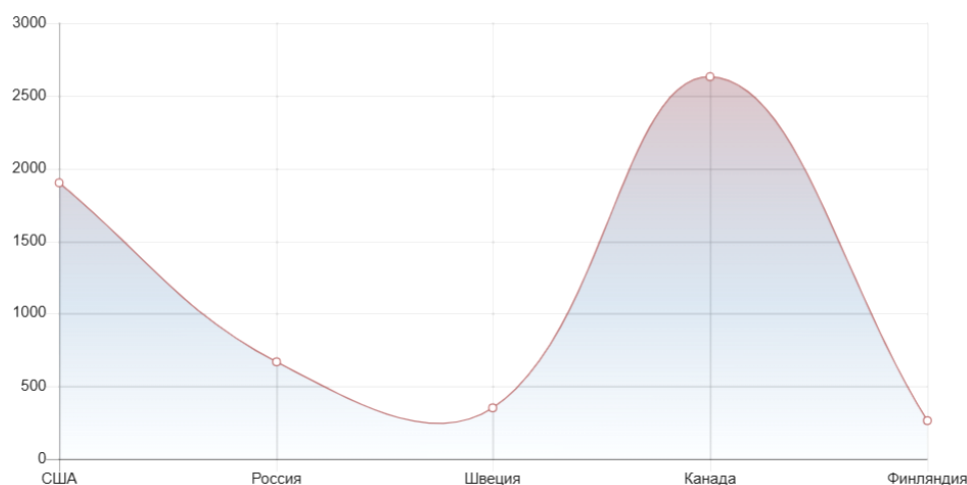


Рис. 2. Обеспеченность спортивными объектами. Крытые катки

Fig. 2. Availability of sports facilities. Indoor ice rinks

При строительстве новых и реконструкции действующих комплексов, многофункциональных спортивных комплексов всесезонного использования открываются новые возможности для развития массовой физической культуры и спорта. Это позволяет также нарастить показатели спортивных достижений атлетов [2, 6, 9].

Основные зимние виды спорта ориентированы на катание на лыжах, санях и коньках. Индивидуальные зимние виды спорта подразделяются на лыжные гонки, сноуборд, фигурное катание, скелетон, горные лыжи, бобслей, катание на снегоходах и др. К командным видам спорта относятся: хоккей с шайбой, кёрлинг и хоккей с мячом. Ранее эти виды спорта существовали только в регионах с холодным климатом. Создание искусственного снега

и льда сделало возможным проведение мероприятий практически в любом климате с учетом температурных показателей [3].

Крытые комплексы для зимних видов спорта можно проектировать и строить на территориях с жарким климатом, без выраженного рельефа. Это позволяет тренироваться спортсменам круглогодично. Крытые спортивные сооружения более практичны и эффективны в использовании: их работа не привязана к погодным условиям и временам года, они обладают также стабильным влажностным и температурным режимом, высокими технологическими условиями для тренировок [10, 15].

В зависимости от размещения в городской среде находятся различные архитектурно-планировочные решения: где-то может существовать только ледовый спуск, а где-то и ледовые поверхности. Наиболее целесообразно размещать крытые комплексы для зимних видов спорта за пределами городской структуры, т. к. для создания такого крупного объекта требуются значительные территории, причем как для размещения непосредственно самого объекта, так и обслуживающей инфраструктуры [5, 11, 12].

Вследствие крупномасштабности крытых комплексов данные сооружения размещаются в основном на периферийных территориях крупных городов. Площадь таких сооружений – около 20 000 м².

В настоящее время не существует нормативно-правовой базы в области проектирования крытых спортивных комплексов для зимних видов спорта, т. к. они носят единичный характер. Однако, проанализировав существующие объекты, отечественный и зарубежный опыт проектирования, а также нормативную документацию для смежного вида спортивных объектов, можно выявить основные особенности планировочной организации, важные аспекты и тенденции функционального зонирования.

Достаточно часто в России и за рубежом наблюдается включение спортивных комплексов в торгово-развлекательные центры. Такие многофункциональные пространства очень выгодны экономически, а также удобны для людей благодаря комплексному удовлетворению основных потребностей. Помимо этого, для увеличения функционального применения льда целесообразно объединять ледовые поверхности. Конькобежная дорожка может быть использована для массового катания, а хоккейная площадка – для фигурного катания. Также возможно объединение сооружений разного назначения: такие спортивные сооружения, как бассейн и спортзал, или общественные, как торговые центры, зоны питания и гостиницы. Внешний вид будущего крытого центра зависит от состава и расположения функциональных блоков: количества залов, трибун, горнолыжных трасс, ледовых поверхностей.

Многофункциональный крытый комплекс для зимних видов спорта может включать такие основные зоны, как спортивная профессиональная и любительская, торгово-развлекательная и зона фудкорта (рис. 3).

В комплекс для зимних видов спорта должны входить следующие функциональные зоны, помимо спортивной: зона обслуживания посетителей; зона проката, продажи и обслуживания спортивного оборудования; зона с трибунами для зрителей; пункты питания; торгово-развлекательная, а также зоны технического обслуживания объекта [1, 8].

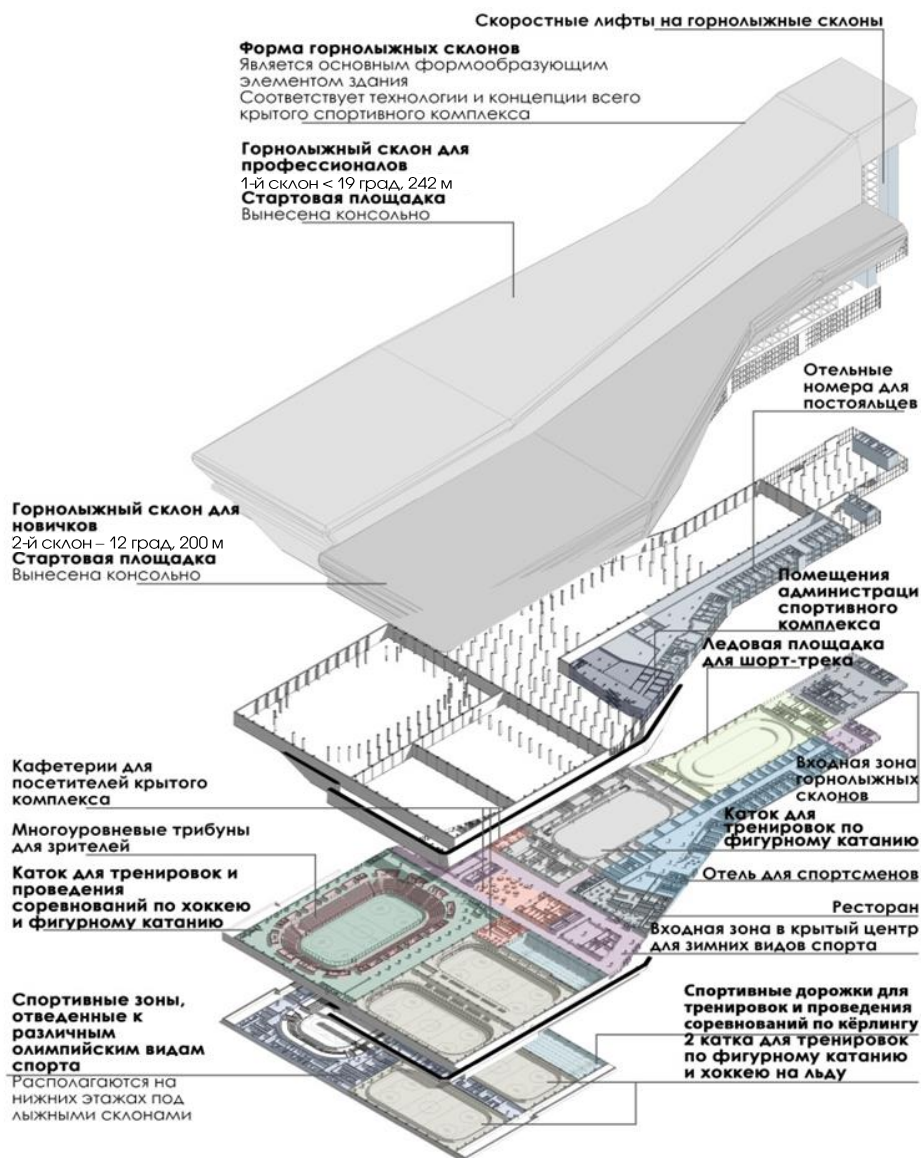


Рис. 3. Схема функционального зонирования крытых комплексов для зимних видов спорта. Дипломный проект – Крытый центр для зимних видов спорта в Ростове-на-Дону. Автор проекта А.Н. Чернышова, магистрант каф. АСП, Академия архитектуры и искусств ЮФУ, руководитель Ю.А. Скоблицкая, канд. архитектуры, доцент каф. АСП, Академия архитектуры и искусств ЮФУ

Fig. 3. Schematic of functional zoning of indoor winter sports complexes. Diploma project 'Indoor Complex for Winter Sports in Rostov-on-Don' by A.N. Chernysheva (advisor: Yu.A. Skoblitskaya). South Federal University, Academy of Architecture and Arts

На подземном уровне целесообразно будет расположить подземную парковку и технические, инженерные, подсобные помещения. В служебной зоне

комплекса находятся помещения персонала, загрузочно-разгрузочные хозяйственные блоки, складские, технические помещения. Также в подтрассовом пространстве могут быть дополнительные технические блоки [7].

На первом уровне рекомендуется располагать входную группу, включающую зону питания. Административную группу желательно разместить на первом или втором этаже. На первом уровне следует располагать ледовые поверхности (зона оснежения) – арены, катки для хоккея, фигурного катания, керлинга и других видов спорта с прилежащими вспомогательными помещениями. Отдельно нужно размещать ледовые склоны для прыжков с трамплина и лыж, однако они должны иметь связь с другими функциональными зонами.

Независимо от основной функциональной направленности крупнейшей по площади функциональной зоной в них является зона оснежения (рис. 3). Здесь могут встречаться следующие виды трасс: учебный склон, трасса для более подготовленных лыжников, а также трасса повышенной степени сложности. Встречные потоки спуска и подъёма, а также потоки катающихся людей с разными уровнями подготовки необходимо разделять, поэтому склон должен иметь правильное функциональное зонирование. Это может быть совмещенный и раздельный (несколько склонов) способ зонирования. Горизонтальные участки начала и окончания движения проектируются в нижней и верхней части зоны оснежения. В состав зоны оснежения также входит зона для катания на сноубордингах и сноуборд-парк. Зона сноуборд-парка оборудуется трамплином и рампами. Дополнительными спортивными объектами, входящими в комплекс, являются хоккейная площадка, каток для фигурного катания, площадка для керлинга [11, 15, 16].

Функциональный блок для временного проживания – отель или гостиница, несмотря на свою обособленность, должен иметь удобный и рациональный доступ ко всем частям крытого центра и быть связанным с входной группой, зоной питания и иметь быстрые маршруты до спортивного блока для удобства людей.

Заключение

Создание новых крытых комплексов для зимних видов спорта дает возможность большему количеству людей заниматься спортом, что способствует его популяризации, вовлечению молодежи, а также сохранению культуры и поддержанию здоровья. Функциональное зонирование таких крупных многофункциональных объектов является самым важным этапом. От этого зависит удобство, безопасность и даже внешний вид объекта. Необходимо глубоко изучать архитектурно-планировочные аспекты для улучшения, совершенствования комплексов данного типа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Скоблицкая Ю.А. Архитектурно-планировочные особенности становления многоуровневых спортивных комплексов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 65–75. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-65-75.

2. Гайкова Л.В., Бабаджанова А.И. Особенности историко-архитектурного развития физкультурно-оздоровительных зданий и комплексов // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020. № 1 (50). С. 136–153.
3. Хуснутдинов К.С. Массовый спорт в Российской Федерации как объект социального регулирования : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата социологических наук. Казань, 2004. 20 с.
4. Быкова Г.И., Голубинский А.П., Жура Ю.Г., Климентьев Н.А., Кондратенков А.Н, Кузьмичева Е.В., Лось Е.М., Макарова И.И., Машинский В.А., Мезенцева Н.Б., Николаева Л.Н., Никольский А.Я., Погужева Т.А., Разин Ф.С., Румянцев В.П., Рябов К.К., Рязанова Е.В., Стригалева Н.С., Травуш. В.И., Швейцер И.С. Физкультурно-спортивные сооружения / под ред. Л.В. Аристовой. Москва : СпортАкадемПресс, 1999. 536 с. ISBN 5-8134-0010-9.
5. Александрова Н.И., Беляева Е.Л., Бородин Р.М. и др. Архитектура комплексов отдыха / под общ. ред. А.Т. Полянского ; Центр. н.-и. и проект. ин-т типового и эксперим. проектирования курорт., оздоровит., турист. зданий и комплексов. Москва : Стройиздат, 1988. 240 с.
6. Афонина М.И. Московские инновационные проекты для зимних соревнований // *Экология урбанизированных территорий*. 2013. № 1. С. 75–79.
7. Волкова Т.Ф., Суворова К.О. Особенности формирования физкультурно-развлекательных пространств на сложном рельефе в крупном городе // *Современные научные исследования и инновации*. 2016. № 6. С. 37–44.
8. Гельфонд А.Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений: учеб. пособие. Москва : Архитектура-С, 2007. 280 с.
9. Кочетков А.А. Организация горнолыжного комплекса на базе школы олимпийского резерва в городе Южно-Сахалинске // *Молодой ученый*. 2015. № 19.1. С. 120–122.
10. Литилина Н.А. Крытые горнолыжные комплексы: особенности проектирования и современные тенденции // *Архитектура. Строительство. Дизайн*. 2006. № 3. С. 51–58.
11. СП 31-105–2002. Проектирование и строительство спортивных трасс для зимних и летних видов спорта. Москва : Государственный комитет Российской Федерации по строительству и спорту (Госстрой России), 2002. 85 с.
12. СП 31-112–2007. Свод правил по проектированию и строительству. Физкультурно-спортивные залы. Ч. 3. Крытые ледовые арены. Москва : ОАО «Центр проектной продукции в строительстве», 2008. 105 с.
13. Geraint John, Kit Campbell. Handbook of sports and recreational building design Vol. 1: Outdoor sports. United Kingdom : Architectural Press, 2003. 281 p.
14. Общероссийская физкультурно-спортивная общественная организация «Российская ассоциация спортивных сооружений». URL: https://www.rasf.ru/upload/docs/sport_obect.pdf (дата обращения: 10.07.2022).
15. Афонина М.И., Паураванд М. Трассы для сноубординга – примеры современных городских рекреационно-спортивных объектов // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2016. № 3 С. 61–69.
16. Скрипкина Ю.В., Цурик Т.О., Звягинцева М.М., Волкова В.А. Особенности проектирования крытых всесезонных горнолыжных комплексов // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2018 № 22 (6) С. 111–117. URL: <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2018-22-6-111-117>.

REFERENCES

1. Skoblitskaya Yu.A. Architecture and planning of multilevel sports complexes. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021; 24 (4): 465–75. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-65-75. (In Russian).
2. Gaikova L.V., Babadzhanova A.I. Historical and architectural development of sports and recreation buildings and complexes. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020; 50 (1): 136–153. (In Russian).

3. *Khusnutdinov K.S.* Mass sports in the Russian Federation as an object of social regulation. PhD Thesis. Kazan, 2004. 20 p. (In Russian).
4. *Bykova G.I., Golubinsky A.P., et al.* Physical culture and sports facilities. L.V. Aristova, ed., Moscow: SportAcademPress, 1999. 536 p. (In Russian).
5. *Aleksandrova N.I., Belyaeva E.L., Borodina R.M., et al.* Architecture of recreation complexes. A.T. Polyansky, ed., Moscow: Stroyizdat, 1988. 240 p. (In Russian).
6. *Afonina M.I.* Moscow innovation projects for winter competitions. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii*. 2013; (1): 75–79. (In Russian).
7. *Volkova T.F., Suvorova K.O.* Sports and entertainment spaces in a large city. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii*. 2016; (6): 37–44 (In Russian).
8. *Gelfond A.L.* Architectural design of public buildings and structures. Moscow: Arkhitektura-S, 2007. 280 p. (In Russian).
9. *Kochetkov A.A.* Organization of a skiing complex at the Olympic Reserve School in Yuzhno-Sakhalinsk. *Molodoi uchenyi*. 2015; (19.1): 120–122. (In Russian).
10. *Lipilina N.A.* Indoor ski resorts: Design and modern trends. *Arkhitektura. Stroitel'stvo. Dizain*. 2006; (3): 51–58. (In Russian).
11. Construction Rule 31-105-2002 "Design and construction of sports tracks for winter and summer sports". Moscow: Gosstroy, 2002. 85 p. (In Russian).
12. Construction Rule 31-112-2007 "Code of rules for the design and construction. Sports and Fitness Halls. Pt 3. Indoor ice arenas". Moscow, 2008. 105 p. (In Russian).
13. *Geraint J., Campbell K.* Handbook of sports and recreational building design, Vol. 1: Outdoor sports, United Kingdom: Architectural Press, 2003. 281 p.
14. All-Russian physical culture and sports public organization "Russian Association of Sports Facilities". Available: www.rasf.ru/upload/docs/sport_obect.pdf (accessed October 7, 2022). (In Russian).
15. *Afonina M.I., Pairavand M.* Snow tubing routes as modern urban recreation-sporting venues. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016; (3): 61–69. (In Russian).
16. *Skipkina Yu.V., Tsurik T.O., Zvyagintseva M.M., Volkova V.A.* Design features of indoor all-season skiing complexes. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018; 22 (6): 111–117. Available: <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2018-22-6-111-117> (In Russian).

Сведения об авторах

Чернышова Анастасия Николаевна, магистрант, Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр. Будёновский, 39, anastcher@sfedu.ru

Скоблицкая Юлия Александровна, канд. архитектуры, Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета, 344082, г. Ростов-на-Дону, пр. Будёновский, 39, yskoblickaya@sfedu.ru

Authors Details

Anastasia N. Chernysheva, Graduate Student, Southern Federal University, Academy of Architecture and Art, 39, Budennovskii Ave., 344082, Rostov-on-Don, Russia, anastcher@sfedu.ru

Yulia A. Skoblitskaya, PhD, Southern Federal University, Academy of Architecture and Art, 39, Budennovskii Ave., 344082, Rostov-on-Don, Russia, yskoblickaya@sfedu.ru

Статья поступила в редакцию 20.09.2022
Одобрена после рецензирования 25.11.2022
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 20.09.2022
Approved after review 25.11.2022
Accepted for publication 23.01.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 74–83.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 74–83.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 727.112

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-74-83

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗДАНИЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ Г. ЕКАТЕРИНОДАРА

Ольга Николаевна Чеберева¹, Елена Юрьевна Стрельникова²

¹Нижегородский государственный
архитектурно-строительный университет, г. Нижний Новгород, Россия,

²Краснодарский архитектурно-строительный техникум,
г. Краснодар, Россия

Аннотация. Настоящая работа описывает и систематизирует типологию архитектурно-планировочных решений образовательных учреждений г. Екатеринодара, построенных с середины XIX до начала XX в.

Обозначены исторические, социальные, гуманитарные и иные факторы, сыгравшие непосредственную роль в формировании рассматриваемых решений.

Анализ объемно-планировочных характеристик аутентичных зданий образовательных учреждений показывает, что в указанный период были заложены основы приемов проектирования качественной, продуктивной образовательной среды. Совокупность наработок специалистов-гигиенистов и практики эксплуатации, а также архитектурной модернизации учреждений стала основой для формулирования норм проектирования, приближающихся к ряду положений актуальных строительных правил формирования архитектурных и технологических решений зданий учебных учреждений.

Ключевые слова: архитектура школ Кубани, образовательные учреждения, архитектура Екатеринодара, проекты школ

Для цитирования: Чеберева О.Н., Стрельникова Е.Ю. Архитектурно-планировочные особенности зданий образовательных учреждений г. Екатеринодара // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 74–83. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-74-83.

ORIGINAL ARTICLE

ARCHITECTURE OF ACADEMIC INSTITUTION BUILDINGS IN EKATERINODAR

Ol'ga Nikolaevna Chebereva¹, Elena Yur'evna Strelnikova²

¹Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering,
Nizhny Novgorod, Russia

²Krasnodar Architectural and Construction College, Krasnodar, Russia

Abstract. The article describes spatial planning solutions of educational institutions in Ekaterinodar, built in the middle of the 19th century until the revolution in 1917. Historical, social, humanitarian-

ian and other factors that improve architectural solutions of these buildings are identified. Conclusions are drawn about architectural and planning solutions and modernization of original educational institutions, including those survived to present days and the historical buildings of Krasnodar.

Keywords: architecture, Kuban schools, academic institution, architecture, Ekaterinodar, school building projects

For citation: Chebereva O.N., Strelnikova E.Yu. Architecture of academic institution buildings in Ekaterinodar. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (1): 74–83. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-74-83.

Введение

Расширение сети учебных учреждений в г. Екатеринодаре конца XIX в. объясняется общегосударственной политикой в области образования. В связи с этим архитектурно-планировочные решения зданий школ, гимназий и училищ за относительно короткий промежуток времени (с начала, до середины и конца XIX в.) претерпели значительные изменения. Это подтверждают различные исторические документы [1]. Например, историк П. Зажаев так описывает состояние школьных зданий того периода: «Большая часть станичных школ помещалась в неудовлетворительных зданиях. Школьные дома по внешнему виду и внутреннему расположению ничем не отличались от обыкновенных обывательских хат; они были тесны, низки и темны. В большей части школ полы были земляные. Некоторые школы помещались под одной крышей со станичными правлениями, такое соседство сильно мешало школьным занятиям. Школьная мебель состояла из простых длинных кухонных столов с приставными скамейками или из длинных неуклюжих парт без ящиков для книг. Столы, скамейки и парты строились на один рост. Во многих училищах не было классных досок, шкафов, стола и стула для учителя» [2, с. 3].

Со второй половины XIX в. ситуация начала резко изменяться в сторону создания качественных архитектурно-планировочных решений учебных учреждений. Особенно это было заметно в основанном как крепость и военно-административный центр Казачьего войска Екатеринодаре, обретшем в 1867 г. статус гражданского города, что обеспечило приток населения и капиталов.

Методы

В статье использован обзорный метод рассмотрения темы. После изучения информации из различных источников (Государственный архив Краснодарского края, литературный материал, фотодокументы, личный осмотр описываемых объектов и др.) была проведена систематизация всего спектра обнаруженных источников. Сравнительный анализ сведений об изучаемых зданиях школ и училищ позволил сделать выводы о качестве построек и факторах, определяющих этот качественный уровень, а также отмечена преемственность этого уровня с актуальной спецификой инклюзивного обучения детей с ограниченными возможностями здоровья.

Основная часть

Рассмотрим архитектурно-планировочные особенности зданий образовательных учреждений гимназий и училищ г. Екатеринодара на конкретных

примерах. В 1884 г. на базе Мариинского училища открылась первая женская прогимназия в арендуемом доме господина Цвиринько [3, с. 14], вскоре для нее возвели собственное здание по проекту архитектора В.А. Филиппова, ставшее украшением г. Екатеринодара. В 1898 г. прогимназию переименовали в Екатерининскую гимназию, а после постройки другой женской гимназии добавили в название «первая» [4]. Не изменив своего назначения, она существует и сегодня как гимназия № 36 (рис. 1).



Рис. 1. Первая женская гимназия:

a – общий вид (URL: <https://turbina.ru>); *б* – план 1-го этажа (ГАКК. Ф. Р-1765. О. 4. Д. 32)

Fig. 1. The first women's gymnasium:

a – general view; *b* – 1st floor layout

Это двухэтажное здание с подвалом, построенное на ул. Красноармейской (Бурсаковской), между ул. Гимназической и ул. Ленина, занимает более половины квартала. Главный фасад решен в духе академической эклектики и расположен по красной линии Соборной площади – главной в Екатеринодаре того времени. Богато декорированный фасад является городской достопримечательностью. Прямоугольные окна первого этажа лишены наличников, их ритм поддерживают филленчатые подоконные ниши. Рядовые оконные проемы второго этажа получили оригинальное обрамление в виде скрепляющего их замковые камни треугольного сандрика и боковых пилястр. Спаренные окна разделены вертикалями пилястр, рустованных по первому этажу и стилизованных под коринфские по второму, что придает фасаду структурность и ритмичность. По горизонтали фасад разделяется межэтажным лепным поясом, а венчается антаблементом с плоским фризом и тяжелым карнизом. Симметричность фасада также реализуется посредством боковых ризалитов. Высокий венчающий карниз, аттики (не сохранились), достаточно высокий цоколь, узкие и высокие оконные проемы создают иллюзию высотности всего здания.

Планировочная схема аутентичной части здания ячеисто-коридорная, большинство учебных помещений выходят на главный фасад. Центральную часть выходящего во двор крупного ризалита занимает парадная трехмаршевая лестница, в торце продольного коридора – дополнительный лестничный узел. В противоположном торце здания – историческая проездная арка въезда во двор. На втором этаже напротив центральной лестницы расположен просторный светлый торжественный актовый зал, который в дореволюцион-

ный период использовался для проведения концертов, литературных чтений, выступлений и т. п. Объем зала по фасаду выявлен рядом крупных арочных окон. Ограниченный состав помещений исторического здания повлек за собой вынужденную модернизацию в виде двух пристроев со стороны двора, благодаря которым изначально симметричная линейная планировочная схема приобрела характер расчлененной и дисимметричной, планировка пристроев предусматривает ряд помещений учебного назначения и вспомогательные помещения, в т. ч. санитарные узлы с современным оснащением.

В 1913 г. по проекту архитектора Н.М. Козо-Полянского открылась третья женская гимназия, расположенная в самом сердце исторической части города на углу ул. Красноармейской (быв. ул. Бурсаковской) и Советской (быв. Графской). В 1971 г. здание дополнено трехэтажным пристроем крыла. Фасады выполнены в стиле модерн с деталями, стилизованными в неороманском духе (рис. 2) [5, 6]. Это простое двухэтажное кирпичное оштукатуренное здание, в плане имеющее П-образную планировочную схему, полученную за счет крупных ризалитов со скошенными углами, где расположена лестница, помещения основного учебного и вспомогательного назначения. Менее крупные, решенные в той же геометрии ризалиты акцентируют внешние углы корпуса: «углы ризалитов срезаны и фланкированы лопатками, переходящими в архивольт» [5]. Окна узкие высокие, на первом этаже прямоугольные, на втором – арочные. По первоначальному плану вход был запроектирован с ул. Красноармейской, в северном ризалите. Там расположен «портал в виде треугольного фронтона на колоннах стилизованного ордера. Перемычка дверного проема арочная». Планировка асимметричная благодаря расположенным в северной части здания вестибюлю и парадной трехмаршевой лестнице с коваными перилами. В настоящее время в здании функционирует общеобразовательная школа № 8.

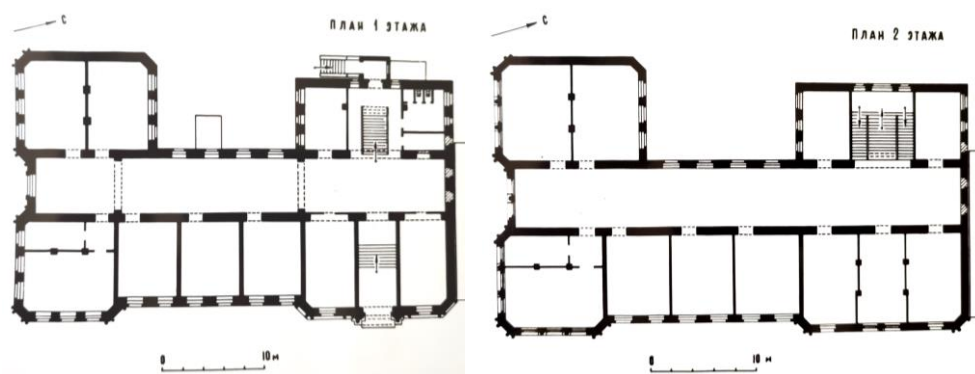


Рис. 2. Третья женская гимназия. План 1-го и 2-го этажей (ГАКК. Ф. Р-1765. О. 4. Д. 31)

Fig. 2. Layouts of the 1st and 2nd floor in the third women's gymnasium

В 1901 г. архитектор В.А. Филиппов спроектировал корпус Епархиального женского училища в псевдорусском стиле, ставший градостроительной доминантой еще в начале XX в. и являющийся украшением г. Краснодара

в настоящее время [7] (рис. 3). Это трехэтажное здание с подвалом выполнено из красного кирпича с оштукатуренными декоративными элементами фасадами. В уровне третьего этажа находится витраж, изображающий крест, символически поддерживавший установленную выше над проемом икону Казанской Божией Матери.

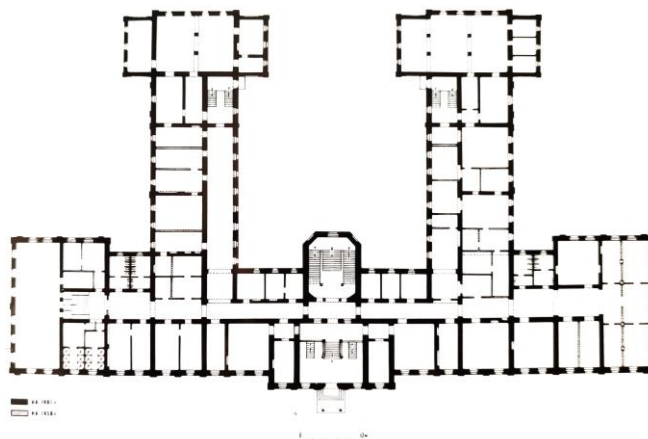


Рис. 3. Епархиальное женское училище. План 1-го этажа (ГАКК. Ф. Р-1765. О. 4. Д. 20)
Fig. 3. Layout of the 1st floor in the diocesan women's school

Домовая церковь в честь иконы Казанской Божией Матери была организована в центральной части здания на третьем этаже. Абрис ее кровельных конструкций, возвышающийся над скатной кровлей здания, был одной из доминант, определяющих выразительность его облика. По оси симметрии здания выше отметок кровли над изящным многогранным куполом домовый церкви располагалась увенчанная вертикалью креста луковичная глава на небольшом барабане. С наступлением темноты была предусмотрена подсветка креста электрическими лампочками, что обеспечивало его восприятие со многих удаленных точек города.

При училище была построена больница на 40 мест, улица в районе училища была замощена, сделаны тротуары. Композиция здания в плане симметрична, планировочная схема линейная, расчлененная, с крупными ризалитами в центре и на концах крыльев. К главному объему, расположенному вдоль ул. Седина, с восточной стороны примыкают два крыла с расположенными вдоль их коридоров кабинетами. Планировочная структура центральной части здания также коридорная, с двусторонним расположением помещений. В центральном ризалите находится вестибюль на первом этаже и залы на втором и третьем. В интерьерах сохранены «лестницы с коваными ограждениями и металлическими орнаментированными колоннами» [Там же].

В 1913 г. к основному корпусу Епархиального училища добавлены симметричные пристройки (его фасад таким образом стал длиннее в 2 раза) и отдельно стоящий 2-этажный корпус, выдержанные в общем «псевдорусском» стиле. Работами руководил архитектор И.К. Мальгерб. В войну здание

сильно пострадало, а в ходе реконструкции в 1950 г. под руководством инженеров А.Н. Ожиганова и К.М. Михайлова приняло современный вид.

В течение долгого периода здание не использовалось по своему прямому назначению, а в 1921 г. начал работу Кубанский медицинский институт, занимающий эти строения и сегодня.

Вторая Екатеринодарская мужская классическая гимназия первоначально располагалась на углу ул. Раппопортской и Гимназической. В 1905 г. учебное заведение имело 4 класса и считалось прогимназией, а с 1907 г. перешло в статус гимназии. В 1910 г. оно переехало в здание на углу ул. Митрофана Седина (ул. Котляревской) и ул. Мира (ул. Екатерининской) (рис. 4). На первом этаже располагались торговые помещения, а второй был арендован городской управой под гимназию [8, с. 41]. Оно является ярким образцом екатеринодарской архитектуры того периода, имеет в плане один скошенный угол (популярный прием в г. Екатеринодаре), что позволило расширить пространство улицы, улучшить видимость на перекрестке, создать необычные планировочные решения и нестандартную пластику фасада.



Рис. 4. Вторая Екатеринодарская мужская классическая гимназия (фото Е.Ю. Стрельниковой, 2022 г.)

Fig. 4. The Second Ekaterinodar classical gymnasium for men (photograph by E.Yu. Strelnikova, 2022)

Здание выполнено из темно-красного кирпича с арочными прямоугольными узкими и высокими окнами. Декоративные элементы (карнизы, сводчатые колонны и полуколонны, подоконные ниши с лепниной, архивольты, тяги) расположены в уровне второго этажа, акцентированы контрастной покраской в белый. В уровне первого этажа декор представлен кирпичными лопатками. Раскреповки карниза поддерживают тумбы парапета, связанные решетчатым ограждением кровли. Плоскость скошенной части фасада акцентирована небольшим аттиком, а также балконом усложненного абриса с кованым ограждением, создающими игру светотени. Аналогичный балкон расположен на северном фасаде. В годы функционирования гимназии главный вход располагался под балконом, но позже был заложен. На торцевой стене дворового фасада выполнено мозаичное панно.

В годы оккупации здание было частично разрушено, но после передачи его городскому Совету добровольного пожарного общества в 1958 г. проведена реконструкция. Сейчас здесь Главное управление МЧС. Новая функция продиктовала и изменения в архитектурно-планировочных решениях. В частности, окна первого этажа северного фасада преобразованы в ворота для въезда пожарных машин в боксы. Первоначальные интерьеры практически утрачены. У центральной парадной лестницы сохранилось покрытие пола поворотных площадок, а также кованое со стилизованным растительным орнаментом окрашенное ограждение маршей. Сегодня это здание является памятником градостроительства и архитектуры города.

Коммерческое училище, образованное в 1908 г., как и многие учебные заведения в тот период, несколько раз меняло адрес. Но в 1913 г. получило специально построенное для него масштабное здание, занявшее почти весь квартал в улицах Кузнечная и им. Буденного (Новая); в дальнейшем, в годы советской власти, были выполнены пристройки разного назначения. Комплекс (рис. 5) расположен между улицами им. Митрофана Седина и Янковского (быв. Пластуновская). Строительством руководил архитектор И.К. Мальгерб. Стиль трехэтажного с подвалом здания кирпичный. Эстетический облик обогащает стилизация в «псевдорусском» духе с интерпретацией полосатой византийской кладки [9]. Фасады кирпичные неоштукатуренные, высокий раскрепованный по лопаткам цоколь [10]. Главный вход акцентирован ризалитом со срезанным углом. В уровне второго и третьего этажей устроены балконы с резными ограждениями. Высотные акценты – два щипца перерезают машикулеобразный карниз, венчающий контур фасадов.



Рис. 5. Коммерческое училище:

a – общий вид (URL: <https://felicina.ru/news/sozдание-ekaterinodarskogo-kommercheskogo-uchilishha>); *б* – план 1-го этажа (ГАКК. Ф. Р-1765. О. 4. Д. 22)

Fig. 5. Commercial school:

a – full view; *b* – 1st floor layout

Планировочный состав угловой части здания: холл, связанный с вестибюлем и парадной трехмаршевой лестницей с мраморными проступями и кованым ограждением. Ризалиты главных фасадов раскрепованы по торцам пилястрами с нишами и полосками в уровне междуэтажных карнизов. Планировочное решение коридорное. Стены лестницы украшены мозаичными панно с барельефами, выполненными после реконструкции. Изначально присутствовала домовая церковь с куполом и луковичной главкой. На фасаде она выде-

лялась торжественными высокими двусветными окнами. После реконструкции (здание пострадало во время Великой Отечественной войны) на месте церкви разместили актовый зал, частично изменив кровлю [11].

В ракурсе изучения адаптации архитектурных решений к инклюзивным образовательным условиям обучения детей с ограниченными возможностями здоровья стоит отметить, что одной из узловых особенностей региональной специфики была и остается фактическая барьерность этих зданий для лиц с патологиями опорно-двигательного аппарата. О необходимости создания специфических индивидуальных условий обучения на рубеже XIX–XX вв. писал доктор П.А. Розанов. В ходе своей практики врача в учебном учреждении он выявил небольшое количество учеников, которые не могут в силу своих умственных способностей справиться с процессом обучения. Для них он предлагал организовать отдельную школу [10]. Но эти рекомендации в связи с политическими, государственными и социальными процессами были реализованы только в годы советской власти, в то время как в других городах Российской империи и за рубежом подобные специализированные школы и учебные кластеры функционировали с конца XIX в. [1, 12–15].

Особенностями учебных учреждений разного уровня и специфики, построенных и функционировавших в г. Екатеринодаре, были характерные приемы архитектурного формирования, как то: группировка парадных помещений с парадными трехмаршевыми лестницами, своеобразная геометрия абриса здания со скошенными акцентными фасадами и крупными ризалитами, в которых сгруппирован ряд помещений основного назначения, богатый декор в духе эклектики, масштабы зданий, характеризующие город как непровинциальный. Именно масштаб, количество и качество помещений учебных зданий определили сохранение функций подавляющего числа исторических зданий. Изменения учебных зданий г. Екатеринодара, связанные с модернизацией учебного процесса, коснулись и архитектурно-пространственной структуры. Здания и комплексы образовательных учреждений гимназий, прогимназий, училищ требовали постоянного расширения в связи с политикой государства, направленной на обязательное среднее образование граждан.

Проанализировав планировочные решения, можно сказать, что они до сих пор соответствуют общей концепции архитектурно-планировочного пространства учебного заведения. Это выделяющаяся торжественная входная группа, наличие главной и дополнительных лестниц, коридорная система с расположением классов по одну или обе стороны от него. Крупные образовательные учреждения имели домовые церкви, вместо которых позже были организованы залы различного функционального назначения.

Касаясь вопроса нормативной базы проектирования, стоит особо отметить, что условия освещенности классов, нормируемые сейчас, тогда не всегда соблюдались, но при этом жесткими, как и в наши дни, к рубежу XIX–XX вв. стали требования к огнестойкости конструкций лестничных маршей и клеток. Требования к освещенности помещений основного назначения были детально пересмотрены уже в советское время.

Благодаря системной деятельности государства, архитекторов и застройщиков богатое архитектурное наследие исторических учебных зданий

г. Екатеринодара, сохраненное и реставрированное, вносит колоссальный вклад в формирование привлекательного облика Краснодара, составляя каркас архитектурно-исторических и культурных доминант городской ткани.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Стрельникова Е.Ю. Нормы проектирования первых российских школ в историческом контексте // Архитектурное наследство. 2021. № 75. С. 126–135.
2. Зажаяев П. Прошлое и настоящее Кубанской школы. Екатеринодар : Типография «Основа», 1907. 32 с.
3. Калайтан С.И. Пятидесятилетие Кубанского Мариинского женского института 1863–1913 гг. Екатеринодар : Типо-лито-фото-цинкогр. «Кубанский край», 1913. 108 с.
4. Дубинин В.А. Становление женского образования и первые женские учебные заведения на Кубани в XIX–XX вв. // Научное и образовательное пространство: перспективы развития : сб. материалов VII Международной научно-практической конференции, 15 января 2018 г. Чебоксары, 2018. С. 24–25.
5. Коллекция документов по архитектуре и градостроительству, г. Краснодар // ГАКК. Ф. Р-1765. О. 4. Д. 31.
6. Субботин О.С. Архитектурно-градостроительное наследие армянских зданий гг. Екатеринодара и Армавира XIX–XX вв. // Жилищное строительство. 2014. № 12. С. 26–31.
7. Коллекция документов по архитектуре и градостроительству, г. Краснодар // ГАКК. Ф. Р-1765. О. 4. Д. 20.
8. Бондарь В.В., Маркова О.Н. Портрет старого города: Екатеринодар на старинных открытках. Краснодар : ИПО «Лев Толстой», 2011. 128 с.
9. Коллекция документов по архитектуре и градостроительству, г. Краснодар // ГАКК. Ф. Р-1765. О. 4. Д. 22.
10. Новости музея. Создание Екатеринодарского коммерческого училища // Музей Фелицына. Новости : [сайт]. URL: <https://felicina.ru/news/sozdanie-ekaterinodarskogo-kommercheskogo-uchilishha/> (дата обращения: 08.02.2023).
11. Маркова О.Н. Памятник архитектуры «Коммерческое училище» в Краснодаре (Екатеринодаре) // Вестник ИМСИТ. 2017. № 1 (69). С. 14–17.
12. Розанов П.А. Умственно отсталые дети и вспомогательные для них школы. Екатеринодар : Электро-тип. «Сотрудник», 1912. 51 с.
13. Стрельникова Е.Ю., Малюк В.Н. Архитектурно-планировочные решения первых в России школ для детей с умственной отсталостью // Архитектура и современные информационные технологии. 2020. № 1 (50). С. 79–94.
14. Стрельникова Е.Ю. Архитектура как фактор создания комфортных учреждений для детей с отклонениями в развитии в Англии конца XIX века // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 3. С. 49–62.
15. Стрельникова Е.Ю., Труфляк И.С. Отличительные черты архитектуры первых образовательных учреждений Европы для детей с ментальными нарушениями // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 6. С. 766–775.

REFERENCES

1. Strelnikova E.Yu. Design standards of first Russian schools in historical context. *Arhitekturnoe nasledstvo*. 2021; 75: 126–135. (In Russian).
2. Zazhaev P. The past and present of the Kuban school. *Ekaterinodar: Osnova*, 1907. 32 p. (In Russian).
3. Kalajtan S.I. Fiftieth anniversary of the Kuban Mariinsky Women's Institute. *Ekaterinodar: Kubanskii krai*, 1913. 108 p. (In Russian).
4. Dubinin V.A. Women's education and first women's academic institutions in Kuban in the 19–20th centuries. In: *Proc. 7th Int. Sci. Conf. 'Scientific and Educational Space: Prospects for Development'*. Cheboksary, 2018. Pp. 24–25. (In Russian).

5. Collection of documents on architecture and urban planning, Krasnodar. State Archive of Krasnodar Krai. Form R-1765. List 4. File 31. (In Russian).
6. Subbotin O.S. Architectural and town-planning heritage of Armenian buildings of Ekaterinodar and Armavir in the 19–20th centuries. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014; 12: 26–31. (In Russian).
7. Collection of documents on architecture and urban planning, Krasnodar. State Archive of Krasnodar Krai. Form R-1765. List 4. File 20. (In Russian).
8. Bondar` V.V., Markova O.N. Old city: Ekaterinodar on old postcards. Krasnodar, 2011. 128 p. (In Russian).
9. Collection of documents on architecture and urban planning, Krasnodar. State Archive of Krasnodar Krai. Form R-1765. List 4. File 22. (In Russian).
10. Museum's news. Creation of Ekaterinodar commercial school. Felitsyn's Museum. News. Available: <https://felicina.ru/news/sozдание-ekaterinodarskogo-kommer-cheskogo-uchilishha/> (accessed February 8, 2023). (In Russian).
11. Markova O.N. Architectural monument "commercial school" in Krasnodar (Ekaterinodar). *Vestnik IMSIT*. 2017; 1(69): 14–17. (In Russian).
12. Rozanov P.A. Mentally retarded children and auxiliary schools for them. Ekaterinodar: Sotrudnik, 1912. 51 p. (In Russian).
13. Strel'nikova E.Yu., Malyuk V.N. Architectural and planning solutions of the first schools in Russia for children with mental retardation. *Arhitektura i sovremennye informacionnye tekhnologii*. 2020; 1(50): 79–94. (In Russian).
14. Strel'nikova E.Yu. Architecture as a factor of creating comfortable buildings for abnormal children in England late in the 19th century. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020; 22 (3): 49–62. (In Russian).
15. Strel'nikova E.Yu., Truflyak I.S. Architecture of first academic institutions in Europe for children with mental disabilities. *Vestnik MGSU*. 2020. 15 (6): 766–775. (In Russian).

Сведения об авторах

Чеберева Ольга Николаевна, канд. архитектуры, доцент, Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65, chebereva@mail.ru

Стрельникова Елена Юрьевна, ст. преподаватель, Краснодарский архитектурно-строительный техникум, 350901, г. Краснодар, ул. Российская, 132, lena.str.2011@yandex.ru

Authors Details

Ol'ga N. Chebereva, PhD, A/Professor, Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 65, Il'inskaya Str., 603950, Nizhny Novgorod, Russia, chebereva@mail.ru

Elena Yu. Strel'nikova, Senior Lecturer, 132, Rossiiskaya Str., 350901, Krasnodar, Russia, lena.str.2011@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 07.10.2022
Одобрена после рецензирования 12.01.2023
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 07.10.2022
Approved after review 12.01.2023
Accepted for publication 23.01.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 84–92.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 84–92.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 72.01

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-84-92

К ВОПРОСУ ОБ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ТЕРМИНА «ТРАНСФОРМАЦИЯ» В АРХИТЕКТУРЕ

Тимур Нуруллович Гатин

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Аннотация. Термин «трансформация» неоднозначен в архитектурной науке. Данное слово используется, начиная с процесса эволюционного изменения архитектуры как науки и искусства и заканчивая конкретными приемами контролируемого изменения пространств, внедренными в архитектуру на стадии проектирования. Многогранность понятия «трансформация», а также образованных от него однокоренных слов создает множество интерпретаций в текстах разных исследователей.

Целью исследования является изучение интерпретаций значения слова «трансформация» в архитектуре и определение понятия «трансформируемая архитектура» в системе понятий изменяемой архитектуры.

В основе исследования лежат выстроенные системы понятий разных авторов и их определения. *Тезаурусный метод, сравнительный анализ и сопоставление данных* позволяют определить и структурировать понятийный аппарат. Статья призвана осветить проблему неопределенности понятий изменяемой архитектуры и сложности поиска материалов по данной тематике.

Ключевые слова: трансформация, трансформируемая архитектура, изменяемая архитектура, интерпретация терминов

Для цитирования: Гатин Т.Н. К вопросу об интерпретации термина «трансформация» в архитектуре // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 84–92. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-84-92.

ORIGINAL ARTICLE

TOWARD INTERPRETATION OF THE TERM TRANSFORMATION IN ARCHITECTURE

Timur N. Gatin

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. Purpose: The aim of this work is to study different interpretations of the term transformation in architecture and define the term transformable architecture.

Methodology: The thesaurus method and comparative analysis. Data comparison allows to define and structure the conceptual apparatus. Works of A.A. Gaiduchena, N.A. Sapry-

kina, R. Kronenberg, J.D. Lee, R. Reuter are studied and analyzed. These researchers define the transformable architecture and created their own systems of definition of changeable architecture.

Research findings: Analysis concerning the interpretation of the term transformation in architecture show four possible notions. It is concerned if architecture is the intangible system of knowledge or artificial object of material world, and transformation is considered as the process of changing via evolutionary processes or the ability to change. Structure of notions helps to define original term of transformable architecture.

Practical implications: This work highlights the concept uncertainty of variable architecture and complex search for materials in the field.

Originality: The term transformation is ambiguous in architectural science. This word is used starting from the evolutionary change in architecture and ending by specific techniques of controllable change of space embedded in its architecture at the design stage. The versatility of the term transformation and words with similar roots, creates many interpretations by different researchers.

Keywords: transformation, adaptivity, transformable architecture, changeable architecture, dynamic architecture

For citation: Gatin T.N. Toward interpretation of the term transformation in architecture. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (1): 84–92. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-84-92.

Введение

Понятие «трансформация» в архитектуре имеет широкий спектр значений, начиная с того, что трансформация интерпретируется в качестве процесса изменения архитектуры как науки и искусства, и заканчивая конкретными приемами, внедренными в объекты на стадии проектирования для их контролируемого изменения. Постановка проблемы обусловлена неопределенностью понятия «трансформируемая архитектура». Найденные материалы по данной теме имеют большое количество определений, связанных с трансформацией, потому рассмотрены определения: «трансформация», «трансформация в архитектуре», «архитектурная трансформация», «трансформируемый», «трансформативный».

Целью исследования является изучение интерпретаций значения слова «трансформация» в архитектуре и определение понятия «трансформируемая архитектура» в системе понятий изменяемой архитектуры.

Объектом исследования в данной статье является понятие «трансформируемая архитектура» в системе понятий «изменяемая архитектура».

Предмет исследования – различные интерпретации понятий изменяемой архитектуры.

Исследование ограничено концепцией трансформируемой архитектуры, способной контролируемо и обратимо изменять свою форму, функцию и облик.

В основе исследования лежит тезаурусный метод и сравнительный анализ. Сопоставление данных позволит определить и структурировать понятийный аппарат. В настоящем исследовании изучаются и анализируются работы таких авторов, как А.А. Гайдученя, Н.А. Сапрыкина, Дж.Д. Ли и др., которые определяли трансформируемую архитектуру и создавали свои системы определенных изменяемой архитектуры.

Методы

Понятие «трансформация» (от лат. *transformatio* – превращение) трактуется в Большом словаре иностранных слов русского языка как «*перемена вида, формы чего-н., преобразование, превращение*» [1]. В Новом словаре русского языка трансформация определяется как «*преобразование, изменение вида, формы, существенных свойств чего-либо*» [2]. Словарь Ожегова определяет лишь глагол «трансформировать» как «*превратить (-ащать) из одного в другое, преобразовать (-овывать)*» [3]. Таким образом, понятие трансформации связано с изменением вида, формы, преобразованием, превращением.

Сущность архитектуры в контексте трансформации может рассматриваться, во-первых, архитектура как искусство и наука строить, проектировать. Трансформация архитектуры как искусства и науки воспринимается в качестве эволюционного изменения под воздействием социокультурных, научно-технических факторов. Изменяются подходы к проектированию, а также функциональные, конструктивные и эстетические аспекты архитектурных объектов разного времени; во-вторых, архитектура как рукотворные объекты. Различные авторы трактуют трансформацию как любое преобразование архитектурных объектов, которое происходит с конкретным объектом.

В связи с этим появляется сложность восприятия понятия «**трансформируемая архитектура**». Архитектурные объекты могут изменяться эволюционно или периодически, под воздействием долговременных и кратковременных факторов [4]. Поиски материалов по теме привели к следующим трактовкам трансформации:

- 1) трансформация как эволюционное преобразование объектов;
- 2) трансформация как заложенная способность объектов к контролируемому изменению.

Трансформация в архитектуре как эволюционное преобразование объектов. Архитектурный объект проектируется и строится с учетом его определенного срока жизни. Впоследствии такие объекты начинают угасать, теряя свой привлекательный вид и функциональность пространств, что приводит к преждевременному моральному устареванию, до момента обветшания их конструкций [Там же]. Под воздействием социальных, экономических и научно-технических факторов изменяются потребности, пользователи объектов нуждаются уже в иных функциях и пространствах, соответствующих современному образу жизни человека. Таким образом, в течение длительного периода времени объекты в конечном счете изменяются до неузнаваемости, теряя или модифицируя свою первоначальную функцию, облик, структуру. Данное явление А.А. Гайдученя связывает с понятием эволюционно-адаптивной архитектуры [Там же], а Н.А. Сапрыкина – с эволюционным преобразованием объектов [5].

Разные авторы в своих исследованиях используют термин «трансформация» в контексте эволюционного преобразования объектов. Например, Г.А. Проскурин, в автореферате диссертации говорит, что «**трансформация...** происходит... за счёт реконструкции, инвентаризации и реорганизации сложившихся промышленных зон, районов и узлов» [6]. Х.А. Бенаи и Т.А. Ра-

дионов в своей статье утверждают: «...проблема исследования заключается в совершенствовании направлений развития архитектурной трансформации непосредственно существующих комплексов зданий и сооружений, которые за период эксплуатации подверглись моральному и физическому износу и требуют определенных архитектурно-технологических вмешательств...» [7].

Изменяясь под воздействием социальных, культурных факторов, трансформируется не только архитектурный объект, но и образ жизни общества, облик среды. Такие трансформации проходят ациклично, необратимо, в течение длительного времени. Данное явление может быть связано с реконструкциями этих объектов, поэтому оно не связано с концепцией изменяемой архитектуры, ведь такая трансформация объектов происходит эволюционно и в объекты не заложены механизмы к контролируемому периодическому изменению.

Трансформация в архитектуре как заложенная способность объектов к изменению. Современное видение вопроса трансформации в архитектуре ставит изначальную, заложенную в архитектурный объект, возможность к самостоятельному изменению своей формы и облика, объемно-пространственных, функциональных решений. Данные трансформации являются циклическими и обратимыми, т. к. объект проектируется с учетом его возможности к изменению.

Трансформация архитектурного объекта может происходить сиюминутно, в зависимости от конкретных потребностей пользователя при определенном сценарии взаимодействия с пространством. При традиционном подходе архитекторы изначально планируют функциональные сценарии управления зданием, создают планировочные и пространственные решения, которые являются ограничением сценарных возможностей пользователя. В контексте трансформируемой архитектуры задача архитектора состоит в создании пространства, которое может управляться пользователем, предусматривая вариативность сценариев, для обеспечения перспективного развития использования пространств [8]. В этом смысле трансформируемая архитектура способна жить собственной жизнью, обитатели которой сами изменяют пространство, ориентируясь на определенные потребности, спрогнозировать которые не представляется возможным [9].

Одним из ярких примеров трансформируемого архитектурного пространства является культурно-выставочное здание The Shed в Нью-Йорке, построенное в 2019 г. по проекту Diller Scofidio + Renfro (рис. 1, а). Его особенностью является наличие внешнего раздвижного элемента-оболочки, который увеличивает внутреннее пространство (рис. 1, б, в). На этом пустом пространстве возводится зрительный зал, сцена, места для выставок и инсталляций (рис. 1, в – д). Помимо раздвижной оболочки, также имеются открывающиеся «окна» на этажах, которые делят и объединяют пространства, например, для создания большего зрительного зала (рис. 1, д). Данный пример демонстрирует современный подход к созданию трансформируемого пространства, в которое изначально заложена способность к изменению его пространственных характеристик. Гибкость пространства обеспечивает многофункциональность и вариативность сценариев его использования.

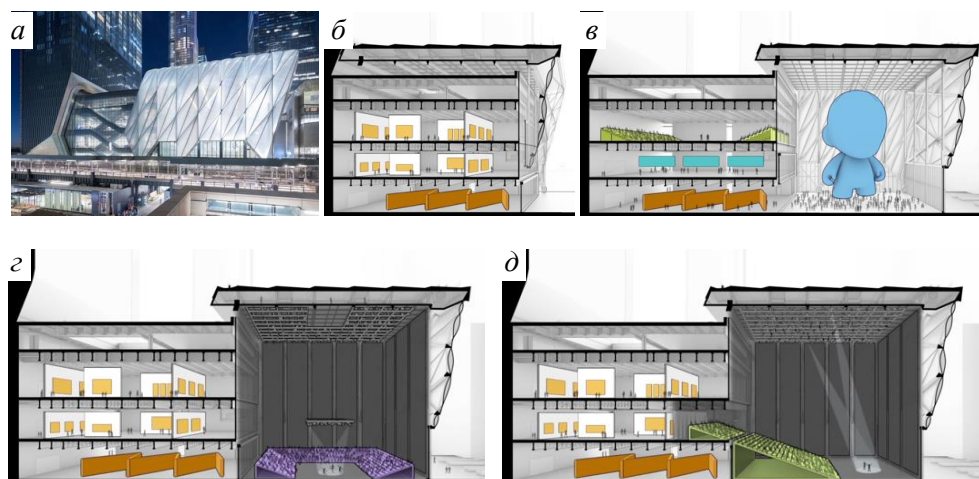


Рис. 1. Общий вид the Shed (a) (фотограф Iwan Baan) (URL: <https://www.archdaily.com/914450/the-shed-opens-in-new-yorks-hudson-yards>); различные функционально-пространственные состояния the Shed (б – д) (URL: <https://theshed.org/about/building>)

Fig. 1. General view of the Shed (photograph by Iwan Baan) (a); different functional and spatial conditions of the Shed (b – e)

В общем и целом заложенная способность архитектуры к изменению относит к вопросу формирования понятия трансформируемости в архитектуре и его интерпретациям.

Анализ интерпретаций понятия «трансформируемая архитектура». Разобравшись в различных вариациях интерпретаций слова «трансформация» в контексте архитектуры, рассмотрим другую проблему. Заложенная способность архитектуры к изменению создает большое количество терминов, которые применяют разные авторы, описывая похожие явления. Такая ситуация создает сложность в поиске материалов по теме трансформируемой архитектуры ввиду неопределенности единого терминологического аппарата в системе изменяемой архитектуры.

Одно из определений звучит так: «Трансформация в архитектуре – метод изменения формы, определяющийся динамикой, движением превращения или небольшого изменения формы» [4]. Н.А. Сапрыкина по этому поводу говорит следующее: «Трансформация как одно из основных средств проявления динамической адаптации архитектурных объектов к изменяющимся условиям и требованиям эксплуатации» [5]. О.В. Цайзер в своей диссертации использует термин «трансформация» в следующем контексте: «Совокупность конкретных приемов и средств, используемых для осуществления определенных преобразований в архитектурно-пространственной структуре объекта в зависимости от изменения функционально-технологических процессов» [10]. В данных определениях звучит термин «трансформация» как способ динамического изменения, преобразования, адаптации в зависимости от различных внешних условий.

Помимо слова «трансформация», различные авторы используют такие прилагательные, как **трансформируемый**, **трансформативный**. Так, в своей работе А.А. Гайдученя применяет термин «трансформативная архитектура», означающий вид архитектурных объектов, которые способны изменять объем, пространство, планировочные решения в зависимости от поставленных задач, причем отличительная черта трансформативной архитектуры от других видов динамической архитектуры – это возможность регулярного и периодического изменения с возможностью обратимости изменений [5]. О.В. Цайзер употребляет прилагательное **трансформируемый** относительно трансформируемого спортивного сооружения. В общем виде **трансформируемый объект** обозначает специально оборудованный объект, имеющий в своей структуре набор изменяемых элементов и технологических устройств, с помощью которых достигается вариабельность его функционально-пространственной организации в зависимости от изменения требований по проведению тех или иных мероприятий, предусмотренных функциональной программой сооружения [8]. В диссертации Джошуа Дэвида Ли используется прилагательное *transformable* для обозначения способности объекта к трансформации [11]. В главе, посвященной этимологии значения **трансформируемой архитектуры**, Джошуа Дэвид Ли применяет эволюционный подход к анализу и приводит несколько примеров использования термина с 1960-х гг. Проанализировав развитие этого термина, Джошуа Дэвид Ли определил трансформируемую архитектуру как здания и сооружения, которые способны быстро и контролируемо изменить свою форму, функцию или облик путем изменения конструкции, внешнего слоя и/или внутренних поверхностей с помощью подвижных элементов [Там же].

Таким образом, понятия «трансформируемая архитектура» и «трансформативная архитектура» означают похожие явления, которые сводятся к *изначальной способности архитектурных объектов с помощью динамических конструкций и специализированного оборудования к контролируемому и обратимому изменению функциональных, планировочных, пространственных и художественных решений*.

Обратная сторона данной проблемы заключается в наличии других терминов, близких по значению, но имеющих концептуальные отличия, которые пересекаются с понятием трансформируемой архитектуры: «**динамическая архитектура**», «**адаптивная архитектура**», «**кинетическая архитектура**», «**гибкость в архитектуре**». Необходимо разобраться в системе понятий изменяемой архитектуры и определить в ней место трансформируемой архитектуры.

Результаты

В ходе исследования были выявлены возможные трактовки термина «трансформация» в архитектуре. Сущность архитектуры в контексте трансформации может рассматриваться, во-первых, архитектура как искусство и наука строить, проектировать. Сущность трансформации, в свою очередь, может быть рассмотрена с точки зрения трансформации как эволюционного изменения, а также как заложенной способности к контролируемому изменению (рис. 2).



Рис. 2. Структура взаимосвязей понятий «архитектура» и «трансформация»

Fig. 2. Relationship between concepts of architecture and transformation

Анализ интерпретаций определений трансформации в архитектуре, трансформативной архитектуры и трансформируемой архитектуры разных авторов позволили сформулировать авторское определение **трансформируемой архитектуры** – пространство зданий, сооружений и их комплексов, которое способно контролируемо изменять свою форму, функцию и облик. Способность архитектурного пространства к обратимым изменениям определяет его **трансформируемость**.

Выводы

Таким образом, в ходе работы были изучены труды исследователей на тему трансформируемости и изменяемости архитектуры, проанализированы их системы и определения. На их основе было определено значение термина «трансформируемая архитектура».

Множество интерпретаций трансформации сменяется проблемой формулировки множества терминов, обозначающих похожие явления, и явлений, имеющих разные основы, которые требуют четкой терминологии, что упростит понимание новых тенденций в архитектуре и изучение вопросов, касающихся динамической архитектуры и ее адаптивности.

В дальнейшем требуется найти место понятия «трансформируемая архитектура» в системе изменяемой архитектуры, а также определить систему внутри понятия, которая обозначит ее приемы, принципы, основы и факторы, обеспечивающие трансформируемость архитектуры, а также методы и формы ее проявления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Большой словарь иностранных слов* // Gufo.me. URL: https://gufo.me/dict/foreign_words/трансформация (дата обращения: 05.01.2021).
2. *Ефремова Т.Ф.* Новый словарь русского языка. Толково-словообразовательный. Москва : Русский язык, 2000. 1233 с.
3. *Толковый словарь Ожегова*. URL: <https://slovarozhegova.ru/word.php?wordid=32164> (дата обращения: 05.01.2021).
4. *Гайдученя А.А.* Динамическая архитектура (основные направления развития, принципы, методы). Киев : Будівельник, 1983. 96 с.
5. *Сапрыкина Н.А.* Основы динамического формообразования в архитектуре. Москва : Архитектура-С, 2005. 312 с.
6. *Проскурин Г.А.* Архитектурно-планировочные принципы формирования зданий и сооружений нефтегазовых кластеров: на примере Оренбургского газохимического комплекса : специальность 05.23.21 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры. г. Нижний Новгород, 2011. 24 с.
7. *Бенаи Х.А., Радионов Т.В.* Совершенствование направлений развития архитектурной трансформации комплексов зданий и сооружений // Архитектура. Строительство. Образование. 2017. № 1 (9). С. 4–11.
8. *Fox M.* Interactive Architecture: Adaptive World. New York : Princeton Architectural Press, 2016. 176 p.
9. *Steward Brand.* How building learn: What happens after they're built. Viking, 1994. 264 с.
10. *Цайзер О.В.* Архитектурно-пространственная организация трансформируемых спортивных сооружений : специальность 05.23.21 : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры. г. Екатеринбург, 2015. 332 с.
11. *Joshua David Lee.* Adaptable, Kinetic, Responsive, and Transformable Architecture: An Alternative Approach to Sustainable Design : диссертация на соискание ученой степени Master of Science in Sustainable Design. Остин, Техас, США, 2012. DOI:10.13140/RG.2.1.4826.9044.

REFERENCES

1. Greater Dictionary of Foreign Words. Available: https://gufo.me/dict/foreign_words/трансформация (accessed January 5, 2021).
2. *Efremova T.F.* Novij slovar' russkogo yazyka. Tolkovo-slovoobrazovatel'nii. Moscow: Russkii yazyk, 2000. 1233 p. (In Russian).
3. Ozhegov's Dictionary. Available: <https://slovarozhegova.ru/word.php?wordid=32164> (accessed January 5, 2021). (In Russian).
4. *Gajduchenja A.A.* Dynamic architecture (main lines of development, principles, methods). Kiev: Budivel'nik, 1983. 96 p. (In Russian).
5. *Saprykina N.A.* Fundamentals of dynamic formation in architecture. Moscow: Arhitektura-S, 2005. 312 p. (In Russian).
6. *Proskurin G.A.* Architectural and planning principles for building and construction of oil and gas clusters: Example of the Orenburg Gas Chemical Complex. PhD Abstract. Nizhny Novgorod, 2011. 24 p. (In Russian).
7. *Benai Kh.A., Radionov T.V.* Improving directions for the development of architectural transformation of building complexes. *Arhitektura. Stroitel'stvo. Obrazovanie*. 2017; 1(9): 4–11. (In Russian).
8. *Fox M.* Interactive architecture: Adaptive world. New York: Princeton Architectural Press, 2016. 176 p.
9. *Brand S.* How building learn: What happens after they're built. Viking, 1994. 264 p.
10. *Zaiser O.V.* Architectural and spatial organisation of transformable sports facilities. PhD Thesis. Ekaterinburg, 2015. 332 p. (In Russian).
11. *David Lee J.* Adaptable, kinetic, responsive, and transformable architecture. An Alternative Approach to Sustainable Design. MsD Thesis. Austin, USA, 2012. DOI:10.13140/RG.2.1.4826.9044.

Сведения об авторе

Гатин Тимур Нуруллович, аспирант, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, gatintimur@gmail.com

Author Details

Timur N. Gatin, Research Assistant, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, gatintimur@gmail.com

Статья поступила в редакцию 15.09.2022
Одобрена после рецензирования 05.12.2022
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 15.09.2022
Approved after review 05.12.2022
Accepted for publication 23.01.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 93–104.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 93–104.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 728.1

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-93-104

ОСОБЕННОСТИ КОМФОРТНОЙ СРЕДЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ТИПОВЫХ СЕРИЯХ, ВОЗВЕДЕННЫХ ИНДУСТРИАЛЬНЫМ СПОСОБОМ В 1950–80-Х ГОДАХ

Татьяна Александровна Горбачева, Олеся Олеговна Смолина

*Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет (Сибстрин),
г. Новосибирск, Россия*

Аннотация. Актуальность исследования заключается в расширении и улучшении комфортности условий проживания в реалиях современного времени с помощью эргономических рекомендаций для дальнейшей перепланировки внутреннего объема здания в условиях, связанных с ухудшением морального и физического износа существующих построек XX в. Эргонометрический анализ базируется на рассмотрении самой распространенной по всей стране типовой жилой постройки 1950–80-х гг.: серии 1-447, нуждающейся в формировании благоприятной и безопасной среды проживания человека.

Цель: проанализировать текущие планировочные структуры здания типовой серии 1-447 по следующим показателям: транзитное передвижение по квартире, зонирование и взаимное расположение помещений со стороны эргономики.

Задачи: рассчитать коэффициент непрямолинейности в планировочных структурах данной серии; произвести оценку комфортности планировочных структур по следующим критериям: транзитное передвижение, зонирование и взаимное расположение помещений.

Новизна: проведен эргонометрический анализ жилого здания типовой серии 1-447 на наикратчайшие расстояния и расположение помещений относительно друг друга.

Методы: терминологический и теоретический сравнительный анализ; моделирование.

Основные результаты и выводы: в исследовании проведен эргонометрический анализ передвижения по квартире по двум видам движения. Выбраны и схематически показаны сам эргонометрический анализ, функционально-планировочное зонирование, взаимное расположение помещений. Рассчитаны коэффициенты непрямолинейности. Произведена оценка комфортности по критериям транзитного передвижения, зонирования и взаимного расположения помещений.

Ключевые слова: эргономика, комфорт, планировочная структура, типовая серия, жилое здание, коэффициент непрямолинейности

Для цитирования: Горбачева Т.А., Смолина О.О. Особенности комфортной среды жизнедеятельности в типовых сериях, возведенных индустриальным способом в 1950–80-х годах // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 93–104. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-93-104.

ORIGINAL ARTICLE

CONVENIENT LIVING ENVIRONMENT IN STANDARD BUILDINGS BUILT IN THE 1950–80s**Tatyana A. Gorbacheva, Olesya O. Smolina***Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,
Novosibirsk, Russia*

Abstract. The convenient living environment has to be currently improved by means of ergonomic recommendations for further redevelopment of buildings in conditions associated with their moral and physical deterioration in the 20th century. The ergonomic analysis is based on a widespread model of residential buildings built in the 1950–80s throughout the country.

Purpose: The analysis of planning structures of standard buildings according to the transit movement in the apartment, zoning and mutual arrangement of ergonomic premises.

Methodology/approach: Terminological and theoretical comparative analyses and modeling; calculation of the coefficient of non-straightness in the planning structure of such buildings; evaluation of convenience of planning structures according to the transit movement, zoning and mutual arrangement of premises.

Research findings: The ergonomic analysis of two types of movement in the apartment. Functional and planning zoning and relative location of premises are selected and schematically shown. Coefficients of non-straightness are calculated. Evaluation of convenience according to the transit movement, zoning and mutual arrangement of premises.

Originality: The ergonomic analysis of standard residential buildings conducted for the shortest distances and premise location relative to each other.

Keywords: ergonomics, comfort, planning structure, standard series, residential building, coefficient of non-straightness

For citation: Gorbacheva T.A., Smolina O.O. Convenient living environment in standard buildings built in the 1950–80s. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (1): 93–104. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-93-104.

Введение

С улучшением комфорта жизни населения, связанного с развитием информационных технологий, совершенствованием и созданием нового технического оборудования, а также с новыми нормами проектирования и строительства, большая часть жилищного сектора, которая была возведена индустриальным способом в период с пятидесятых по восьмидесятые годы прошлого столетия, имеет проблемы с современным оснащением зданий, а также с моральным устареванием и неспособностью грамотно вместить в объем квартиры необходимое для проживания современное оборудование в результате устаревших эргономических норм площадей комнат.

Основной проблемой типовых жилых построек 1950–70-х гг. является комфортность структуры квартиры с точки зрения эргономики, а именно: устаревшие нормы проектирования, из-за которых довольно трудно обеспечить достаточный уровень качества жизни по современным меркам; плохая звукоизоляция; маленькие габариты помещений, в которые не входит оборудование для повседневного обихода, вследствие чего необходимо перемещать

его в места, не соответствующие функциональным зонам, которых недостаточно; проходные комнаты в двух- и трехкомнатных квартирах [1]. Поэтому имеется потребность эргономического и эргонометрического анализа условий проживания для дальнейшего обоснования реконструкции или реновации данных жилых построек. Для анализа комфортности была выбрана наиболее распространенная серия жилого дома 1-447, строительство которой приходится на 1950–80-е гг.

Целью исследования является анализ планировочной структуры разных типов квартир серии здания 1-447 по трем критериям: транзитное передвижение по квартире, функциональное зонирование и взаимное расположение помещений со стороны эргономики.

В настоящем исследовании авторы решали следующие задачи:

- 1) рассчитать коэффициент непрямолинейности в планировочных структурах данной серии;
- 2) произвести оценку комфортности планировочных структур по следующим критериям: транзитное передвижение, зонирование и взаимное расположение помещений.

Новизна: проведен эргонометрический анализ жилого здания типовой серии 1-447 на наикратчайшие расстояния и расположение помещений относительно друг друга.

Основная теоретическая часть

Характеристики серии 1-447. Срок эксплуатации панельных зданий 1950–80-х гг. составлял в среднем от 25 до 50 лет, но при капитальном ремонте возможно увеличить этот срок до 100–150 лет благодаря значительному запасу прочности. Срок эксплуатации кирпичного жилого дома серии 1-447 составляет не менее 100 лет [2]. В результате повышения социальных, нормативных и потребительских требований для строительства массовые серии не смогли соответствовать современным основным эксплуатационным качествам и внешней привлекательности: они морально устарели [3].

Серия 1-447 является кирпичным 5-этажным зданием. Она имеет как недостатки, так и достоинства. Наиболее серьезным недостатком серии являются архитектурно-планировочные решения, положительное качество – отсутствие несущих стен внутри квартиры и широкие возможности для перепланировки. В квартирах данной постройки тесная прихожая, совмещенный санузел, маленькие кухни, не имеющие достаточно места для соответствующего функционального процесса, проходные комнаты, односторонняя ориентация, а также низкие потолки высотой около 2,5 м [Там же]. Для сравнения физиологические нормы жилья в России, установленные еще в конце XIX в., были выше, и, в частности, норма высоты потолков квартиры насчитывала 3,5–4,0 м [4].

Качество многоэтажной жилой среды определяется ее функционально-планировочными, гигиеническими, техническими и эстетическими требованиями, которые обеспечивают комфорт, безопасность и социальную эффективность среды обитания [5]. В постиндустриальном обществе недостаточно удобств для обеспечения необходимых психофизических условий для более длительного пребывания человека, на которое нацелено население [6].

На рис. 1 изображен план кирпичной типовой серии 1-447 [7], где выделено 3 разных типа квартир: синим цветом обозначена однокомнатная угловая квартира, оранжевым – двухкомнатная и желтым – трехкомнатная. Квартиры отличаются как по количеству помещений, так и по расположению и конфигурации. На рисунке указаны площади квартир, варьирующиеся от 28 до 57 кв. м, что соответствует нормам современных правил по актуализированному СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные».

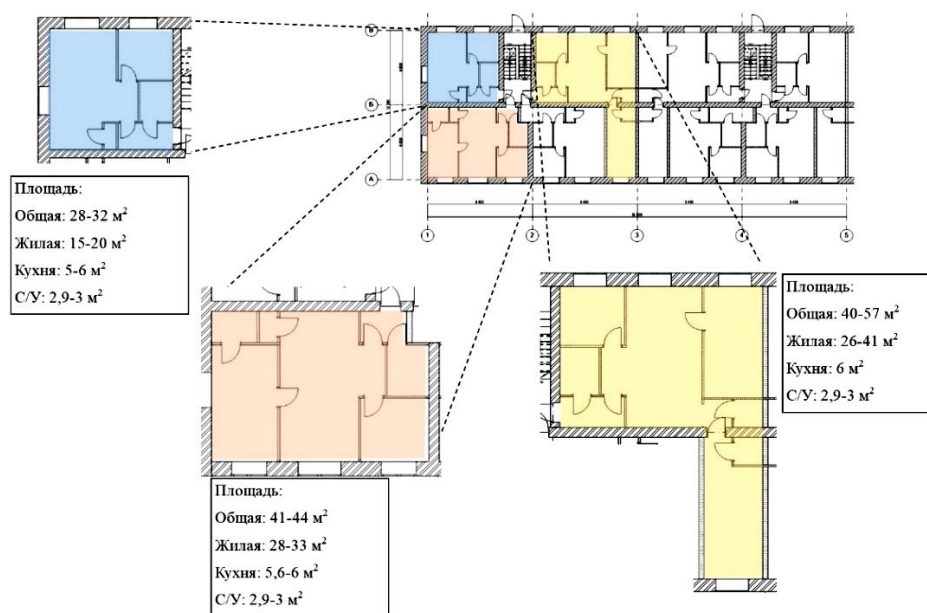


Рис. 1. План этажа и габариты помещений в здании типовой застройки 1-447

Fig. 1. Floor plan and dimensions of rooms in the type 1-447 building

Эргономическая составляющая пространства. *Эргономика пространства* – это удобство взаимодействия человека и других элементов системы, ее цель – оптимизация пространства, сохранение и повышение безопасности этой системы. Как отдельная отрасль науки эргономика появилась в 1999 г. Она применяется ко всему, что связано с комфортом людей [8–10], и опирается на исследования, проведенные во многих других не новых, устоявшихся научных областях, таких как физиология, психология и инженерия [11]. С изменением социально-экологических тенденций развития при выборе квартиры общество выдвигает на первый план объемно-планировочные решения, грамотное функциональное и общее зонирование, возможность преобразования или видоизменения планировки со временем, условия комфортности пребывания в жилище с точки зрения удобства [12], что можно назвать целостностью эргономических свойств [13]. Потребность человека в дополнительном комфорте жилой среды оправдана и необходима на сегодняшний день [8, 12, 14–15]. Для достижения общего понимания проектов и более широкого изучения возможностей проектирования [16], а также формирования научной базы для таких приоритетных

социальных направлений, как доступное жилье [14], используются методологические инструменты из области эргономики [16].

Сравнительно недавно появилось новое направление – «*эргономика пространства*», где центр внимания эргономистов – многофункциональное микропространство с повышенным уровнем комфортности [6, 17].

Практическая часть

Выделяют два метода функциональной организации архитектурно-пространственной среды.

Первый метод традиционный, где преимущественно выделяется четкое разделение всех помещений на однородные функциональные группы, основой организации пространственной среды является ядро композиции и элементы функциональных связей [18].

Второй метод основан на универсальности и многообразном использовании членения укрупненного гибкого внутреннего пространства на функциональные блоки перегородками [18]. Для рассматриваемой серии 1-447 соответствует второй метод, где есть возможность демонтажа ограждающих конструкций, т. к. они не являются несущими по проекту планировки [7].

Эргономичность в пространственных решениях типового жилья основывается на показателях минимальных пространств для различных видов деятельности и людей, имеющих особые потребности в процессе жизнедеятельности [14–15]. По современным стандартным расчетам социального норматива определены: 33 кв. м на одного человека; 42 кв. м для двух семейных людей; по 18 кв. м на каждого члена семьи при ее составе от 3 человек и более [19], что немного меньше площадей исходных планировочных структур, введенных в 1950–80-х гг. Концептуальное жилое пространство уменьшено в размерах по финансовым и экологическим соображениям. Максимально компактные помещения, с их функциональными особенностями, рассчитаны под наименьшее количество физических нагрузок человека, как внутренних, так и внешних. Такой подход реализуется для обеспечения предотвращения чувства усталости и дискомфорта [15].

Основными архитектурными средствами планировочной организации пространства являются:

- функциональное зонирование и оптимальный объем для каждой из них;
- планировочные структуры и связь между функциональными зонами;
- приёмы группирования помещений;
- композиционные схемы;
- приёмы группировки коммуникаций;
- способность к трансформации [12, 18].

В серии 1-447 можно выделить несколько основных функциональных групп, таких как зона приема и приготовления пищи, зона гигиены, зона сна и отдыха, зона хранения вещей и входная зона.

По современным меркам недостает нескольких функциональных зон, таких как зона работы и хобби, зона для сложной бытовой техники, кладовые и технические помещения, а в некоторых квартирах и зона для приема гостей.

Для эргонометрического анализа необходимо рассчитать коэффициент непрямолинейности, чтобы выяснить, соответствуют ли планировки квартир требованию эргономики по удобному расположению и наиболее легкому передвижению. Коэффициент непрямолинейности по идеальному соотношению должен быть приближен к 1. Чем коэффициент ближе к 1, тем меньше расстояние до помещения и отсутствуют препятствия для перехода из одной комнаты в другую, тем удобнее перемещение по квартире.

$$K_{\text{нп}} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}{L_0},$$

где L_1, L_2, L_3, L_4 – расстояния пути движения человека; L_0 – кратчайшее расстояние от одной точки до другой.

Данный анализ проведен для 1, 2, 3-комнатных квартир (рис. 2–4). Расчет выполнен из центральной гостевой комнаты. Основные обозначения (рис. 2) даны для удобного подсчета и переноса в таблицу.

1-КОМНАТНАЯ КВАРТИРА

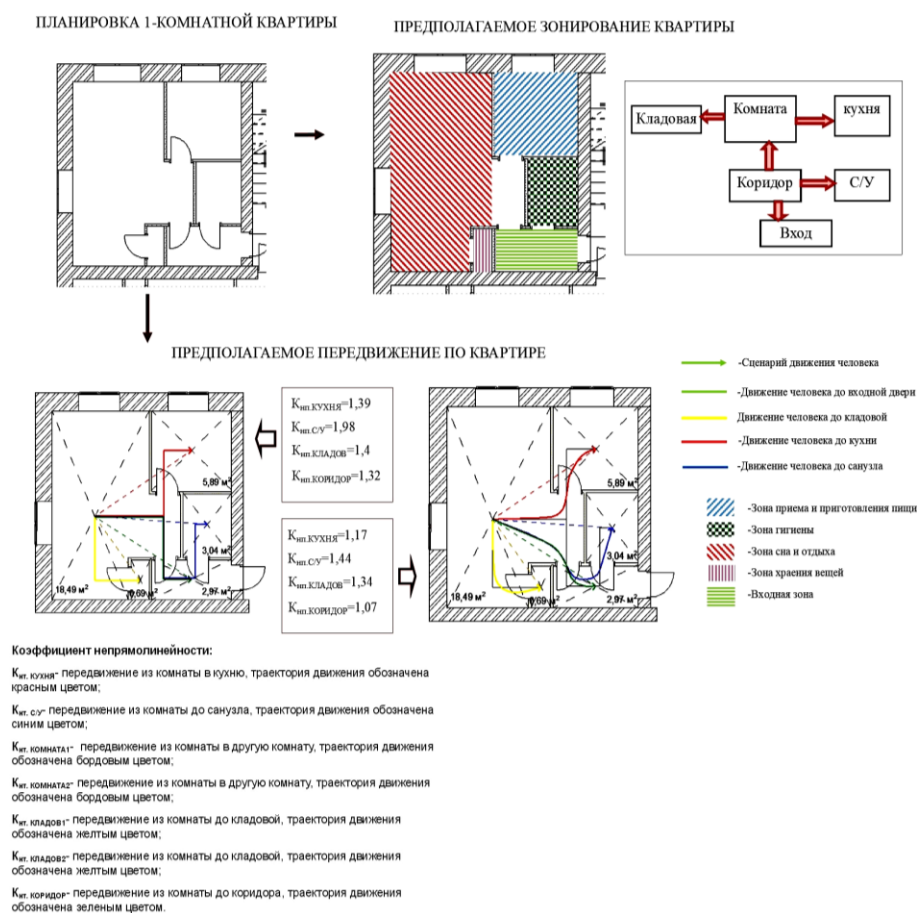


Рис. 2. Эргонометрический анализ 1-комнатной квартиры серии дома 1-447
 Fig. 2. Layout of one-room flat in the type 1-447 building

В первом случае объектом анализа является планировка однокомнатной жилой ячейки здания, показанная на рис. 2. Расположение квартиры угловое, поэтому окна выходят на две стороны света, что обеспечивает хорошую инсоляцию помещению, но при этом имеется достаточно неудобное внутреннее расположение, в связи с чем комната становится связующим звеном с другими помещениями, что убирает частично или даже полностью зону сна и объединяет ее в несколько других зон, таких как коммуникационная или общего пользования и отдыха.

В двухкомнатной квартире (рис. 3) основная связующая комната – это центральная жилая комната. Есть угловое выходящее на две стороны помещение, но уже изолированное от остального пространства, и несколько зон хранения, что является большим плюсом в такой планировке. В плане по функциональному значению, в отличие от схемы на рис. 2, можно выделить как общественную зону, где комната является проходной, так и отдельную зону для сна.

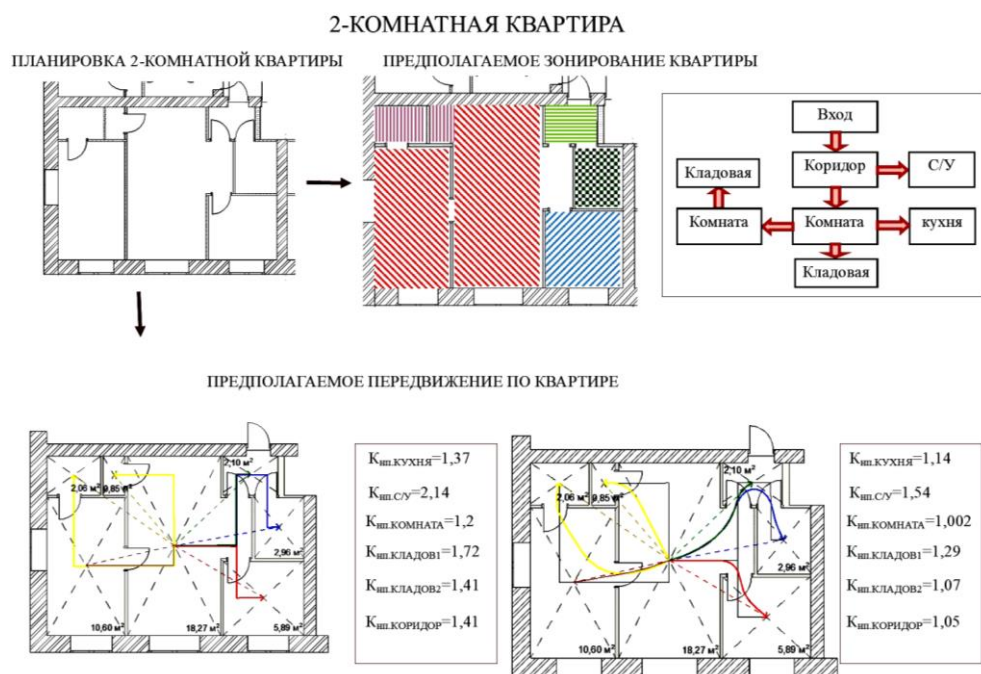


Рис. 3. Эргонометрический анализ 2-комнатной квартиры серии дома 1-447

Fig. 3. Layout of two-room flat in the type 1-447 building

В трехкомнатной квартире (рис. 4) основной связующей комнатой является центральная жилая комната. Довольно неудобное и одновременно удобное расположение имеют помещения квартиры, окна которых ориентированы на противоположные стороны света. Плюсом такой планировки, несомненно, является постоянная инсоляция квартиры, а отрицательной чертой – габариты помещения, выходящие за стандартную прямоугольную или квадратную форму жилой ячейки здания.

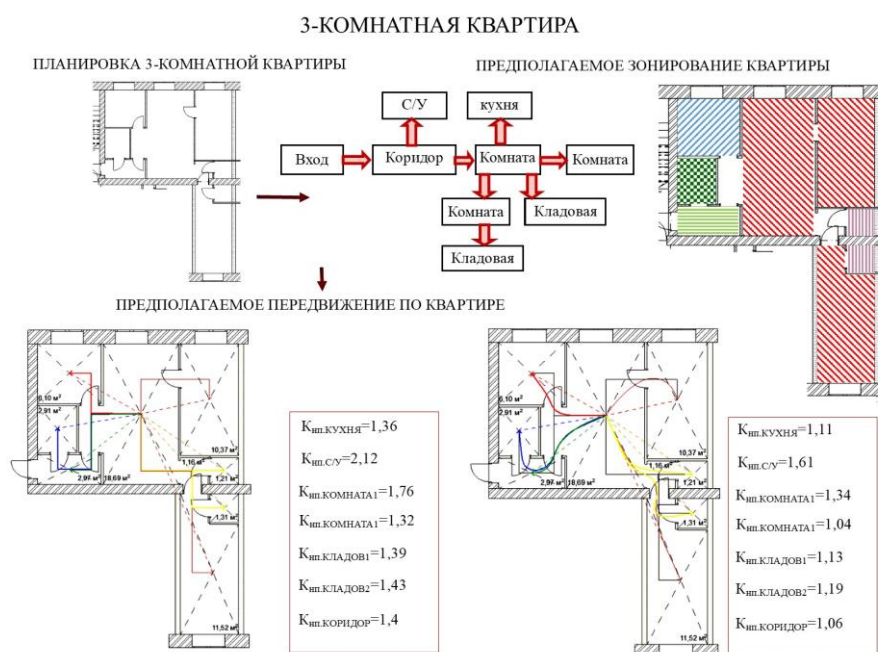


Рис. 4. Эргометрический анализ 3-комнатной квартиры серии дома 1-447

Fig. 4. Layout of three-room flat in the type 1-447 building

В таблице представлены итоговые сводные данные по транзитному перемещению: в первом случае – при передвижении по перпендикулярам, а во втором – по криволинейному передвижению.

Коэффициенты непрямолинейности при различных передвижениях Unstraightness coefficients at different movement

Квартира	К _{нп} кухня	К _{нп} с/у	К _{нп} коридор	К _{нп} кладов. 1	К _{нп} кладов. 2	К _{нп} комната 1	К _{нп} комната 2
Коэффициент непрямолинейности при передвижении под прямым углом							
1-комнатная	1,39	1,98	1,32	1,4	–	–	–
2-комнатная	1,37	2,14	1,41	1,72	1,41	1,2	–
3-комнатная	1,36	2,12	1,4	1,39	1,41	1,76	1,32
Коэффициент непрямолинейности при криволинейном передвижении							
1-комнатная	1,17	1,44	1,07	1,34	–	–	–
2-комнатная	1,14	1,54	1,05	1,29	1,04	1,002	–
3-комнатная	1,11	1,61	1,06	1,13	1,19	1,34	1,04

Из данных таблицы следует, что коэффициент многих помещений находится довольно близко к идеальным требованиям. По схемам взаимосвязи помещений видно, что связующим помещением является проходная комната, по которой и был подсчитан коэффициент непрямолинейности.

Выводы

Исходя из данных таблицы, можно сделать выводы, что планировочная структура квартир в жилом здании серии 1-447 была спроектирована с учетом разработанных в то время требований эргономики минимальных пространств, но не соответствует современным эргономическим принципам, по которым недостаточно имеющегося пространства для размещения дополнительных функциональных зон.

Таким образом, важно учитывать, что идеальной планировки квартиры не существует [20], но можно с помощью характеристик психоэмоционального состояния во многом предопределить эстетику средового пространства, где целостность первична и главенствует над частными элементами. Поэтому для грамотной организации среды необходимо придерживаться когнитивной эргономики, связанной с психическими процессами взаимодействия системы и адаптации в ней человека. Данный вид эргономики изучает мыслительную деятельность человека и определяется его восприятием, образом мышления и способностью запоминания [15].

Проход в индивидуальную зону через коллективную способствует образованию наиболее коротких связей между кладовыми и жилыми помещениями, для которых такая связь функционально необходима при зонировании квартиры и обеспечивает комфорт и удобство при эксплуатации. Четкое обнаружение в планировке квартиры соответствующих зон (индивидуальной и коллективной) должно быть основным принципом ее функционально-планировочной организации [21].

Пользование зданием характеризуется функциональной комфортностью. Основа удобства здания – это структура помещений, которая подчиняется функциям, ради которых создают жилое пространство [4]. Основным подходом можно назвать грамотное архитектурно-планировочное решение и разделение пространства квартиры на зоны с четкими границами [22].

Серия 1-447 наиболее хорошо подходит для перепланировки, т. к. здесь можно создать квартиры, отвечающие современным требованиям, но с минимальными пространствами, с меньшими материальными и трудовыми затратами, чем в других домах [3]. Единое пространство, в котором располагается жилая среда, разбито на функциональные зоны: гостевая зона, зона отдыха, зона приготовления пищи, санузел. Такая система, исключая коридорные связи, позволяет более рационально использовать пространство [15].

Заключение

В статье проведен эргонометрический анализ, учитывающий зонирование пространства, функциональные составляющие и комфортность пребывания человека со стороны удобства. Показаны схемы анализа, исходной точкой расчета которых стало центральное гостевое помещение; функционально-планировочное зонирование и взаимное расположение помещений квартир относительно друг друга. Рассчитаны коэффициенты непрямолинейности по трем видам квартир.

Следует отметить, что недопустимо без грамотного и комплексного подхода к эргономике пространства, где главной составляющей изучения яв-

ляется человек, заниматься улучшением планировочных структур при реконструкции здания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Рябова М.* Эволюционирование многофункционального жилого дома-комплекса как градостроительной единицы. Крым // Строительство и техногенная безопасность. 2014. № 51. С. 28–34.
2. *Суворов М.* Каков срок службы здания, от чего зависит? Как определить период годности панельного и иного дома? // Правовой Центр. 2020. URL: <https://pravovoi.center/zpp/srok-sluzhby/zhiloj-konstruktsii.html> (дата обращения: 26.04.2022).
3. *Мыльников И.А.* Проблемы реконструкции 5-этажных зданий. Урал : ЮУрГУ, Челябинск, 2018. 86 с.
4. *Осипов Ю.К., Матехина О.В.* Комфорт и безопасность жилой среды // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2014. № 4. С. 43–47.
5. *Садыкова Ж.М., Мурзагалиева А.Б.* Архитектура жилой среды // Актуальные исследования в современном мире. 2018. № 9-1 (41). С. 23–34.
6. *Михайлов С.М.* Эргономика пространства // Дизайн-Ревю. 2008. № 3–4. С. 74–79.
7. *ГОСИНКОР.* Унифицированные архитектурно-строительные системы мансардных этажей для надстройки реконструируемых домов. Москва : Госстрой России, 1998. 154 с.
8. *Смирнов А.Б.* Эргономика. Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического университета Петра Великого, 2016. 125 с.
9. *Колосова И.И.* Эргономика минимальных пространств // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 4. С. 62–67.
10. *Blog Ergonomics.* What is Ergonomics? // Dohrman consulting Australia's leading safety and ergonomics experts. 2014. URL: <https://www.ergonomics.com.au/what-is-ergonomics/> (дата обращения: 26.04.2022).
11. *Мария Хосе Ролдан.* Что такое эргономика: характеристики и виды // Ресурсы de Самопомощь. URL: <https://www.recursosdeautoayuda.com/ru/эргономика/> (дата обращения: 26.04.2022).
12. *Кривоносов А.В.* Обеспечение комфортности жилища за счет объемно-планировочного решения // Е-SCIO. 2019. № 4. С. 529–532.
13. *Занина И.А., Соколовская О.В., Тряпичкин С.А.* Эргономика и психофизиологические основы безопасности труда. Шахты : ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2013. 119 с.
14. *Короткова С.Г.* Эргономический подход в архитектурном проектировании // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 113–119.
15. *Прошунина К.А., Овчеренко И.А.* Теоретическая взаимосвязь эргономических принципов и концептуальной архитектуры жилого пространства // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2018. № 4. С. 12–23.
16. *Viviane Folcher, Khaldoun Zreik, Samia Ben Rajeb, Pierre Leclercq.* Innovative Learning for Collaborative Design in Ergonomics. Netherlands: 31st eCAADe Conference, 2013. 9 p.
17. *Зоколей С.В.* Архитектурное проектирование, эксплуатация объектов, их связь с окружающей средой : перев. с англ. Москва : Стройиздат, 1984. 670 с.
18. *Шилин В.В.* Архитектура и психология. Нижний Новгород : Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т, 2011. 66 с.
19. *Егоров М.С.* Норма площади на 1 человека в квартире // Этажи Журнал : сетевое издание. URL: <https://j.etagi.com/ps/norma-ploshchadi-na-1-cheloveka-v-kvartire/#:~:20предоставления%20по%20местному%20закону,2021%20год%20отображено%20в%20таблице> (дата обращения: 26.04.2022).
20. *Смирнова А.* Эргономика планировок: как выбрать удобное жилье // Авахо. Москва, 2020. URL: <https://avaho.ru/articles/remont/ergonomika-planirovok-kak-vybrat-udobnoe-zhile.html> (дата обращения: 26.04.2022).
21. *Дьяконова Т.А.* Методические указания по выполнению курсового проекта «Жилой дом средней этажности» по дисциплине «Архитектурное проектирование». Москва : МАРХИ, 2013. 40 с.
22. *Краснов Р.К.* Проблемы малогабаритного жилья и пути их решения // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 12-2. С. 170–173.

REFERENCES

1. Ryabova M.G. Evolution of multifunctional residential building complex as an urban planning unit. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*. 2014; (51): 28–34. (In Russian).
2. Suvorov M. What is the service life of building, what does it depend on? How to determine the life of a panel or other house? Legal Center. 2020. Available: <https://pravovoi.center/zpp/srok-sluzhby/zhiloy-konstruktsii.html> (accessed April 26, 2022). (In Russian).
3. Myl'nikov I.A. Problems of five-storey building reconstruction. Chelyabinsk, 2018. 86 p. (In Russian).
4. Osipov Yu.K., Matekhina O.V. Comfort and safety of living environment. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. 2014; (4): 43–47. (In Russian).
5. Sadykova Zh.M., Murzagalieva A.B. Architecture of residential environment. *Aktual'nye issledovaniya v sovremennom mire*. 2018; 41 (9-1): 23–34. (In Russian).
6. Mihajlov S.M. Ergonomics of space. *Dizain-Revyu*. 2008; (3–4): 74–79. (In Russian).
7. GOSINKOR, Unified architectural and construction systems of attic floors for superstructure of reconstructed houses. Moscow: Gosstroj, 1998. 154 p. (In Russian).
8. Smirnov A.B. Ergonomics. Saint-Petersburg: Peter the Great Polytechnic University, 2016. 125 p. (In Russian).
9. Kolosova I.I. Ergonomics of minimal spaces. Tomsk State University of Architecture and Building. 2011; (4): 16. (In Russian).
10. Blog Ergonomics, What is Ergonomics? Dohrman consulting Australia's leading safety and ergonomics experts. 2014. Available: www.ergonomics.com.au/what-is-ergonomics/ (accessed April 26, 2022).
11. Mariya Hose Roldan. What is ergonomics: characteristics and types. Available: www.recurso-deautoayuda.com/ru/эргономика (accessed April 26, 2022). (In Russian).
12. Krivosov A.V. Ensuring home comfort via space-planning solution. *E-SCIO*. 2019; (4): 529–532. (In Russian).
13. Zanina I.A., Sokolovskaya O.V., Tryapichkin S.A. Ergonomics and psychophysiological foundations of occupational safety. Shakhty, 2013. 119 p. (In Russian).
14. Korotkova S.G. Ergonomic approach in architectural design. *Izvestiya KGASU*. 2015; 34 (4): 113–119. (rus)
15. Proshunina K.A., Ovcherenko I.A. Theoretical interrelation of ergonomic principles and conceptual architecture of living environment. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya*. 2018; (4): 12–23. (In Russian).
16. Viviane Folcher, Khaldoun Zreik, Samia Ben Rajeb, Pierre Leclercq. Innovative learning for collaborative design in ergonomics. In: *Proc. 31st eCAADe Conf.*, Netherlands, 2013. 9 p.
17. Zokolej S.V. Architectural design, operation of objects, their connection with the environment. Moscow: Stroyizdat, 1984. 670 p. (Russian translation).
18. Shilin V.V. Architecture and psychology. Nizhny Novgorod, 2011. 66 p. (In Russian).
19. Egorov M.S. Floor area per person in the apartment. *Etazhi*. Available: <https://j.etagi.com/ps/norma-ploshchadi-na-1-cheloveka-v-kvartire/#:~:text=Norm%20references%20to%20member%20zakon,2021%20year%20displayed%20b%20tablice> (accessed April 26, 2022). (In Russian).
20. Smirnova A. Ergonomics of layouts: How to choose a comfortable accommodation. Moscow. 2020. Available: <https://avaho.ru/articles/remont/ergonomika-planirovok-kak-vybrat-udobnoe-zhile.html> (accessed April 26, 2022). (In Russian).
21. Methodological guidelines for the course project implementation "Medium-rise residential building". Moscow: MARCHI, 2013. 40 p. (In Russian).
22. Krasnov R.K. Problems of small-sized housing and ways to solve them. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2018; (12-2): 170–173. (In Russian).

Сведения об авторах

Горбачева Татьяна Александровна, магистрант, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, tatyana.gorbacheva.99@mail.ru

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

Authors Details

Tatyana A. Gorbacheva, Graduate Student, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, tatyana.gorbacheva.99@mail.ru

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

Статья поступила в редакцию 01.10.2022
Одобрена после рецензирования 25.11.2022
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 01.10.2022
Approved after review 25.11.2022
Accepted for publication 23.01.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 105–121.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 105–121.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 711.47

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-105-121

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗМЕЩЕНИЯ УНИВЕРСИТЕТСКИХ КОМПЛЕКСОВ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ СИБИРИ

Кристина Алексеевна Максимова, Владимир Иннокентьевич Коренев

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

Аннотация. В статье рассматривается университетская инфраструктура крупных сибирских городов. Выполнен анализ существующих классификаций университетских кампусов в зависимости от их территориально-пространственной организации и размещения по отношению к городу.

В целях градостроительной оценки университетских комплексов используются критерии, определяющие степень автономности или дисперсности вузов. В зависимости от удаленности размещения студенческих городков от учебных корпусов (радиус доступности) выделяются университетские комплексы с низкой, средней и высокой степенью дисперсности. В зависимости от особенностей размещения по отношению к городскому центру университетские комплексы делятся на вузы, размещаемые в центральной части города, на границах центральной части города, на периферии города.

Исходя из используемой классификации и с учетом градостроительного анализа размещения учебных корпусов и студенческих городков были определены виды территориально-пространственных структур университетских комплексов, расположенных в крупных городах Сибирского федерального округа, таких как Томск, Новосибирск, Красноярск, Омск, Барнаул, Кемерово, Иркутск.

По результатам градостроительного анализа установлено, что территориально-пространственная организация вузов с высокой степенью дисперсности наиболее часто встречается в Красноярске и в Кемерово. Университеты с низкой и средней степенью дисперсности характерны для городов Барнаул, Иркутск и Томск.

Ключевые слова: университет, университетский город, территориально-пространственная организация, территориально-пространственная структура университета, инфраструктура университета, общежития, студенческий городок, кампус, кампусная среда

Для цитирования: Максимова К.А., Коренев В.И. Градостроительный анализ размещения университетских комплексов в крупных городах Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 105–121. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-105-121.

ORIGINAL ARTICLE

TOWN-PLANNING ANALYSIS OF UNIVERSITY CAMPUS LOCATION IN LARGE CITIES OF SIBERIA

Kristina A. Maksimova, Vladimir I. Korenev

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. The article discusses the university infrastructure in large Siberian cities. University campuses are classified depending on their spatial organization and location in the city.

Criteria are used for the evaluation of urban planning of university campuses, that determine the location of universities. Depending on a distance between campuses and academic buildings, university campuses are distinguished between low, medium and high degrees of distribution. University campuses are divided into universities locating at the center, center boundary and periphery of the city.

Based on the proposed classification and town-planning analysis of academic buildings and campuses, the types of spatial structures of university campuses are determined for such large cities of the Siberian Federal District as Tomsk, Novosibirsk, Krasnoyarsk, Omsk, Barnaul, Kemerovo, Irkutsk.

According to the town-planning analysis, the high distribution of universities is mostly often found in Krasnoyarsk and Kemerovo. Universities with low and medium distribution are typical for Barnaul, Irkutsk, and Tomsk.

Keywords: university campus, spatial organization, spatial structure, infrastructure, dormitories

For citation: Maksimova K.A., Korenev V.I. Town-planning analysis of university campus location in large cities of Siberia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta* – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (1): 105–121. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-105-121.

Среди градообразующих факторов, которые оказывают влияние на социально-экономическое развитие региональных центров Сибирского федерального округа (СФО), таких как Томск, Новосибирск, Красноярск, Кемерово, Барнаул, Омск, Иркутск, большую роль играют университеты, а точнее, их комплексы [1].

Влияние вузов на городское сообщество всегда было велико, но сегодня их роль в развитии городов становится еще более заметной [2]. Вузы стали влиять на многие городские процессы, в том числе на численность населения, т. к. с каждым годом происходит рост числа приезжих студентов; на развитие экономики – вузы являются катализатором возникновения инновационных и экономически эффективных производств; на планировочную организацию городских территорий – университеты нуждаются в новых площадях и расширении вузовской инфраструктуры; на уровень комфортности городской среды – размещение вузов в структуре города является важным показателем качества городской среды, и на ряд других факторов городского развития [3].

В нынешнее время считается, что одним из существенных факторов международной конкурентоспособности университетских городов является комфортность городской среды, в которой находится вуз, а также качество инфраструктуры самого университета. Ещё один важный фактор, который

влияет на привлекательность вуза, – это место размещения университета в структуре города, его близость к центру города и архитектурно-планировочные особенности самого вуза [4].

Проблема размещения университетов в структуре города интересовала многих исследователей, именно поэтому сегодня существуют различные подходы к классификации университетских кампусов в зависимости от их пространственной организации и размещения в планировочной структуре города.

Один из авторов – А.А. Высоковский – рассматривает классификацию на примере Москвы и выделяет 4 типа университетов: компактный вуз – расположен в одном здании, не имеет общежитий; кампус, который представляет собой единую территорию, именно на ней сосредоточены все здания университета; дисперсный вуз – здания расположены в разных частях города; комбинированный университет – это тот, в котором центральная территория дополнена сетью разбросанных по городу учебных корпусов и общежитий [5].

А.А. Стариков опирается на региональные особенности возникновения университетов, а также степень их связанности с городскими территориями и выделяет 5 моделей: французская, английская, американская, юго-восточная, спутниковая [6].

М.Г. Зобова рассматривает университетские комплексы в зависимости от их градостроительного размещения и особенностей включения вузов в научно-образовательные кластеры и выделяет два типа университетов: интегрированный кампус и автономный кампус [7].

Александра Хейер и Флавия Курвело Магданиэль классифицируют кампусы таким образом: кампус вне города, кампус внутри города и кампус, интегрированный в город [8].

Предложенная классификация Г.И. Кулешовой, на наш взгляд, является наиболее точной и структурированной. В зависимости от размещения вуза по отношению к городу она выделяет два типа университетов: автономные (или загородные) и городские. Также автор уточняет, что городские университеты могут быть локального или дисперсного вида [9].

Для более точной оценки существующего разнообразия территориально-пространственных структур городских университетов ранее авторами настоящей статьи предлагалось применять классификацию Г.И. Кулешовой, но при этом установить критерии, по которым можно определять степень локальности или дисперсности вуза. В качестве критерия предлагается использовать радиус пешеходно-транспортной доступности (R_d) основных объектов университетского комплекса по отношению к общежитиям и студенческим городкам. Таким образом, к локальным университетам относятся вузы, в которых более 75 % зданий размещены в радиусе доступности не более 0,5 км. Вузы, не попадающие под этот критерий, именуются дисперсными. При этом в случае размещения более 75 % объектов университета в радиусе доступности от 0,5 до 1,5 км университетские кампусы относятся к вузам с низкой степенью дисперсности; с радиусом доступности от 1,5 до 3 км – к вузам средней степени дисперсности; с радиусом более 3 км – к вузам с высокой степенью дисперсности [10]. Здесь необходимо отметить, что, в случае если имеются объекты университета, расположенные на значитель-

ном удалении от основного университетского комплекса, и их площадь не превышает 10 % от суммарной площади всех университетских объектов, такие корпуса и общежития в определении степени дисперсности территориально-пространственной структуры вуза не учитываются.

Ещё одним важным критерием привлекательности вуза является условие размещения университетского кампуса по отношению к городскому центру [11]. Авторами ранее было предложено городские университеты разделять на университеты, расположенные в центральной части города, на границе центральной части города и на периферии города.

В настоящей статье проведен анализ территориально-пространственной организации вузов, расположенных в крупных городах СФО, таких как Новосибирск, Красноярск, Омск, Томск, Кемерово, Барнаул, Иркутск. В исследовании представлен 1-й этап работы, связанный с определением категории вуза по предложенной классификации. Оценка степени их территориальной взаимосвязанности между собой не проводилась (рис. 1).

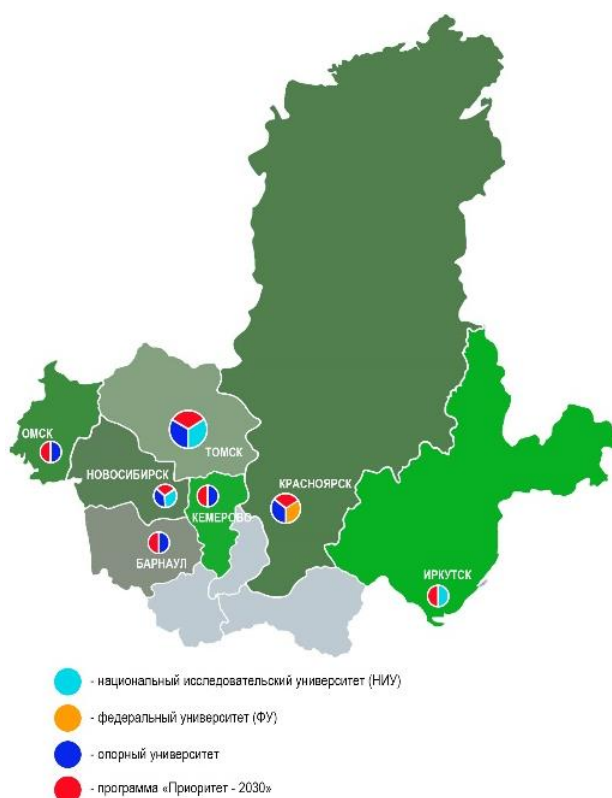


Рис. 1. Схема распределения университетов в крупных городах Сибирского федерального округа
Fig. 1. Schematic distribution of universities in major cities of the Siberian Federal District

Красноярск. Красноярск – один из крупнейших городов Сибирского федерального округа, является крупнейшим культурным, образовательным, экономическим и промышленным центром Восточной Сибири. Город распо-

ложен в центре России, на обоих берегах Енисея. Начиная с 2006 г. в структуре высшего образования г. Красноярска были проведены существенные преобразования.

В 2006 г. за счет объединения 5 вузов был создан Сибирский федеральный университет, в состав которого вошли Красноярский государственный университет, Красноярский государственный технический университет, Красноярская государственная архитектурно-строительная академия, Государственный университет цветных металлов и золота и Красноярский государственный торгово-экономический институт. В 2015 г. путём присоединения Сибирского государственного технологического университета к Сибирскому государственному аэрокосмическому университету был образован Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (СибГУ им. М.Ф. Решетнева), ставший единственным в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке опорным вузом страны. Оба университета являются участниками программы «Приоритет-2030».

В 2017 г. Красноярский государственный художественный институт был включён в состав Красноярского государственного института искусств как структурное подразделение.

Таким образом, в настоящее время в Красноярске функционирует 7 государственных университетов (в т. ч. 1 филиал) и Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук [12] (рис. 2).

За последние пять лет в городе наблюдается значительное снижение числа студентов с 69,4 тыс. чел. в 2017 г. до 60,6 тыс. чел. в 2021 г.

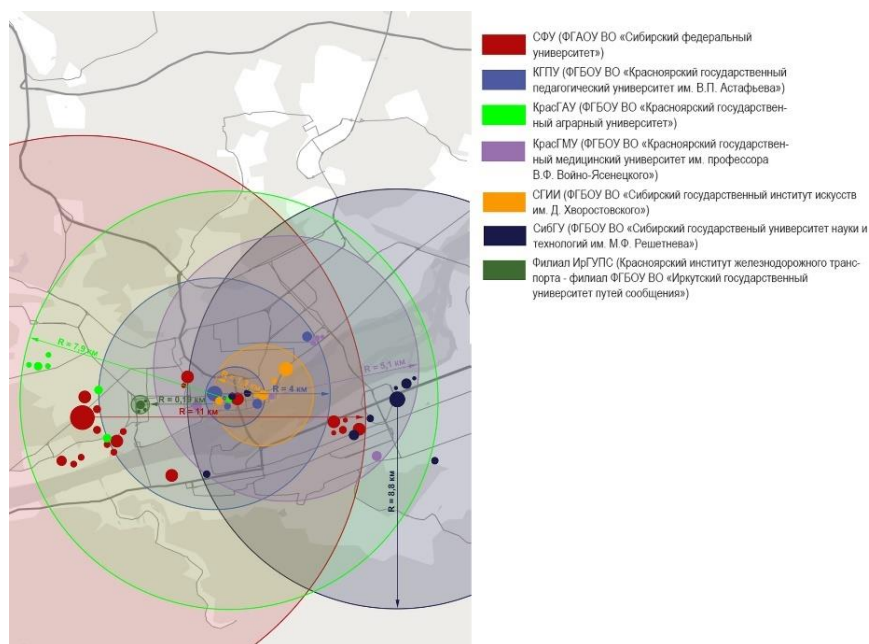


Рис. 2. Схема территориально-пространственной организации университетов Красноярска и радиусы доступности

Fig. 2. Spatial organization and accessibility of universities in Krasnoyarsk

Анализ территориально-пространственной организации университетов Красноярска позволяет выделить следующие характеристики и особенности размещения университетских кампусов в планировочной структуре города:

1. Сетевая структура университетов Красноярска имеет рассредоточенный характер с размещением вузов как в центральной части, так и на периферии города. Имеется 3 планировочных узла, в которых расположены объекты нескольких университетов. Расстояние между территориями разных университетов достигает 15 км.

2. Наибольшее число вузов имеют дисперсную модель организации университетских комплексов, которая составляет 85,7 % от общего количества вузов города, при этом вузов с низкой степенью дисперсности – 14,3 %, со средней степенью дисперсности – 14,3 %, а вузов с высокой степенью дисперсности – 57,1 %. К категории локальных университетов относится филиал ИрГУПС – он расположен на одной территории. К категории дисперсных университетов относятся:

– с низкой степенью дисперсности: КГПУ им. В.П. Астафьева. У него все здания находятся в радиусе до 1 км, и только здание факультета истории удалено на 4 км;

– со средней степенью дисперсности: СГИИ им. Д. Хворостовского ($R_d = 1,9$ км);

– с высокой степенью дисперсности: СФУ ($R_d = 11$ км), КрасГАУ ($R_d = 7,9$ км), КрасГМУ им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого ($R_d = 5,1$ км), СибГУ им. М.Ф. Решетнева ($R_d = 8,8$ км).

Новосибирск. Новосибирск является крупнейшим городом России, третьим по численности населения. Это административный центр Сибирского федерального округа, расположенный на обоих берегах р. Оби. Научную известность Новосибирску принёс Академгородок (Новосибирский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук), на территории которого находятся десятки научно-исследовательских институтов, Новосибирский государственный университет, Физико-математическая школа НГУ, Высший колледж информатики НГУ. Недалеко от Новосибирска, в наукограде Кольцово расположен Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор». В пос. Краснообск находится Сибирское отделение Российской академии сельскохозяйственных наук [13]. Всего в Новосибирске 17 государственных высших учебных заведений, в том числе 3 филиала вузов других городов России. Самый крупный вуз – Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), в котором обучается более 14,5 тыс. студентов (по данным Мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования 2021 г.). НГТУ является опорным вузом и участником программы «Приоритет-2030». Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ), единственный в городе национальный исследовательский университет, также является участником программы «Приоритет-2030» (рис. 3).

В последнее время наблюдается незначительное снижение числа студентов, с 2017 по 2021 г. этот показатель уменьшился почти на 4,5 тыс. человек.

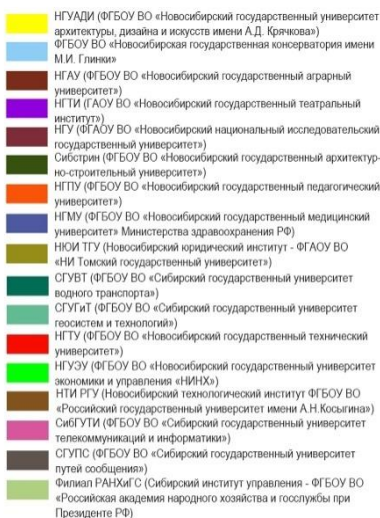


Fig. 3. Spatial organization and accessibility of universities in Novosibirsk

1. Сетевая структура университетов Новосибирска имеет рассредоточенный характер с размещением вузов как в центральной части, так и на периферии города. Один вуз находится автономно в южной части города на расстоянии 20 км от центра. Имеется 3 планировочных узла, в которых расположены объекты нескольких университетов. Максимальное расстояние между территориями разных университетов достигает 16 км, за исключением корпусов НГАУ, расположенных на значительно большем удалении в северо-восточной части Новосибирска.

– с низкой степенью дисперсности: НГУ ($R_d = 0,75$ км), НГУЭУ ($R_d = 0,66$ км), НГАУ (большая часть зданий базируется на одной территории, а два корпуса – факультет среднего профессионального образования и ветеринарно-лабораторный корпус находятся за пределами города на расстоянии от основного комплекса 9,8 км);

– со средней степенью дисперсности: Новосибирская государственная консерватория имени М.И. Глинки ($R_d = 2,1$ км), НТИ РГУ им. А.Н. Косыгина ($R_d = 1,9$ км), филиал РАНХиГС ($R_d = 2,1$ км), СГУВТ ($R_d = 2,2$ км);

– с высокой степенью дисперсности: НЮИ ТГУ ($R_d = 6,8$ км), НГТИ ($R_d = 4,7$ км), НГМУ ($R_d = 5,9$ км), СибГУТИ ($R_d = 4,2$ км).

Омск. Омск расположен на слиянии рек Иртыш и Омь, является одним из самых крупных городов России, а также крупным научным, культурным, спортивным и промышленным центром. Город-миллионер, второй по численности населения в Сибири.

Первый вуз в Омске был открыт в начале 1918 г. на базе Императорского Омского среднего сельскохозяйственного училища и был назван Сибирским сельскохозяйственным институтом. В дальнейшем названия менялись, в настоящее время это Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина (ОмГАУ) [14].

На сегодняшний день в Омске функционирует 11 государственных высших учебных заведений (в т. ч. 3 филиала). Омский государственный технический университет (ОмГТУ) является опорным вузом и участником проекта «Приоритет-2030» (рис. 4).

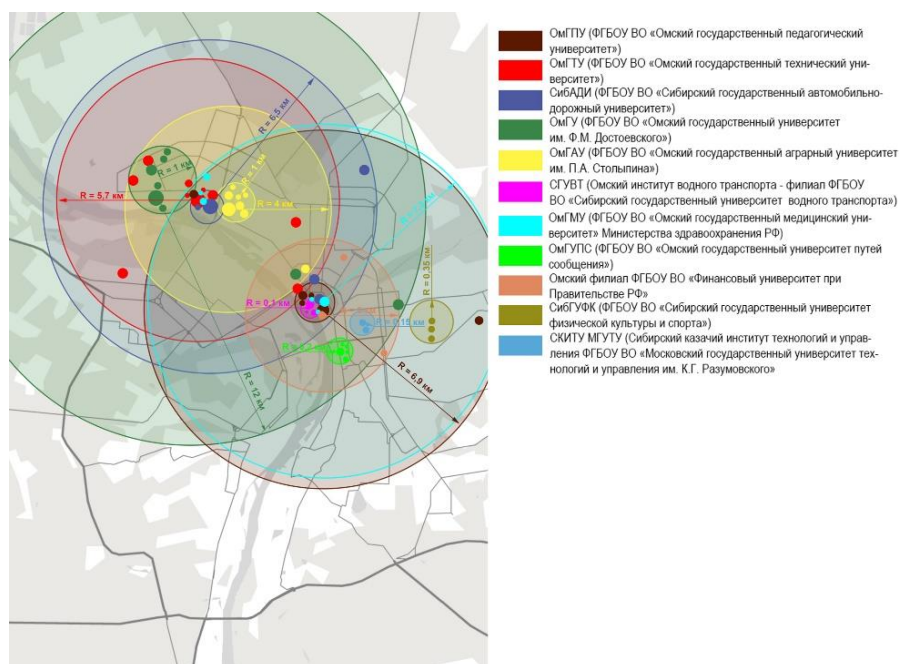


Рис. 4. Схема территориально-пространственной организации университетов Омска и радиусы доступности

Fig. 4. Spatial organization and accessibility of universities in Omsk

Наблюдается снижение численности студентов, если в 2017 г. количество студентов, обучающихся в государственных вузах Омска, составляло 63,7 тыс. чел., то к 2021 г. этот показатель опустился до 56,2 тыс. чел.

Анализ территориально-пространственной организации университетов Омска показал следующее:

1. Сетевая структура университетов Омска имеет рассредоточенный характер с размещением вузов как в центральной части города, так и на периферии. Имеется 3 планировочных узла, в которых расположены объекты нескольких университетов. Расстояние между территориями разных университетов достигает 15,5 км.

2. С небольшим отрывом лидирует локальная модель организации вузов, которая составляет 54,5 % от общего количества вузов. Вузов с дисперсной моделью – 45,5 %, при этом вузов с низкой степенью дисперсности – 9,1 %, со средней – 18,2 %, с высокой – 18,2 %. К категории локальных вузов относятся ОИВТ СГУВТ, СибГУФК, ОмГУПС, СКИТУ МГУТУ, ОмГПУ. СибАДИ также можно отнести к локальному вузу, т. к. удалённые корпуса не превышают допустимый процент площади. К категории дисперсных университетов относятся:

– с низкой степенью дисперсности: ОмГАУ (основной университетский комплекс ОмГАУ находится в $R_d = 1$ км, а здание факультета зоотехнии, товароведения и стандартизации ИВМиБ удалено на расстояние 4 км), ОмГУ им. Ф.М. Достоевского (основной университетский комплекс находится в R_d до 1 км, два здания – факультет культуры и искусств и учебный корпус № 11 удалены на расстояния 6,8 и 12 км соответственно);

– со средней степенью дисперсности: Омский филиал ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» ($R_d = 3$ км);

– с высокой степенью дисперсности: ОмГМУ ($R_d = 7,3$ км), ОмГТУ ($R_d = 5,7$ км).

Томск. Томск – административный, промышленный, научный и культурный центр Сибири. Это единственный город в России, в уставе которого научно-образовательный комплекс – это градообразующая отрасль экономики.

В настоящее время в городе работает 6 университетов и 2 филиала иногородних вузов (Западно-Сибирский филиал Российского государственного университета правосудия и филиал Новосибирского государственного аграрного университета – Томский сельскохозяйственный институт). Из общего числа вузов – 2 национальных исследовательских университета (НИУ) – Национальный исследовательский Томский государственный университет (ТГУ) и Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); Томский политехнический университет и Сибирский государственный медицинский университет Министерства здравоохранения (СибГМУ) являются опорными вузами, при этом СибГМУ – единственный в России опорный медицинский вуз. Вышеперечисленные университеты, а также Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) являются участниками проекта «Приоритет – 2030». (рис. 5).

В 2015 г. Томск получил статус «Студенческой столицы России» и официально зарегистрировал соответствующий товарный знак. Томская область по количеству студентов на 10 тыс. жителей занимает 3-е место после Москвы и Санкт-Петербурга, а по привлечению иногородних студентов является лидером в стране [15]. В городе каждый восьмой житель – это студент [16].

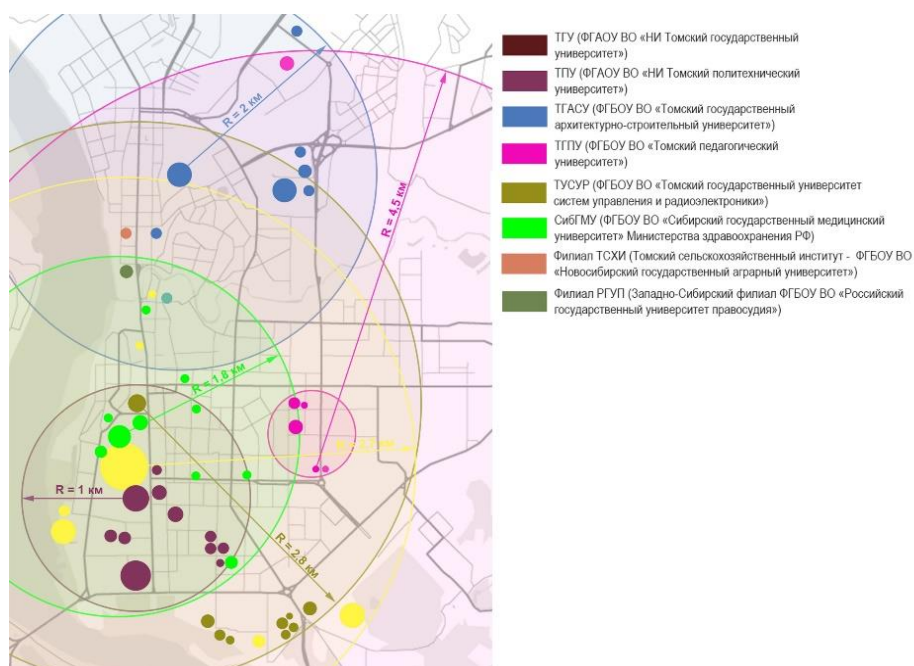


Рис. 5. Схема территориально-пространственной организации университетов Томска и радиусы доступности

Fig. 5. Spatial organization and accessibility of universities in Tomsk

Несмотря на то, что Томск находится в лидерах по количеству студентов, некоторое время отмечалось снижение этого показателя. Согласно основным результатам деятельности научно-образовательного комплекса Томской области за 2019 г. [17] и по данным доклада «О реализации государственной политики Томской области в сфере образования (2020 год)» [18], в 2008 г. на территории региона обучалось 88,9 тыс. студентов, в 2015 г. – 63,6 тыс., в 2019 г. этот показатель понизился до 57 тыс. Уменьшение численности студентов связывают с существенным сокращением студентов заочной и вечерней форм обучения. В последние годы можно наблюдать незначительный рост. По данным Мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования в 2021 г., в томских вузах обучалось 59,4 тыс. студентов.

Исходя из анализа схемы территориально-пространственной организации вузов Томска, можно сделать следующие выводы:

1. Сетевая структура университетов Томска имеет компактный характер с размещением абсолютного большинства объектов вузов в центральной части города. Исключением является здание филиала ТСХИ, расположенное на периферии города. Максимальное расстояние между территориями разных университетов составляет 6,5 км.

2. В Томске 12,5 % университетов имеют локальную структуру территориально-пространственной организации и 87,5 % – дисперсную, при этом с низкой степенью дисперсности – 12,5 %, со средней – 62,2 % и с высокой –

12,5 %. К категории локальных университетов относится филиал РГУП. К категории дисперсных вузов относятся:

- с низкой степенью дисперсности: ТПУ ($R_d = 1$ км);
- со средней степенью дисперсности: ТГУ ($R_d = 2,7$ км), ТУСУР ($R_d = 2,8$ км), СибГМУ ($R_d = 1,8$ км), ТГАСУ ($R_d = 2$ км). В неоднозначной ситуации находится ТГПУ. Он располагается на трех территориях с удаленностью одной из них на 4,6 км. С одной стороны, мы имеем случай, когда университетский кампус относится к категории университетов с высокой степенью дисперсности, но с учетом предложенных критериев ТГПУ попадает в группу вузов, имеющих среднюю степень дисперсности;
- с высокой степенью дисперсности: филиал ТСХИ (базируется на двух территориях – на ул. Карла Маркса и на ул. Мичурина, $R_d = 7,7$ км).

Кемерово. Кемерово – административный, промышленный, транспортный, экономический, научный и культурный центр Сибири. Кемерово – первый по численности (с 2015 г.) и плотности населения город Кемеровской области. Является центром Кемеровской агломерации [19]. В Кемерово самое малое из анализируемых городов количество государственных вузов, соответственно, и численность студентов тоже. С 2017 по 2021 г. можно наблюдать понижение числа студентов практически на 4,7 тыс. чел., в 2021 г. был ликвидирован филиал Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова.

В настоящее время в городе действует 5 государственных высших учебных заведений, в том числе один из них – Кемеровский государственный университет (КемГУ) – является опорным вузом, он же участник программы «Приоритет-2030» (рис. 6).

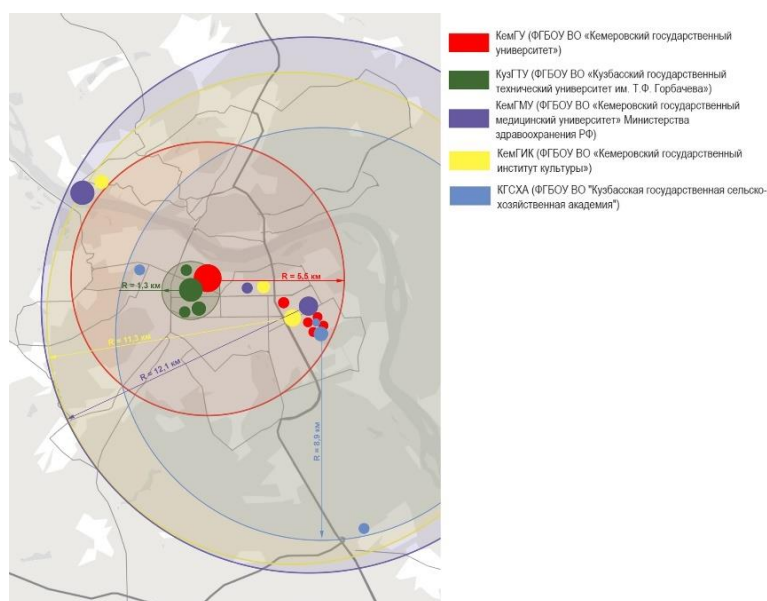


Рис. 6. Схема территориально-пространственной организации университетов Кемерово и радиусы доступности

Fig. 6. Spatial organization and accessibility of universities in Kemerovo

Исходя из анализа схемы территориально-пространственной организации университетов Кемерово, можно сделать следующие выводы:

1. Сетевая структура университетов Кемерово имеет относительно компактный характер с размещением большинства объектов вузов в центральной части города на расстоянии не более 6,5 км. Эти вузы образуют два планировочных узла. Несколько зданий КемГМУ, КемГИК и КГСХА расположены на большем удалении: в периферийных частях города. Максимальное расстояние между территориями разных университетов достигает 15 км.

2. Локальных вузов в Кемерово нет, существует исключительно дисперсная модель – 100 %. Из них с низкой степенью дисперсности – 20 %, со средней степенью дисперсности – нет, с высокой степенью – 80 %. К категории дисперсных вузов относятся:

– с низкой степенью дисперсности: КузГТУ ($R_d = 1,3$ км);

– с высокой степенью дисперсности: КемГУ ($R_d = 5,5$ км), КГСХА ($R_d = 8,9$ км), КемГИК ($R_d = 11,3$ км), КемГМУ ($R_d = 12,1$ км).

Барнаул. Барнаул – административный центр Алтайского края (с 1937 г.) и одноимённого городского округа. Город расположен на юге Западной Сибири в месте впадения р. Барнаулки в р. Обь. Высшее образование в Барнауле получают в нескольких государственных вузах, а также в филиалах вузов других городов (рис. 7).

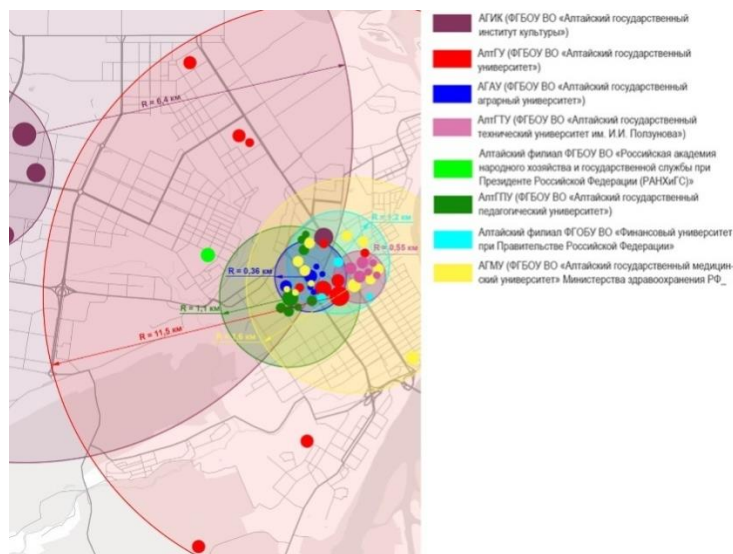


Рис. 7. Схема территориально-пространственной организации университетов Барнаула и радиусы доступности

Fig. 7. Spatial organization and accessibility of universities in Barnaul

В городе два крупнейших университета: Алтайский государственный университет (АлтГУ) и Алтайский государственный технический университет (АлтГТУ), которые входят в сотню лучших вузов страны [20]. АлтГУ также является единственным опорным вузом в Алтайском крае и участником программы «Приоритет-2030». В настоящее время в городе действует 8 государ-

ственных учреждений высшего образования. Количество студентов за последние пять лет варьируется с небольшими отклонениями.

Анализ территориально-пространственной организации университетов Барнаула позволяет выделить следующие характеристики и особенности размещения университетских кампусов в планировочной структуре города:

1. Сетевая структура университетов Барнаула имеет относительно компактный характер с размещением значительного числа объектов вузов в центральной части города на расстоянии 4 км друг от друга. Вместе с тем имеются вузы, объекты которых расположены в периферийной части города, в том числе здания АГИК и АлтГУ. Максимальное расстояние между территориями разных университетов достигает 13 км.

2. Число локальных вузов составляет 37,5 %. К ним относятся АГАУ, АлтГТУ, Алтайский филиал РАНХиГС. 62,5 % вузов имеют дисперсную модель организации университетских комплексов, при этом 37,5 % – вузы с низкой степенью дисперсности, 12,5 % – со средней и 12,5 % – с высокой степенью дисперсности. К категории дисперсных университетов относятся:

– с низкой степенью дисперсности: АлтГПУ ($R_d = 1,1$ км), Алтайский филиал ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации» ($R_d = 1,2$ км), АГМУ ($R_d = 1,5$ км);

– со средней степенью дисперсности: АГИК, т. к. основные объекты университета расположены в R_d до 2 км и лишь Концертно-продюсерский центр удалён на 6,4 км;

– с высокой степенью дисперсности: АлтГУ ($R_d = 11,5$ км).

Иркутск. Иркутск расположен в Восточной Сибири, на берегах р. Ангары, при впадении в неё р. Иркут. Крупный научно-образовательный центр, в котором, по данным на 2021 г., обучается 52,8 тыс. студентов государственных вузов (рис. 8).

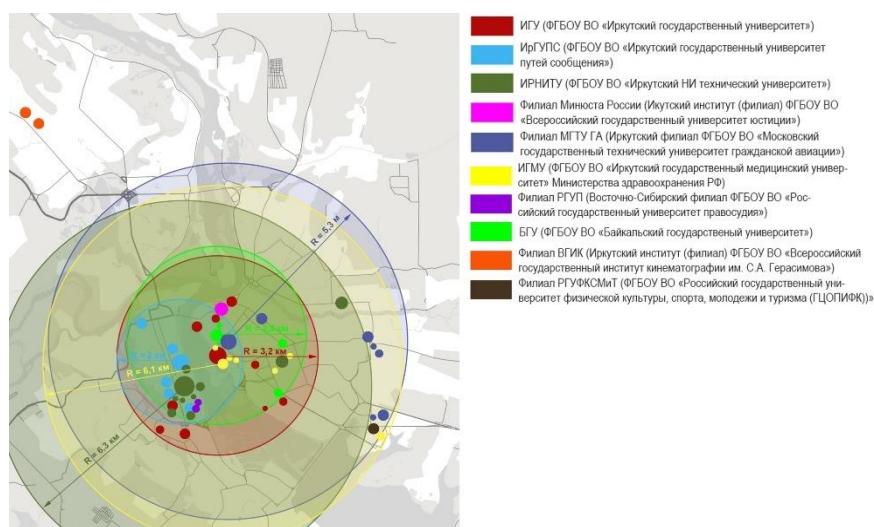


Рис. 8. Схема территориально-пространственной организации университетов Иркутска и радиусы доступности

Fig. 8. Spatial organization and accessibility of universities in Irkutsk

В Иркутске, как и в ряде других городов Сибирского округа, также присутствует тенденция по уменьшению количества обучающихся студентов. Их число с 2017 г. снизилось почти на 3,5 тыс. чел. В Иркутске действует 10 государственных вузов. Иркутский национальный исследовательский технический университет имеет статус национального исследовательского университета. Он же является участником программы «Приоритет-2030».

Исходя из схемы территориально-пространственной организации университетов Иркутска, можно сделать следующие выводы:

1. Сетевая структура университетов Иркутска имеет относительно компактный характер с размещением большинства объектов вузов в центральной части города на расстоянии менее 6 км друг от друга. Ряд объектов находятся вне основного университетского планировочного узла. К ним относятся объекты филиалов МГТУ ГА, РГУФКСМиТ, ИГГМУ. Максимальное расстояние между территориями разных университетов составляет 9 км.

2. В Иркутске преобладает дисперсная модель организации университетских комплексов, которая составляет 60 %, из которых со средней степенью дисперсности – 20 % и с высокой – 40 %. К категории локальных университетов относятся: филиал РПА Минюста России, филиал РГУП, филиал ВГИК, филиал РГУФКСМиТ. К категории дисперсных университетов относятся:

- с низкой степенью дисперсности: нет;
- со средней степенью дисперсности: ИрГУПС ($R_d = 2$ км), БГУ ($R_d = 2,9$ км);
- с высокой степенью дисперсности: ИГУ ($R_d = 3,2$ км), ИРНИТУ ($R_d = 6,3$ км), филиал МГТУ ГА ($R_d = 5,3$ км), ИГМУ ($R_d = 6,1$ км).

Обобщенная градостроительная оценка территориально-пространственной организации университетских комплексов представлена в таблице.

**Показатели градостроительной оценки
территориально-пространственной организации
университетских комплексов**

Town-planning assessment of spatial organization of university campuses

Город	Все- го вузов	Локальные ($R_d \leq 0,5$ км)		Дисперсные							
		Кол- во	%	Всего		Низкая сте- пень ($R_d \leq 0,5 \leq 1,5$ км)		Средняя сте- пень ($R_d \leq 1,5 \leq 3$ км)		Высокая степень ($R_d \geq 3$ км)	
				Кол- во	%	Кол- во	%	Кол- во	%	Кол- во	%
Красноярск	7	1	14,3	6	85,7	1	14,3	1	14,3	4	57,1
Новоси- бирск	17	7	41,2	10	58,8	2	11,8	4	23,5	4	23,5
Омск	11	6	54,5	5	45,5	2	18,2	1	9,1	2	18,2
Томск	8	1	12,5	7	87,5	1	12,5	5	45,5	1	12,5
Кемерово	5	0	0	5	100	1	20	0	0	4	80
Барнаул	8	3	37,5	5	62,5	3	37,5	1	12,5	1	12,5
Иркутск	10	4	40	6	60	0	0	2	20	4	40

Таким образом, исходя из приведенного анализа сетевой и территориально-пространственной организации государственных университетов на территории Сибирского федерального округа, можно сделать следующие выводы:

1. Сетевая структура университетских комплексов в крупнейших городах Сибирского региона Красноярске, Новосибирске и Омске имеет рассредоточенный характер. Университеты могут размещаться группами, образуя планировочные университетские узлы, а также в виде одиночных зданий на удалении (иногда значительном) от основных университетских комплексов.

2. Относительно компактная университетская сеть имеется в Барнауле, Кемерово и Иркутске. В этих городах большинство вузов сосредоточено в планировочном ядре диаметром до 6 км, но при этом имеется ряд университетских зданий, расположенных на удалении от этого ядра.

3. Наиболее компактная сетевая структура университетов присутствует в Томске. Здесь абсолютное число университетских зданий расположено в центре города с максимальной удаленностью друг от друга 6,5 км.

4. Во всех рассматриваемых городах, кроме г. Кемерово, присутствует и локальная, и дисперсная модели территориально-пространственной организации университетских комплексов (таблица). При этом наиболее высокий процент локальных вузов находится в Омске и Новосибирске. В остальных городах преобладает дисперсная модель университета.

5. Университеты с высокой степенью дисперсности наиболее часто встречаются в Красноярске и в Кемерово. Университеты с низкой и средней степенью дисперсности характерны для городов Барнаул, Иркутск и Томск.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дудина Т.С. Историческое развитие сети высших учебных заведений и теоретическая модель формирования градостроительной системы вузов в крупном городе Западной Сибири (на примере Томска и Новосибирска) : специальность 18.00.01 – «Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры / Дудина Татьяна Сергеевна ; научный консультант Г.Н. Туманик ; Новосибирская гос. архит.-худож. акад. Новосибирск : [б. и.], 2002. 268 л.
2. Майбуров И. Высшее образование в развитых странах // Высшее образование в России. 2003. № 2. С. 132–144. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vysshee-obrazovanie-v-razvityh-stranah> (дата обращения: 31.01.2023).
3. Волосникова Л.М., Чеботарев Г.Н. Правовой статус университетов: история и современность. Москва : Норма, 2007. 208 с. ISBN 9785468001240. URL: <https://znani-um.com/catalog/product/129345> (дата обращения: 31.01.2023).
4. Попов А.В. Концепция архитектурного формирования кампусов вузов в России : специальность 2.1.12 – «Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора архитектуры / Попов Алексей Владимирович ; научный консультант А.Л. Гельфонд ; Нижегородский гос. архит.-строит. ун-т. Нижний Новгород : [б. и.], 2022. 50 с.
5. Высоковский А., Евсягина А. Университет в городе // Отечественные записки. 2013. № 4 (55). URL: <https://strana-oz.ru/2013/4/universitet-v-gorode> (дата обращения: 31.01.2023).
6. Стариков А.А. Культура пространственной организации как фактор конкурентоспособности университета // Университетское управление: практика и анализ. 2011. № 2. С. 15–29. URL: <https://www.umj.ru/jour/article/view/611/612> (дата обращения: 30.01.2023).

7. Зобова М.Г. Обновление архитектурно-градостроительной типологии университетских кампусов в России // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 5 (180). С. 137–141.
8. Heijer A.C., Curvelo Magdaniel F.T.J. Campus–City Relations: Past, Present, and Future / Eds. P. Meusbürger, M. Heffernan, L. Suarsana // *Geographies of the University. Knowledge and Space*. 2018. V. 12. Springer, Cham. P. 439–459.
9. Кулешова Г.И. Университет и город. Очерк эволюции связи университетской институции с городской средой. Ч. 1. Мировой опыт // Academia. Архитектура и строительство. 2021. № 4. С. 70–79.
10. Максимова К.А., Коренев В.И. Градостроительные аспекты размещения университетских кампусов в г. Томске // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. № 1. С. 137–149.
11. Кулешова Г.И. Градостроительное обеспечение университетских кампусов в инновационной экономике (на примерах Томска и Уфы) // Теоретические основы градостроительства: X Владимирские чтения : сб. статей, 27 февраля 2020 г. / Российская академия архитектуры и строительных наук, Самарский государственный технический университет. Самара : Самарский государственный технический университет, 2020. С. 70–85.
12. Красноярск // Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <https://w.wiki/4aFz> (дата обращения: 07.01.2023).
13. Новосибирск // Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <https://w.wiki/4aG3> (дата обращения: 07.01.2023).
14. Омск // Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <https://w.wiki/4aGG> (дата обращения: 07.01.2023).
15. Город стал студенческой столицей России. URL: <https://rg.ru/2015/12/22/tomsk.html> (дата обращения: 12.01.2023).
16. Томск – город студентов. URL: <https://www.tsuab.ru/article/aboutTomsk> (дата обращения: 12.01.2023).
17. Основные результаты деятельности научно-образовательного комплекса Томской области в 2019 году. URL: <file:///C:/Users/User/Downloads/%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C%20%D0%904%20%D0%BE%D1%82%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE.pdf> (дата обращения: 13.01.2023).
18. О реализации государственной политики Томской области в сфере образования (2020 год) : доклад // Департамент науки и высшего образования Администрации Томской области. URL: <https://depvro.tomsk.gov.ru/pages/front/view/id/33112> (дата обращения: 13.01.2023).
19. Кемерово // Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <https://w.wiki/4aZt> (дата обращения: 21.01.2023).
20. Барнаул // Википедия. Свободная энциклопедия. URL: [https://w.wiki/4aZ\\$](https://w.wiki/4aZ$) (дата обращения: 21.01.2023).

REFERENCES

1. Dudina T.S. Historical development of higher education institutions and theoretical model of town-planning system of universities in large cities of Western Siberia (Tomsk and Novosibirsk). Novosibirsk, 2002. 268 p. (In Russian).
2. Mayburov I. Higher education in developed countries. *Vyssheye obrazovaniye v Rossii*. 2003; (2): 132–144. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/vysshee-obrazovanie-v-razvityih-stranah> (accessed January 31, 2023). (In Russian).
3. Volosnikova L.M., Chebotarev G.N. Legal status of universities: History and modernity. Moscow: Norma, 2007. 208 p. Available: <https://znanium.com/catalog/product/129345> (accessed January 31, 2023). (In Russian).
4. Popov A.V. The concept of architectural formation of university campuses in Russia. Nizhniy Novgorod, 2022. 50 p. (In Russian).
5. Vysokovskii A. University in the city. *Otechestvennye zapiski*. 2013; 55 (4). Available: <https://strana-oz.ru/2013/4> (accessed July 4, 2021). (In Russian).

6. Starikov A.A. Culture of spatial organization as a factor in the university competitiveness. *Universitetskoe upravlenie: praktika i analiz*. 2011; (2): 15–29. Available: www.umj.ru/jour/article/view/611 (accessed July 20, 2021). (In Russian).
7. Zobova M.G. Updating the architectural and urban planning typology of university campuses in Russia. *Vestnik OGU*. 2015; 180 (5): 137–141. Available: <https://cyberleninka.ru/article/n/obnovlenie-arhitekturno-gradostroitelnoy-tipologii-universitetskikh-kampusov-v-rossii> (accessed July 15, 2021). (In Russian).
8. Heijer A.C., Curvelo Magdaniel F.T.J. Campus–city relations: Past, present, and future. Meusburger P., Heffernan M., Suarsana L., eds, *Geographies of the University. Knowledge and Space*. 2018; 12: 439–459.
9. Kuleshova G.I. University and city. Essay on the evolution of the connection between the university institution and the urban environment. Part 1. World experience. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2021; (4): 70–79. (In Russian).
10. Maksimova K.A., Korenev V.I. City-planning aspects of university campus locations in Tomsk. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2022; 24 (1): 137–149. (In Russian).
11. Kuleshova G.I. Urban planning support of university campuses in innovative economy in Tomsk and Ufa. In: *10th Vladimirov Readings 'Theoretical Foundations of Urban Planning'*. Moscow, Samara, 2020. Pp. 70–85. (In Russian).
12. Krasnoyarsk. Available: <https://w.wiki/4aFz> (accessed July 1, 2023). (In Russian).
13. Novosibirsk. Available: <https://w.wiki/4aG3> (accessed July 1, 2023). (In Russian).
14. Omsk. Available: <https://w.wiki/4aGG> (accessed January 7, 2023). (In Russian).
15. The city became the student capital of Russia. Available: <https://rg.ru/2015/12/22/tomsk.html> (accessed February 7, 2021). (In Russian).
16. Tomsk is a city of students. Available: www.tsuab.ru/article/aboutTomsk (accessed July 2, 2021). (In Russian).
17. The main activity results of scientific and educational complex of the Tomsk region in 2019. Available: <file:///C:/Users/User/Downloads/%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C%20%D0%904%20%D0%BE%D1%82%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE.pdf> (accessed July 3, 2021). (In Russian).
18. Report on the state policy implementation in the Tomsk region in the field of education (2020). Available: <https://depvpo.tomsk.gov.ru/pages/front/view/id/33112> (accessed July 3, 2021). (In Russian).
19. Kemerovo. Available: <https://w.wiki/4aZt> (accessed January 21, 2023). (In Russian).
20. Barnaul. Available: [https://w.wiki/4aZ\\$](https://w.wiki/4aZ$) (accessed January 21, 2023). (In Russian).

Сведения об авторах

Максимова Кристина Алексеевна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, k.maksimova@tsuab.ru

Корнев Владимир Иннокентьевич, канд. архитектуры, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vik.tomsk@rambler.ru

Authors Details

Kristina A. Maksimova, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, k.maksimova@tsuab.ru

Vladimir I. Korenev, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vik.tomsk@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 27.12.2022
Одобрена после рецензирования 13.01.2023
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 27.12.2022
Approved after review 13.01.2023
Accepted for publication 23.01.2023

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING AND CONSTRUCTION

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 122–133.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 122–133.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 534.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-122-133

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРЕГОРОДОК НЕПОЛНОЙ ВЫСОТЫ НА АКУСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОМЕЩЕНИЯ

Татьяна Сергеевна Яровая¹, Александр Иванович Антонов^{1,2},
Ирина Владимировна Матвеева¹, Евгений Олегович Соломатин¹

¹Тамбовский государственный технический университет,
г. Тамбов, Россия,

²Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН,
г. Москва, Россия

Аннотация. *Актуальность.* В современной практике обслуживания населения широкое распространение имеют операционные залы. Они относятся к помещениям с массовым пребыванием людей. В этом случае на качество обслуживания операторами клиентов оказывает влияние большое количество одновременно разговаривающих между собой людей. В результате этого снижается слышимость и разборчивость речи в паре оператор – клиент.

Для повышения качества обслуживания клиентов в операционных залах устраиваются выгородки из перегородок неполной высоты. В этом случае общее пространство помещения представляет собой отдельные акустически связанные объемы, формирование акустического режима в которых является сложным многофакторным процессом.

Цель. Разработка методики оценки изменения акустического режима в выделенных пространствах помещений с массовым пребыванием людей с позиций обеспечения в них разборчивости речи.

Материалы и методы. Предлагается методика оценки разборчивости речи между оператором и клиентом, находящимися в выделенных перегородками неполной высоты пространствах.

Результаты. Представлена методика оценки изменения акустического режима в выделенных пространствах помещения с позиций обеспечения в них разборчивости речи. Дан пример использования методики для решения конкретной задачи.

Выводы. Методика и разработанная для ее реализации компьютерная программа дают возможность обеспечивать необходимый акустический режим путем целенаправлен-

ного проектирования объемно-планировочных решений выгородок и определения необходимых звукопоглощающих и звукоизолирующих характеристик ограждений.

Ключевые слова: объекты с массовым пребыванием людей, перегородки неполной высоты, разборчивость речи, расчеты слышимости и разборчивости речи

Для цитирования: Яровая Т.С., Антонов А.И., Матвеева И.В., Соломатин Е.О. Оценка влияния перегородок неполной высоты на акустические параметры помещения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 122–133. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-122-133.

ORIGINAL ARTICLE

EFFECT OF INCOMPLETE HEIGHT OF PARTITIONS ON ACOUSTICAL PARAMETERS OF OPERATING AREAS

Tat'yana S. Yarovaya¹, Aleksandr I. Antonov^{1,2},
Irina V. Matveeva¹, Evgeniy O. Solomatin¹

¹Tambov State Technical University, Tambov, Russia,

²Research Institute of Building Physics RAACS, Moscow, Russia

Abstract. Operating areas are currently widely used in public service. They refer to rooms with a mass presence of people. The quality of customer service is influenced by a large number of people talking to each other at the same time. As a result, the audibility and intelligibility of speech in the operator-client pair decreases. Partitions of an incomplete height are arranged to improve the quality of customer service in operating areas.

Purpose: Methodology is proposed to evaluate acoustic changes in rooms with a mass presence of people from the standpoint of ensuring speech intelligibility.

Methodology: The method for assessing the speech intelligibility between the operator and client in space with partitions of incomplete height.

Research findings: The proposed method can be used to evaluate acoustic changes rooms from the standpoint of the speech intelligibility. The example is given to the technique used to solve this problem.

Practical implications: The proposed method and developed computer program for its implementation will provide a necessary acoustic mode through a purposeful design of space-planning solutions for partitions and determine their sound-absorbing and sound-insulating characteristics.

Keywords: objects with a mass presence of people, partitions of incomplete height, intelligibility of speech, calculations of audibility and intelligibility of speech

For citation: Yarovaya T.S., Antonov A.I., Matveeva I.V., Solomatin E.O. Effect of incomplete height of partitions on acoustical parameters of operating areas. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (1): 122–133. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-122-133.

Введение

В настоящее время имеется большое количество помещений общественных зданий, в которых может находиться значительное количество одновременно обслуживаемых людей. К таким помещениям, например, относятся операционные залы различного назначения. Большое число одновременно разговаривающих людей создают условия, при которых слышимость и раз-

борчивость речи становятся неудовлетворительными. Наличие общего пространства, не имеющего какого-либо разделения, приводит к воздействию на посетителей целого ряда раздражающих факторов. К ним, в частности, относится прямой зрительный контакт с соседними клиентами и, соответственно, отсутствие конфиденциальности, а также возникающий при разговорах шумовой фон, влияющий на слышимость и разборчивость речи в процессе диалога между операторами и клиентами.

Обеспечение приватности общения оператора с клиентом и создание необходимого психоэмоционального состояния может достигаться за счет устройства в помещениях с массовым пребыванием людей перегородок неполной высоты. Устройство перегородок дает возможность не только ограничить зрительный контакт и повысить уровень конфиденциальности, но и создать необходимые акустические условия при речевом контакте между оператором и клиентом.

Устройство неполных по высоте перегородок приводит к образованию отдельных полужамкнутых воздушных пространств (ячеек), акустический режим в которых создается звуковой энергией, возникающей при разговоре между оператором и клиентом, и общим шумовым фоном, образующимся при разговоре всех операторов одновременно, а также при разговорах людей (клиентов), находящихся в зонах ожидания. Шумовой фон в каждой конкретной ячейке создается за счет распространения звуковой энергии в общем пространстве над перегородками. В ряде случаев, например при низкой звукоизоляции перегородок, в шумовой фон будет добавляться и звуковая энергия, проникающая через перегородки из соседних ячеек и из зоны ожидания.

Наличие шумового фона в некоторых ситуациях может способствовать повышению приватности в общении клиента с оператором. Однако в большинстве случаев шумовой фон снижает разборчивость речи и тем самым является существенной помехой в процессе общения.

Таким образом, при проектировании перегородок неполной высоты необходимо оценивать изменения акустического режима в выделенных пространствах помещения (ячейках) с позиций обеспечения в них разборчивости речи.

Методика оценки разборчивости речи

Для оценки разборчивости речи в одном помещении при большом скоплении в нем людей наиболее приспособлен метод реверберационных помех, основанный на использовании критерия Сухаревского – Стретта [1]. Согласно данному методу, качество передачи и восприятия речи определяется фактором Q'' , который вычисляется по формуле

$$Q'' = K_L T Q, \quad (1)$$

где K_L – коэффициент, зависящий от уровня полезного звука в точке приема и определяемый по графику или формуле, приведенным в работе [1]; T – время реверберации, определяемое по известной формуле Эйринга:

$$T = \frac{0,041 l_{\text{ср}}}{-\ln(1 - \bar{\alpha})}, \quad (2)$$

где $\bar{\alpha}$ – средний коэффициент звукопоглощения поверхностей помещения; $l_{\text{ср}}$ – средняя длина свободного пробега звуковых лучей в помещении; Q – фактор акустического качества (критерий Сухаревского – Стретта), определяемый по выражению

$$Q = \frac{\varepsilon_{\text{пр}} + \varepsilon_{\text{ран}}}{\varepsilon_{\text{поз}} + \varepsilon_{\text{фон}}}. \quad (3)$$

В числителе выражения (3) дана плотность звуковой энергии полезного сигнала, включающая в себя энергию прямого звука $\varepsilon_{\text{пр}}$ и энергию ранних отражений $\varepsilon_{\text{ран}}$, приходящих к слушателю с задержкой не более 0,05 с по отношению к приходу прямого звука. В знаменателе даются плотности звуковой энергии фонового шума $\varepsilon_{\text{фон}}$ и поздних отражений $\varepsilon_{\text{поз}}$, оказывающих негативное влияние на разборчивость речи.

Между фактором Q'' и слоговой разборчивостью речи имеется зависимость [1–3]. По величине фактора реверберационных помех можно найти коэффициент артикуляции A , определяющий отношение в процентах правильно понятых слогов к общему числу произнесенных слогов (рис. 1). Коэффициент A характеризует слоговую разборчивость речи. Установлено, что разборчивость сигнала является удовлетворительной при слоговой разборчивости более 60 %. Это условие выполняется, если фактор реверберационных помех Q'' превышает величину 1,1.

В случае общения оператора и клиента значение фактора $Q'' > 1,1$ можно считать нижней допустимой границей.

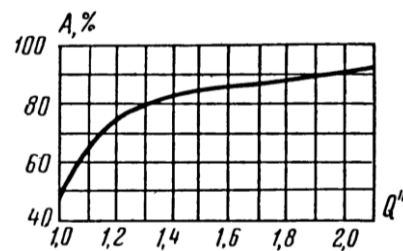


Рис. 1. Зависимость коэффициента артикуляции A от фактора Q''

Fig. 1. Articulation A /factor Q dependence

Формулы (2) и (3) могут использоваться в случае формирования в помещении диффузного звукового поля. При разделении общего объема перегородками неполной высоты и образовании отдельных объемов, акустически связанных через общее над ними пространство, расчеты времени реверберации и критерия Q существенно усложняются, и особенно при зеркально-диффузном характере отражения звука от ограждений [4].

Величина критерия Q при зеркально-диффузном отражении будет определяться по формуле

$$Q = \frac{\varepsilon_{\text{пр}} + \varepsilon_{\text{ран}}^3 + \varepsilon_{\text{ран}}^{\text{д}}}{\varepsilon_{\text{фон}} + \varepsilon_{\text{поз}}^3 + \varepsilon_{\text{поз}}^{\text{д}}}, \quad (4)$$

где $\varepsilon_{\text{ран}}^3, \varepsilon_{\text{ран}}^{\text{д}}$ – плотности энергии соответственно ранних зеркальных и диффузных отражений, приходящих к слушателю в ячейке при разговоре одного из двух находящихся в ней людей; $\varepsilon_{\text{поз}}^3, \varepsilon_{\text{поз}}^{\text{д}}$ – плотности энергии соответственно поздних зеркальных и диффузных отражений, снижающих разборчивость речи; $\varepsilon_{\text{фон}}$ – плотность энергии фонового шума, приходящего в ячейку из общего пространства над перегородками.

Величина $\varepsilon_{\text{пр}}$ в общем случае определяется выражением

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{W\Phi}{\Omega cr^2}, \quad (5)$$

где W – акустическая мощность разговаривающего человека; Φ – фактор направленности для плотности звуковой энергии [5]; c – скорость звука; r – расстояние между общающимися в ячейке людьми (примерно ≥ 1 м).

Величина $\varepsilon_{\text{ран}}^3$ в пределах ячейки определяется методом прослеживания лучей по известной методике с учетом фактора направленности излучения звука [6]. Энергия определяется для промежутка времени в пределах 0,05 с после прихода к слушателю прямого звука.

Величина $\varepsilon_{\text{ран}}^{\text{д}}$ вычисляется по формуле

$$\varepsilon_{\text{ран}}^{\text{д}} = \frac{4W(1-\alpha)}{\alpha Sc} \left(1 - e^{-\frac{\alpha ct}{l_{\text{cp}}}}\right), \quad (6)$$

где α – средний коэффициент звукопоглощения поверхностей помещения в пределах ячейки; S – площадь ограждающих поверхностей в пределах ячейки; l_{cp} – средняя длина пробега звуковых лучей в пределах ячейки.

Время t в данном случае равно 0,05 с.

Величина $\varepsilon_{\text{поз}}^3$ определяется методом прослеживания лучей путем суммирования энергии лучей, приходящих в расчетную точку после времени $t = 0,05$ с.

Величина $\varepsilon_{\text{поз}}^{\text{д}}$ вычисляется по формуле

$$\varepsilon_{\text{поз}}^{\text{д}} = \frac{4W(1-\alpha)}{\alpha Sc} e^{-\frac{\alpha ct}{l_{\text{cp}}}}. \quad (7)$$

Методика расчета фонового шума

Более сложно производится расчет фонового шума. Для расчета фонового шума используется разработанный нами комбинированный метод расчета шума в помещениях при зеркально-диффузном характере отражения звука от ограждений [7, 8]. Метод ранее использован нами для оценки шума в производственных помещениях с перегородками неполной высоты. Методика его использования для таких планировочных ситуаций подробно рассмотрена в статье [9]. Для реализации методики разработана компьютерная программа [10].

Программа позволяет вычислять плотность звуковой энергии, приходящей в исследуемую ячейку из других ячеек через общее пространство над перегород-

ками и через стенки перегородок, а также плотность звуковой энергии, приходящей такими же путями из зон ожидания клиентов. При расчете плотности звуковой энергии, приходящей из клиентских зон, расчет прямого звука, излучаемого клиентами, производится методами, рассмотренными в статьях [11–13].

Время реверберации T для каждого выделенного объема может определяться по формуле (2). При этом средняя длина свободного пробега $l_{\text{ср}}$ и α принимаются для каждого выделенного объема. Выполненный анализ изменений длины среднего пробега в помещениях с выгородками свидетельствует о возможности такого подхода к определению времени реверберации T [14].

Использование предложенной методики и реализующей ее программы позволяет оценивать влияние на разборчивость речи звукопоглощающих и звукоизолирующих характеристик помещения и перегородок, а также объемно-планировочных параметров проектируемого пространства помещения с выгородками.

Ниже приведен пример расчета разборчивости речи в помещении с перегородками неполной высоты. Расчет выполнен в соответствии с рассмотренной методикой.

Пример расчета разборчивости речи в помещении с перегородками неполной высоты

План помещения приведен на рис. 2. Высота помещения 4,2 м. Кабины отделены от зала перегородками высотой 2,5 м. Средний коэффициент звукопоглощения ограждений принят одинаковым для всех расчетных частотных диапазонов – $\alpha = 0,1$. Для улучшения разборчивости речи рассматривались варианты отделки потолка звукопоглощающей облицовкой с коэффициентом звукопоглощения $\alpha = 0,8$. Модель отражения звука от ограждений принята зеркально-диффузной со степенью рассеивания звука 20 %.

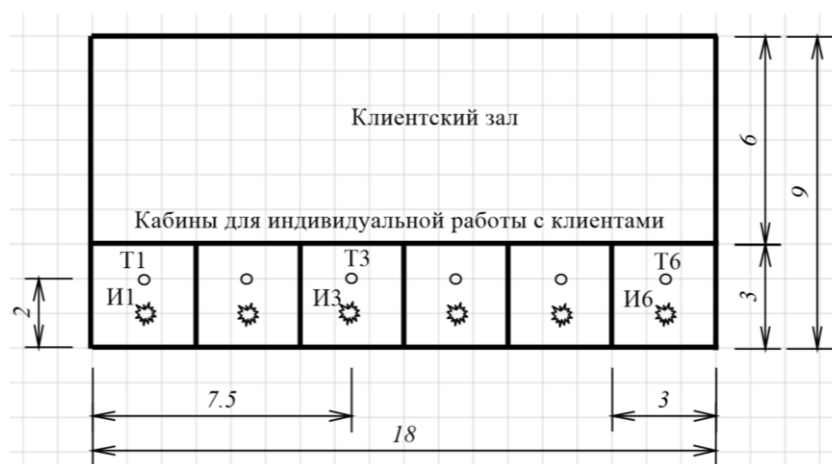


Рис. 2. План зала с кабинами для индивидуальной работы с клиентами:

И1 – И6 – персонал; Т1 – Т6 – клиенты

Fig. 2. Operating area with partitions for individual work with customers: И1 – И6 – personnel; Т1 – Т6 – customers

Акустические параметры речи (акустическая мощность и направленность) определены экспериментальным путем Т.С. Яровой [5].

В расчетах принято, что в индивидуальных кабинках, выполненных из перегородок неполной высоты, с клиентами общаются операторы (женщины), разговаривающие со средним уровнем громкости. В клиентском зале располагаются 20 посетителей, 60 % женщин и 40 % мужчин. Плотность расположения клиентов в зале в среднем – 1 человек на 5 м². Одновременно разговаривают 20 % посетителей с громкостью на 3 дБ ниже, чем уровень обычной речи. Уровни акустической мощности источников звука приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровни акустической мощности источников шума

Table 1

Acoustic power levels of noise sources

Характеристика речи	Эквивалентные уровни звуковой мощности L_w , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Женская речь средней громкости (персонал)	45,4	66,9	68,0	59,0	53,3	49,8	45,8
Мужская речь средней громкости	73,4	70,4	70,0	59,9	55,4	48,4	41,6
Речь посетителей в клиентском зале*	59,2	66,1	66,2	56,5	51,6	46,0	40,3

* Состав посетителей: 60 % – женщины, 40 % – мужчины. Уровень громкости речи посетителей в клиентском зале ниже уровня речи средней громкости с поправкой – 3 дБ.

Направленность речи посетителей в клиентском зале принята равновероятной по всем направлениям в горизонтальной плоскости. Факторы направленности женской речи (персонала) рассчитываются по выражениям:

– в октавных полосах частот 125–1000 Гц

$$\Phi(\theta) = 0,54 + 0,75 \cos \frac{\theta}{2} + 0,02 \sin \theta; \quad (8)$$

– в октавных полосах частот 2000–4000 Гц

$$\Phi(\theta) = 0,18 + 2 \cos \frac{\theta}{2} - 0,8 \sin \theta. \quad (9)$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Факторы направленности женской речи

Table 2

Directional factors of women's speech

Угол отклонения от направления речи, градус	0	15	30	45	60	75	90
Фактор направленности женской речи на частотах 1000 Гц и ниже	1,29	1,30	1,27	1,25	1,21	1,15	1,09

Окончание табл. 2

End of Table 2

Угол отклонения от направления речи, градус	105	120	135	150	165	180	–
Фактор направленности женской речи на частотах 1000 Гц и ниже	1,02	0,93	0,84	0,74	0,64	0,54	–
Угол отклонения от направления речи, градус	0	15	30	45	60	75	90
Фактор направленности женской речи на частотах 2000 Гц и выше	2,18	1,96	1,71	1,46	1,22	0,99	0,79
Угол отклонения от направления речи, градус	105	120	135	150	165	180	–
Фактор направленности женской речи на частотах 2000 Гц и выше	0,62	0,49	0,38	0,30	0,23	0,18	–

Результаты расчета разборчивости речи

Расчет выполнен для октавной полосы со среднегеометрической частотой 500 Гц. Считается, что расчет на этой частоте наиболее приближен к расчету в уровнях А [15].

Расчет разборчивости произведен для клиента, находящегося в расчетной точке ТЗ, когда с ним разговаривает оператор в точке ИЗ. Расчет разборчивости речи выполнен для помещения без индивидуальных кабин и при их наличии. Потолок помещения при расчетах принимался без звукопоглощающей облицовки и при ее устройстве. В качестве помехи для слушателя в точке ТЗ является речь других операторов или клиентов и речь посетителей клиентского зала. В каждой паре оператор – клиент разговор ведет только один человек: клиент или оператор.

Расчет энергетических параметров звукового поля выполнен в два этапа. В первом случае разговор происходит в точке ИЗ, а все остальные источники звука не учитываются (выключены). По результатам этого расчета определяются компоненты полезного сигнала, куда входит прямой звук и ранние отражения по выражению (4). Также выполняется расчет поздних отражений, которые являются помехами для восприятия речи. На втором этапе производится расчет шума в расчетной точке ТЗ от всех остальных источников звука. Вся звуковая энергия от этих источников считается фоновым шумом и является помехой для восприятия речи. Результаты расчета разборчивости речи приведены в табл. 3.

Условные обозначения: $L_{\text{общ}}$ – прямой и отраженный звук; $L_{\text{пр}}$ – уровень прямого звука; $L_{\text{диф}}$ – уровень диффузно отраженного звука; $L_{\text{зерк}}$ – уровень зеркально отраженного звука; $L_{\text{об}}$ – общий уровень помех или полезного сигнала; Q – фактор акустического качества; K_L – коэффициент; Q'' – фактор реверберационных помех.

Расчеты показали, что при отсутствии индивидуальных кабин разборчивость речи является неудовлетворительной. Звукопоглощающая облицовка потолка снижает уровень помех, но практически не влияет на повышение разборчивости речи.

Таблица 3

Результаты расчета разборчивости речи для клиента, находящегося в точке ТЗ

Table 3

Results of speech intelligibility calculation for client at point T3

Характеристика помещения	Работающие источники	$L_{\text{общ}}$	$L_{\text{пр}}$	$L_{\text{отраж}}$		Полезный сигнал, дБ						Помеха, дБ				Q	K_L	Q''
				$L_{\text{диф}}$	$L_{\text{зерк}}$	$L_{\text{пр}}$	$L_{\text{диф}}$	$L_{\text{зерк}}$	$L_{\text{об}}$	$L_{\text{диф}}$	$L_{\text{зерк}}$	$L_{\text{фон}}$	$L_{\text{об}}$					
Без перегородок	ИЗ	59,9	57,9	54,2	49,4	57,9	49,0	44,2	58,6	52,7	47,9	—	64,1	0,28	0,99	0,53		
	Все, кроме ИЗ	63,7	53,7	61,7	58,3	—	—	—	—	—	—	63,7	—	—	—	—		
Без перегородок, потолок облицован	ИЗ	59,3	58,2	45,6	52,2	58,2	44,1	50,7	59,0	40,1	46,7	—	58,4	1,16	0,99	0,63		
	Все, кроме ИЗ	58,0	52,3	53,1	54,0	—	—	—	—	—	—	58,0	—	—	—	—		
Есть перегородки, нет облицовки потолка	ИЗ	61,8	57,9	54,4	57,8	57,9	49,4	57,6	61,2	52,8	44,3	—	63,5	0,57	1,00	1,07		
	Все, кроме ИЗ	63,1	—	61,9	56,9	—	—	—	—	—	—	63,1	—	—	—	—		
Есть перегородки, потолок облицован	ИЗ	61,5	57,9	49,8	58,4	57,9	48,9	58,4	61,4	42,7	—	—	56,7	3,00	1,00	1,39		
	Все, кроме ИЗ	56,5	—	53,9	53,8	—	—	—	—	—	—	56,5	—	—	—	—		

Устройство индивидуальных кабин из перегородок неполной высоты значительно повышает разборчивость речи. При отсутствии эффективного звукопоглощения кабины незначительно снижают величину помех при одновременном повышении уровня полезного сигнала. Полезный сигнал возрастает за счет увеличения доли ранних отражений звука от стенок кабины. В этом случае качество разборчивости речи приближается к характеристике «удовлетворительно». В случае звукопоглощающей облицовки потолка и при наличии перегородок слоговая разборчивость при факторе $Q'' = 1,39$ достигает 82 %, и качество восприятия речи можно считать «хорошим».

Результаты расчетов показали, что устройство в данном конкретном случае индивидуальных кабин из перегородок неполной высоты позволяет обеспечить необходимые параметры разборчивости речи в диалоге оператор – клиент.

Выводы

1. В целом предложенная методика оценки разборчивости речи в помещениях с перегородками неполной высоты дает возможность производить целенаправленное проектирование различных по объемно-планировочным параметрам выгородок.

2. Методика и ее компьютерная реализация позволяют определять влияние на слышимость и разборчивость речи звукопоглощающих характеристик поверхностей помещений и звукоизоляции перегородок и тем самым определять эффективные мероприятия по акустическому благоустройству в помещениях с массовым пребыванием людей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Маньковский В.С. Акустика студий и залов для звуковоспроизведения. Москва : Искусство, 1966. 376 с.
2. Гавриленко О.В., Дидковский В.С., Продеус А.Н. Расчет и измерение разборчивости речи при малых отношениях сигнал-шум // Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники». Ч. 1. 2007. С. 137–147.
3. Ефимов А.П., Никонов А.В., Сапожков М.Н., Шоров В.И. Акустика : справочник / под ред. М.А. Сапожкова. Москва : Радио и связь, 1989. 336 с.
4. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Федорова О.О. Влияние характера отражения звука от ограждений на выбор метода расчета воздушного шума в гражданских и промышленных зданиях // Приволжский научный журнал. 2017. № 2 (42). С. 16–23.
5. Антонов А.И., Жоголева О.А., Яровая Т.С. Экспериментальное определение энергетических параметров речи с целью использования их при оценке шумового режима на объектах с массовым пребыванием людей // Приволжский научный журнал. 2017. № 4 (44). С. 9–15.
6. Антонов А.И., Леденев В.И., Матвеева И.В., Шубин И.Л. Расчеты шума в гражданских и промышленных зданиях при зеркально-диффузном отражении звука от ограждений. Москва : Директ-Медиа, 2022. 192 с.
7. Tsukernikov I., Shubin I., Antonov A., Ledenev V., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection // Procedia Engineering. Proceedings of the 3rd International Conference on Dynamics and Vibroacoustics of Machines, DVM 2016. 2017. № 176. P. 218–225. DOI:10.1016/j.proeng.2017.02.291
8. Giyasov B.I., Ledenyov V.I., Matveeva I.V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 1 (77). С. 13–22.
9. Гусев В.П., Антонов А.И., Жоголева О.А., Леденев В.И. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных помещениях с перегородками неполной высоты //

- Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 2 (368). С. 260–267.
10. Антонов А.И., Жоголева О.А., Леденев В.И. Расчет трехмерных шумовых полей в помещениях с акустическими экранами и перегородками неполной высоты // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. RU2016617798, 14.07.2016 ; заявка № 2016614938 от 16.05.2016.
 11. Антонов А.И., Леденев В.И., Яровая Т.С. Расчеты шума при акустическом благоустройстве в помещениях с массовым пребыванием людей // Строительство и реконструкция. 2017. № 4 (72). С. 94–101.
 12. Антонов А.И., Шубин И.Л., Яровая Т.С. Расчет распространения прямого звука в городской среде от объектов с массовым пребыванием людей // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. № 3 (19). С. 105–112.
 13. Антонов А.И., Яровая Т.С. Расчет прямого звука от большого количества людей как от однотипных стохастических источников шума // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство и транспорт : материалы 3-й Международной научно-практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта Тамбовского государственного технического университета. 2016. С. 64–67.
 14. Антонов А.И., Яровая Т.С. Зависимость средней длины свободного пробега звука от положения источника в помещении с перегородками неполной высоты // Современная наука: теория, методология, практика : материалы 2-й Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. 2020. С. 75–78.
 15. Шубин И.Л., Антонов А.И., Яровая Т.С. О возможности расчета шума в децибелах «А» в местах массового пребывания людей // Строительство и реконструкция. 2018. № 3 (77). С. 83–88.

REFERENCES

1. Man'kovskij V.S. Acoustics of studios and halls for sound reproduction. Moscow: Iskusstvo, 1966. 376 p. (In Russian).
2. Gavrilenko O.V., Didkovskij V.S., Prodeus A.N. Calculation and measurement of speech intelligibility at small signal-to-noise ratios. In: *Electronics and communications. "Problems of Electronics"*. Vol. 1. 2007. Pp. 137–147. (In Russian).
3. Efimov A.P., Nikonov A.V., Sapozhkov M.N. (Ed.), Shorov V.I. Acoustics: Reference book, Moscow: Radio i svyaz', 1989. 336 p. (In Russian).
4. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Fedorova O.O. Influence of sound reflection nature on calculation method of air noise in civil and industrial buildings. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*. 2017; 42 (2): 16–23. (In Russian).
5. Antonov A.I., Zhogoleva O.A., Yarovaya T.S. Energy parameters of speech in for assessing noise in operating areas with mass presence of people. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*. 2017; (44) 4: 9–15. (In Russian).
6. Antonov A.I., Ledenev V.I., Matveeva I.V., Shubin I.L. Noise calculations in civil and industrial buildings with mirror-diffuse sound reflection. Moscow: Direkt-Media, 2022. 192 p. (In Russian).
7. Tsukernikov I., Shubin I., Antonov A., Ledenev V., Nevenchannaya T. Noise calculation method for industrial premises with bulky equipment at mirror-diffuse sound reflection. *Procedia Engineering*. 2017; (176): 218–225. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.291
8. Giyasov B.I., Ledenyov V.I., Matveeva I.V. Method for noise calculation under specular and diffuse reflection of sound. *Magazine of Civil Engineering*. 2018; 77 (1): 13–22.
9. Gusev V.P., Antonov A.I., Zhogoleva O.A., Ledenev V.I. Noise calculations in the design of noise protection in industrial premises with partitions of incomplete height. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*. 2017; 2(368): 260–267. (In Russian).
10. Antonov A.I., Zhogoleva O.A., Ledenev V.I. Three-dimensional noise fields in rooms with acoustic screens and partitions of incomplete height. RF Certificate of State Registration of Software N RU2016617798, 2016. (In Russian).
11. Antonov A.I., Ledenev V.I., Yarovaya T.S. Noise calculations for acoustic landscaping in rooms with a mass presence of people. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2017; 72 (4): 94–101. (In Russian).

12. Antonov A.I., Shubin I.L., Yarovaya T.S. Propagation of direct sound in urban environment from objects with mass presence of people. *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii*. 2017; 19 (3): 105–112. (In Russian).
13. Antonov A.I., Yarovaya T.S. Direct sound from a large number of people calculated as from the same type of stochastic noise sources. In: *Proc. 3rd Int. Sci. Conf. 'Regional Development: Architecture, Construction, Transport'*. 2016. Pp. 64–67. (In Russian).
14. Antonov A.I., Yarovaya T.S. Dependence of average free path of sound on source position in a room with partitions of incomplete height. In: *Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf. 'Modern Science: Theory, Methodology, Practice'*, 2020. Pp. 75–78. (In Russian).
15. Shubin I.L., Antonov A.I., Yarovaya T.S. Noise calculations in A decibels in places of mass presence of people. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2018; 77 (3): 83–88. (In Russian).

Сведения об авторах

Яровая Татьяна Сергеевна, аспирант, Тамбовский государственный технический университет, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, корп. Е, semshudes@yandex.ru

Антонов Александр Иванович, докт. техн. наук, доцент, Тамбовский государственный технический университет, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112, корп. Е; гл. науч. сотрудник, Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, 127238, г. Москва, Локомотивный проезд, 21, aiant58@yandex.ru

Матвеева Ирина Владимировна, канд. техн. наук, доцент, Тамбовский государственный технический университет, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, корп. Е, times02@yandex.ru

Соломатин Евгений Олегович, канд. техн. наук, доцент, Тамбовский государственный технический университет, 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112, корп. Е, soloevg@yandex.ru

Authors Details

Tat'yana S. Yarovaya, Research Assistant, Tambov State Technical University, 112, Michurinskaya Str., 392032, Tambov, Russia, semshudes@yandex.ru

Aleksandr I. Antonov, DSc, A/Professor, Tambov State Technical University, 112, Michurinskaya Str., 392032, Tambov, Russia; Research Institute of Building Physics RAACS, 21, Lokomotivnyi Ave., 127238, Moscow, Russia, aiant58@yandex.ru

Irina V. Matveeva, PhD, A/Professor, Tambov State Technical University, 112, Michurinskaya Str., 392032, Tambov, Russia, times02@yandex.ru

Evgeniy O. Solomatin, PhD, A/Professor, Tambov State Technical University, 112, Michurinskaya Str., 392032, Tambov, Russia, soloevg@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 27.07.2022
Одобрена после рецензирования 22.11.2022
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 27.07.2022
Approved after review 22.11.2022
Accepted for publication 23.01.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 134–141.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 134–141.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 693.22:624.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-134-141

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ БЕЗРИГЕЛЬНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗДАНИЯ ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ

Иван Иванович Подшивалов

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

Аннотация. Объектом исследования являются перекрытия экспериментального пятиэтажного с подвалом сборно-монолитного безригельного каркасного здания.

Моделирование напряженного состояния перекрытий каркасного экспериментального здания от прогрессирующего обрушения выполнено при удалении средней колонны в подвале *с помощью кинематического метода теории предельного равновесия* в ПК MicroFe с разработкой пространственной расчетной модели на жестком основании.

Полученные результаты показали невозможность прогрессирующего обрушения безригельных перекрытий при удалении средней колонны в подвале экспериментального здания.

Ключевые слова: каркас, перекрытие, выключение колонны, прогрессирующее обрушение, расчетная модель, напряженное состояние

Для цитирования: Подшивалов И.И. Моделирование напряженного состояния безригельных перекрытий экспериментального здания от прогрессирующего обрушения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 134–141. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-134-141.

ORIGINAL ARTICLE

FINITE ELEMENT MODELING OF STRESS-STRAIN STATE OF GIRDERLESS FLOOR CONSTRUCTION CAUSED BY PROGRESSIVE COLLAPSE

Ivan I. Podshivalov

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. Purpose: Finite element modeling (FEM) of the stress-strain state of the five-storey frame building with girderless floors and the basement caused by progressive collapse.

Methodology: FEM is performed in the MicroFe software with the removal of the medium column in the basement using the limit equilibrium theory. Development of the three-dimensional model on a rigid base.

Research findings: It is shown that progressive collapse of girderless floors is impossible after the removal of the medium column in the basement of the experimental building.

Keyword: frame, floor, column removal, progressive collapse, design model, stress-strain state

For citation: Podshivalov I.I. Finite element modeling of stress-strain state of girderless floor construction caused by progressive collapse. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (1): 134–141. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-134-141.

Сборно-монолитное исполнение каркаса позволяет максимально эффективно использовать преимущества монолитного и сборного домостроения [1]. В то же время в сборно-монолитном домостроении наблюдается завышенная оценка конструктивных решений [2] и недостаточная экспериментальная база данных для объективного анализа несущей способности, жесткости и трещиностойкости конструкций [3].

Применение монолитного ребристого перекрытия по сравнению с плоским перекрытием позволяет получить конструкцию с более высокой несущей способностью, жесткостью и трещиностойкостью, а также приводит к уменьшению расхода бетона и арматуры [4]. Однако в жилых зданиях, из-за малой высоты помещений, устройство ригелей нежелательно [5].

Живучесть, по определению проф. В.Д. Райзера, – это свойство конструкций сохранять при аварийных воздействиях способность к выполнению основных функций, не допуская лавинообразного (каскадного) разрушения [6]. Здание следует проектировать таким образом, чтобы в случае разрушения любого элемента весь объект или его наиболее ответственная часть сохраняли работоспособность в течение периода времени, достаточного для принятия срочных мер [7].

В настоящее время, для того чтобы повысить безопасность зданий и сооружений и тем самым сохранить жизнь людей, стало необходимым учитывать запроектные нагрузки [8–10]. Расширился перечень зданий, подлежащих расчету от прогрессирующего обрушения¹ до уровня ответственности КС-2. Расчет выполняется на особое сочетание нагрузок, которые включают в себя нормативные постоянные и временные длительные нагрузки [11]. В случае локального разрушения отдельных элементов конструктивная система должна обладать способностью перераспределять усилия между сохранившимися конструкциями. Расчет от прогрессирующего обрушения выполняется при использовании пространственных расчетных моделей как на естественном, так и на жестком основании [12]. За расчетные характеристики материалов принимаются их нормативные значения. Устойчивость здания к прогрессирующему обрушению обеспечивается рассмотрением различных сценариев исключения несущих элементов.

Параметры прогрессирующего обрушения определяются путем учета нагрузки от выключенного из работы конструктивного элемента, реакция от которого может приниматься следующим образом: мгновенное удаление вы-

¹ СП 385.1325800.2018. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения.

ключаемого конструктивного элемента в первичной расчетной схеме (ПРС) моделируется внутренними усилиями, прикладываемыми во вторичной расчетной схеме (ВРС) с обратным знаком – коэффициентом моделирования усилий $K = 1$, что соответствует максимально невыгодному условию при динамическом коэффициенте $K_d = 2$ (например, продольная сила, возникающая в выключенной колонне, прикладывается в верхний узел и направлена сверху вниз).

После выключения конструктивного элемента в расчетной модели наступает состояние стабилизации. В ВРС все внутренние усилия, возникающие в выключенном элементе, обнуляются, коэффициент моделирования усилий $K = 0$, динамический коэффициент $K_d = 1$.

Следует отметить, что при коэффициенте моделирования усилий $K = -1$ в ВРС реакция от выключенного элемента принимается без изменения знака, например, продольная сила от выключенной колонны прикладывается в верхний узел и направлена снизу вверх. Динамический коэффициент $K_d = 0$. Получаем случай, когда ВРС становится эквивалентной ПРС.

Как известно, в теории предельного равновесия разрушение отдельного элемента не может привести к разрушению всей конструкции, в то же время может разрушиться вся конструкция, превратившись в механизм, т. е. в кинематически изменяемую систему.

При расчете кинематическим методом теории предельного равновесия в ВРС реакция (продольная сила и два изгибающих момента) от удаленной колонны прикладывается в узле по направлению снизу вверх. Задаются три комбинации воздействий, куда входят все нагружения и отдельно позиция – реакция выключенной колонны. В первой комбинации коэффициент моделирования усилий $K = 1$, динамический коэффициент $K_d = 0$ – стадия эксплуатации; во второй комбинации $K = -1$, $K_d = 2$ – состояние в момент удаления колонны; в третьей комбинации $K = 0$, $K_d = 1$ – стадия стабилизации после удаления колонны.

Формируются группы элементов с одинаковой несущей способностью и нормативными значениями сопротивления материалов. Для обеспечения работы стержневых элементов по несущей способности вводятся две опции – многомерные элементные шарниры и односторонние шарниры, расчет стержневых элементов и перекрытий выполняется по теории предельных поверхностей.

Следует отметить, что в ПВК MicroFe при расчете от прогрессирующего обрушения кинематическим методом теории предельного равновесия не надо задавать наиболее вероятные механизмы разрушения элементов каркаса. Механизм разрушения из условия минимума несущей способности конструкции каркаса определяется в самой программе автоматически.

Рассматриваемое экспериментальное пятиэтажное двухподъездное здание с подвалом прямоугольной формы в плане, имеющее размеры по осям $43,34 \times 12$ м, запроектировано для строительства в Кемеровской области. Высота здания равна 18,65 м. По уровню ответственности здание как экспериментальное соответствует классу КС-2 и подлежит расчету от прогрессирующего обрушения.

Конструктивная схема здания представляет собой сборно-монолитный безригельный каркас, который состоит из сборных железобетонных колонн сечени-

ем 400×400 мм и жестких дисков перекрытий толщиной 160 мм, объединяющих колонны в единую пространственную систему за счет жесткого соединения сборных панелей перекрытий с колоннами через сварку закладных деталей, а также за счет соединения сборных панелей перекрытий между собой петлевыми арматурными выпусками по периметру панелей и последующего замоноличивания всех стыковых соединений, в результате чего образуется рамно-связевая конструкция в двух взаимно перпендикулярных направлениях здания.

Продольная арматура колонн – 4Ø25A400, поперечная арматура – Ø6A240/200. Плиты перекрытий армированы в виде верхней и нижней сеток из стержней Ø14A400/150.

По заданной конструктивной схеме здания в ПВК MicroFe была разработана расчетная модель, в которой панели диафрагм жесткости в подвале, диски перекрытий моделировались конечным элементом типа «плоский прямоугольный элемент оболочки», колонны и поэтажные связи моделировались конечным элементом типа «стержень». Расчетная конечно-элементная модель здания и ее визуализация приведены на рис. 1.

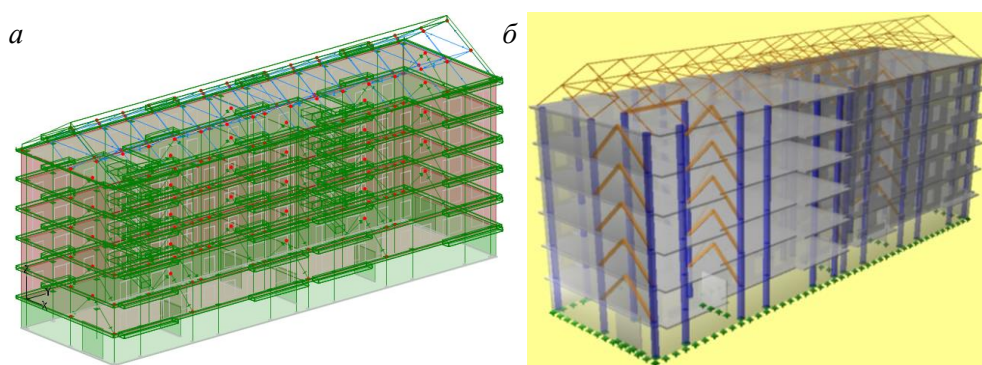


Рис. 1. Расчетная конечно-элементная модель (а) и ее визуализация (б)
Fig. 1. FEM (a) and FEM visualization (b)

При расчете кинематическим методом теории предельного равновесия в ПРС – стадия эксплуатации – изополя несущей способности и вертикальных перемещений фрагмента перекрытия подвала приведены на рис. 2 и 3. В этом случае максимальный коэффициент использования несущей способности перекрытия подвала составил $\text{Max } k = 0,989986$. Такой результат получен следующим образом: на первом этапе решалась прямая задача – расчет необходимого армирования перекрытий, на втором этапе, при решении обратной задачи, полученное армирование передавалось в расчет по проверке несущей способности перекрытий. Наибольшее вертикальное перемещение фрагмента перекрытия подвала равно 6,9 мм.

Изополя несущей способности фрагмента перекрытия при расчете от прогрессирующего обрушения кинематическим методом теории предельного равновесия в момент выключения средней колонны в подвале показаны на рис. 4. Максимальный коэффициент использования несущей способности перекрытия подвала, при котором появились локальные зоны пластических шарни-

ров в области выключенной колонны подвала, составил $\text{Max } k = 3,95413$. При этом рассматриваемая конструкция не превратилась в механизм.

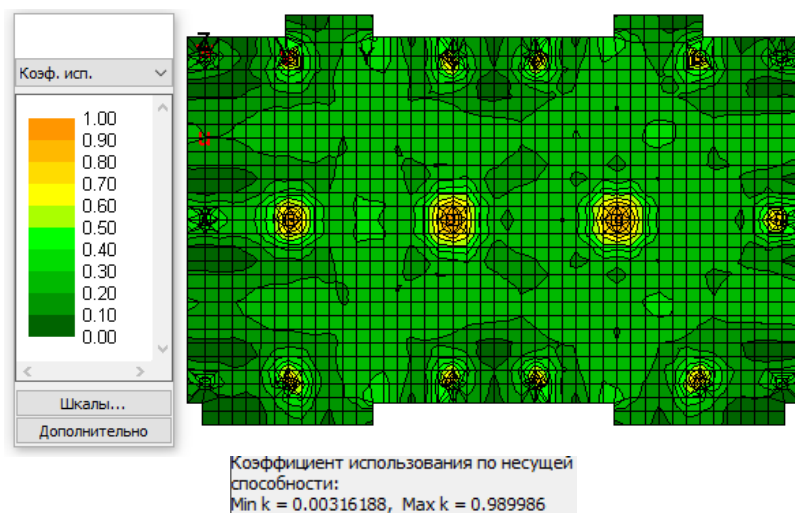


Рис. 2. Изополя несущей способности фрагмента перекрытия подвала в ПРС – стадия эксплуатации

Fig. 2. Load-carrying capacity isofields of basement slab fragment in the primary calculation scheme (operation stage)

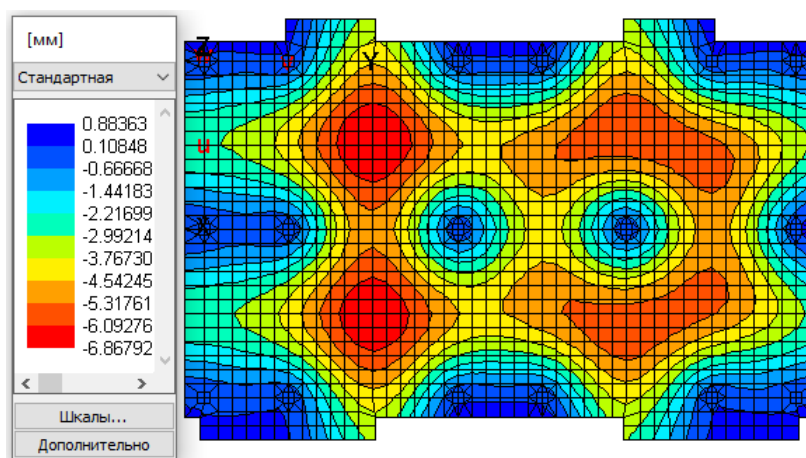


Рис. 3. Изополя вертикальных перемещений фрагмента перекрытия подвала в ПРС – стадия эксплуатации

Fig. 3. Vertical motion isofields of basement slab fragment in the primary calculation scheme (operation stage)

При расчете от прогрессирующего обрушения в стадии стабилизации после выключения средней колонны в подвале изополя несущей способности и вертикальных перемещений фрагмента перекрытия подвала приведены на

рис. 5 и 6. Максимальный коэффициент использования несущей способности перекрытия подвала составил $\text{Max } k = 0,991533$. Прогиб фрагмента перекрытия подвала над выключенной колонной равен $f = 15,3$ мм.

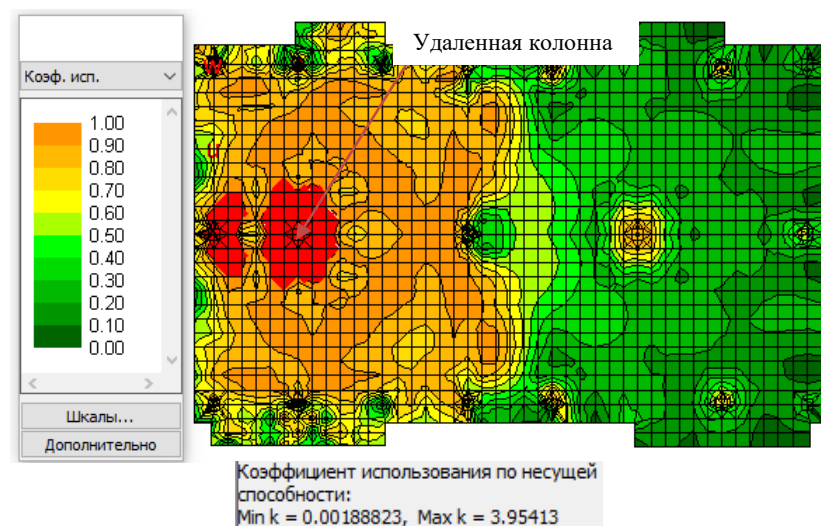


Рис. 4. Изополя несущей способности фрагмента перекрытия подвала в ВРС – момент выключения средней колонны в подвале. Красный цвет – зоны образования локальных пластических шарниров

Fig. 4. Load-carrying capacity isofields of basement slab fragment in the secondary calculation scheme (middle column removal). Red color indicates plastic hinge formations



Рис. 5. Изополя несущей способности фрагмента перекрытия подвала в ВРС – стадия стабилизации после удаления средней колонны в подвале

Fig. 5. Load-carrying capacity isofields of basement slab fragment in the secondary calculation scheme (middle column removal)

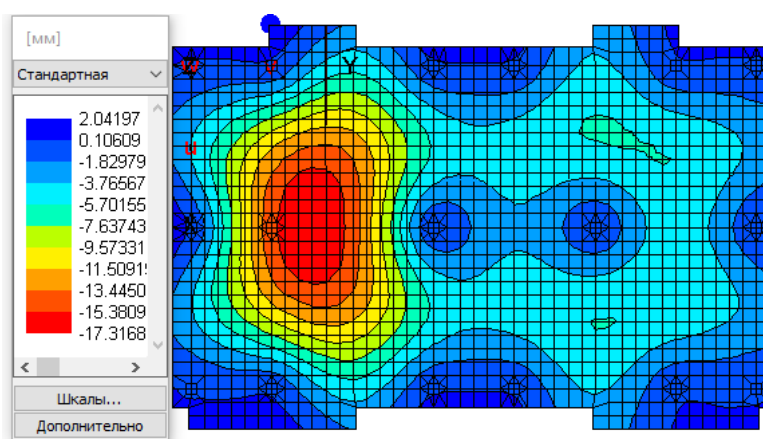


Рис. 6. Изополя вертикальных перемещений фрагмента перекрытия подвала в ВРС – стадия стабилизации после удаления средней колонны в подвале

Fig. 6. Vertical motion isofields of basement slab fragment in the secondary calculation scheme (stabilization after removal elimination of the middle column)

Таким образом, моделирование напряженного состояния железобетонных конструкций экспериментального здания от прогрессирующего обрушения позволило утверждать о невозможности отказа перекрытий при удалении наиболее нагруженной средней колонны в подвале.

В момент выключения средней колонны в подвале здания в перекрытии подвала в области удаленной колонны появились локальные зоны пластических шарниров, которые не привели к превращению здания в механизм, т. е. в кинематически изменяемую систему.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Унифицированная система сборно-монолитного каркаса КУБ 2.5. Вып. 1-1. Москва : Стройиздат. 1990. 49 с.
2. Митасов В.М., Коянкин А.А. Работа диска сборно-монолитного перекрытия // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. № 3. С. 103–104.
3. Коянкин А.А., Митасов В.М. Каркас сборно-монолитного здания и особенности его работы на разных жизненных циклах // Вестник МГСУ. 2015. № 9. С. 28–35.
4. Маковский С.А., Новиков М.В., Маковская Т.А. Конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния монолитного перекрестно-ребристого перекрытия // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2017. № 2. С. 91–96.
5. Яров В.А., Скрипальчиков К.В. Безригельные монолитные перекрытия многоэтажных зданий с колоннами крестового сечения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 2. С. 97–91.
6. Райзер В.Д. К проблеме живучести зданий и сооружений // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 5. С. 77–78.
7. Краснощеков Ю.В., Мельникова С.О., Екимов А.А. Живучесть многоэтажного здания со связевым каркасом // Вестник СибАДИ. 2016. № 2 (48). С. 100–104.
8. Травуш В.И., Колчунов В.И., Леонтьев Е.В. Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения в рамках законодательных и нормативных требований // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С. 4654.
9. Кодыш Э.Н. Проектирование защиты зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения с учетом возникновения особого предельного состояния // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 10. С. 95–101.

10. Ведяков И.И., Ефремов П.Г., Одесский П.Д., Попов Н.А., Соловьев Д.В. Расчет строительных конструкций на прогрессирующее обрушение: нормативные требования // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 4. С. 16–24.
11. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н., Чесноков Д.А. Защита многоэтажных зданий от прогрессирующего обрушения // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 6. С. 9–13.
12. Кабанцев О.В., Тамразян А.Г. Учет изменений расчетной схемы при анализе работы конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5. С. 15–26.

REFERENCES

1. Unified reinforced concrete composite frame KUB 2.5. Issue 1-1. Moscow: Stroiizdat, 1990. 49 p. (In Russian).
2. Mitasov V.M., Koyankin A.A. Disc operation of reinforced concrete composite slab. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2014; (3): 103–104. (In Russian).
3. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Prefabricated solid building frame and its properties in different life cycles. *Vestnik MGSU*. 2015; (9): 28–35. (In Russian).
4. Makovskii S.A., Novikov M.V., Makovskaya T.A. Finite element analysis of the stress-strain state of cast-in-place beam-and-slab floor. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki*. 2017; (2): 91–96. (In Russian).
5. Yarov V.A., Skripal'shchikov K.V. Reinforced concrete composite frame without collar beams with X cross-section. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2009; (2): 97–91. (In Russian).
6. Raizer V.D. Toward the building robustness. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 2012; (5): 77–78. (In Russian).
7. Krasnoshchekov Yu.V., Mel'nikova S.O., Ekimov A.A. Survivability of multi-floor building with braced framing. *Vestnik SibADI*. 2016; 48 (2): 100–104. (In Russian).
8. Travush V.I., Kolchunov V.I., Leont'ev E.V. Building protection against progressive collapse in terms of legal and regulatory documents. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019; (2): 46–54. (In Russian).
9. Kodysh E.N. Design protection of buildings against progressive collapse, with respect to limit state. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2018; (1): 95–101. (In Russian).
10. Vedyakov I.I., Efremov P.G., Odesskii P.D., Popov N.A., Solov'ev D.V. Progressive collapse analysis of buildings: Normative requirements. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019; (4): 16–24. (In Russian).
11. Kodysh E.N., Trekin N.N., Chesnokov D.A. Protection of multi-floor buildings against progressive collapse. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016; (6): 9–13. (In Russian).
12. Kabantsev O.V., Tamrazyan A.G. Consideration of changes in design diagram in structural analysis. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2014; (5): 15–26. (In Russian).

Сведения об авторе

Подшивалов Иван Иванович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ivanpodchivalov@list.ru

Author Details

Ivan I. Podshivalov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ivanpodchivalov@list.ru

Статья поступила в редакцию 04.10.2022
Одобрена после рецензирования 27.11.2022
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 04.10.2022
Approved after review 27.11.2022
Accepted for publication 23.01.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 142–151.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 142–151.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.012.3/.4

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-142-151

О НОРМИРОВАНИИ НАДЕЖНОСТИ ПО РАСКРЫТИЮ НОРМАЛЬНЫХ ТРЕЩИН ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Евгений Петрович Герасимов

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

Аннотация. Настоящая статья посвящена вопросу установления нормативного значения вероятности безотказной работы по раскрытию трещин изгибаемых железобетонных конструкций. При этом рассматривается ширина раскрытия только нормальных трещин исходя из сохранности арматуры, т. е. сохранности вследствие ее коррозии.

Был применен вероятностно-оптимизационный метод, когда вместо традиционных экономических показателей были использованы отвлеченные величины: мера сохранности и мера коррозионного повреждения арматуры. Обе величины варьируются от 0 до 1. Приведены основные расчетные формулы, последовательность расчета и результаты расчета. Вероятность безотказной работы вычислялась в предположении, что все исходные параметры конструкции и внешних воздействий распределены по нормальному закону. Расчеты выполнены в зависимости от продолжительности раскрытия трещин и предельно допустимых значений ширины раскрытия трещин. Полученные численные значения нормативных вероятностей безотказной работы зависят от предельно допустимых значений ширины раскрытия трещин, установленных нормами. От продолжительности раскрытия трещин они не зависят.

Результаты расчетов могут быть использованы при выполнении вероятностного метода расчета железобетонных конструкций.

Ключевые слова: изгибаемые строительные конструкции, нормативная надежность, вероятностные методы расчета строительных конструкций, нормальные трещины

Для цитирования: Герасимов Е.П. О нормировании надежности по раскрытию нормальных трещин изгибаемых железобетонных элементов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 142–151. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-142-151.

ORIGINAL ARTICLE

RELIABILITY SPECIFICATION OF CRACK OPENING
IN FLEXURAL REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

Evgeniy P. Gerasimov

Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts,
Novosibirsk, Russia

Abstract. The paper focuses on the reliability specification of trouble-free operation crack opening in flexural reinforced concrete structures. The opening width is considered based on the reinforcement safety, i.e., safety due to corrosion.

The probabilistic approach is used in this paper. Instead of traditional economic indicators, abstract values were used, i.e., measures of safety and corrosion damage of reinforcement. Both values range from 0 to 1. Basic formulas, calculation sequence and results are given herein. The probability of trouble-free operation is calculated under the assumption that all initial design parameters and external influences are distributed according to the normal law. Calculations are performed depending on the crack opening duration and maximum permissible values of crack opening width. The obtained values of the reliability specification of trouble-free operation depend on the maximum permissible values of the standard crack opening width. They not depend on the crack opening duration. Calculation results can be used in the probabilistic approach to reinforced concrete structures.

Keywords: flexural reinforced concrete elements, standard reliability, probabilistic approach, structure, normal cracks

For citation: Gerasimov E.P. Reliability specification of crack opening in flexural reinforced concrete elements. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (1): 142–151. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-142-151.

Железобетон – один из немногих материалов, который допускает наличие в нем трещин. Трещины возникают во время изготовления железобетонных конструкций, их транспортировки, монтажа и эксплуатации. Согласно СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции», все железобетонные конструкции делятся на две категории: конструкции, в которых не допускается образование трещин, и конструкции, в которых трещины могут быть, но ширина раскрытия не должна превышать предельно допустимых значений. Данные значения назначены исходя из сохранности арматуры и ограничения проницаемости конструкций.

Расчет по раскрытию трещин, согласно СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции», производится из условия

$$a_{crc} \leq a_{crc,ult}, \quad (1)$$

где a_{crc} – ширина раскрытия трещин от действия внешней нагрузки; $a_{crc,ult}$ – предельно допустимая ширина раскрытия трещины.

Ширина раскрытия трещин, как и все остальные параметры железобетонных конструкций, имеет случайный характер. При использовании вероятностного метода расчета условие (1) изменится и примет следующий вид:

$$P_f(a_{crc} \leq a_{crc,ult}) \leq [P_f], \quad (2)$$

где $P_f(a_{crc} \leq a_{crc,ult})$ – вероятность того, что ширина раскрытия трещин не превысит допустимого значения; $[P_f]$ – нормативное значение вероятности (или нормативная надежность).

Левая часть неравенства (2) решается известными методами вероятностного расчета, имея необходимую статистическую информацию. Значение нормативной надежности в настоящее время не определено. Существует довольно много работ, где предлагаются методы определения нормативной надежности или предлагаются конкретные значения [1–9]. Но все данные работы касаются определения нормативной надежности конструкций с точки зрения их несущей способности. Это справедливо, т. к. потеря несущей способности ведет к большим экономическим и (или) социальным последствиям. Нарушение пригодности к нормальной эксплуатации, к чему относится расчет по раскрытию трещин, не приводит к последствиям такого масштаба. Но это все равно требует правильного назначения нормативной надежности при выполнении подобных расчетов.

В настоящей статье рассмотрен вопрос об определении значения нормативной надежности по ширине раскрытия трещин только из условия сохранности арматуры. То есть определение данного значения будет производиться из того соображения, чтобы поврежденность арматуры не превышала какую-то предельную, допустимую величину. Повреждение арматуры происходит вследствие ее коррозии.

Существует предложение по условной оценке коррозионного состояния арматуры, согласно которому происходит уменьшение площади поперечного сечения арматуры по градации: до 5 %, 5–5 % и более 15 % [10]. Кроме этого, предлагалось, что максимально допустимую толщину слоя поврежденной части сечения арматуры ограничить 50 % от начальной площади сечения [Там же].

Повреждение арматуры от коррозии в трещинах зависит от скорости коррозии, которая представляет собой проблему, не нашедшую исчерпывающего решения.

Скорость коррозии зависит от ряда факторов.

1. Степень агрессивности среды. В табл. 1 приведены данные о средних скоростях коррозии арматуры для разных условий окружающей среды [Там же].

Таблица 1

Средние скорости коррозии арматуры

Table 1

Average corrosion rates of reinforcement

Условия окружающей среды	Влияние скорости коррозии	
	Количественная характеристика	Значение скорости, мм/год
Внутри помещения	Отсутствие следов коррозии при влажности менее 60 %	–
Открытая поверхность вне помещения	Незначительная скорость коррозии в стандартных атмосферных условиях	0,04
	Средняя скорость коррозии в условиях промышленной среды	0,1

Окончание табл. 1

End of Table 1

Условия окружающей среды	Влияние скорости коррозии	
	Количественная характеристика	Значение скорости, мм/год
Интенсивные воздействия среды	Высокая скорость коррозии в условиях присутствия солей	0,2–0,3
	Очень высокая скорость при сложных и интенсивных агрессивных воздействиях	0,6–1,8

2. Водоцементное отношение. Способность бетона защищать арматуру в трещине возрастает со снижением водоцементного отношения [11].

3. Ширина раскрытия трещины. Коррозия арматуры возникает во всех трещинах раскрытием более 0,05 мм. На рис. 1 приведены обобщенные глубины коррозионного повреждения арматуры в зависимости от ширины раскрытия трещин [Там же].



Рис. 1. Зависимость глубины коррозионного повреждения арматуры от ширины раскрытия трещины. Цифры у кривых – годы

Fig. 1. Dependences between corrosion damage depth of reinforcement and crack width. Numerals above curves indicate years

Как видно, коррозионный процесс протекает с замедлением во времени.

4. Периодическое изменение влажности. Если единственным агрессивным воздействием окружающей среды является карбонизация, то при значении относительной влажности от 90 до 98 % скорость коррозии рекомендуется принимать от 0,005 до 0,01 мм/год. При влажности менее 85 % скорость коррозии принимается не более 0,002 мм/год. В случае воздействия хлоридов и относительной влажности 100 % скорость коррозии должна быть не более 0,01 мм/год. При влажности от 80 до 95 % скорость составляет от 0,05 до 0,1 мм/год [10].

Таким образом, предложений по оценке коррозионного состояния и факторов, влияющих на скорость коррозии, а следовательно, и на поврежденность арматуры, довольно много. В связи с этим при выполнении необходимых расчетов в настоящей статье в качестве основного параметра был выбран допускаемый процент коррозионного повреждения арматуры. Согласно [Там же], существует градация уменьшения площади поперечного сечения арматуры: до 5 %, 5–15 % и более 15 %. Можно считать, что подобное пред-

ложение верно не всегда: для арматурных стале́й класса А240, А400 допускается принимать постепенное уменьшение поперечного сечения стержня, для предварительно напряженных арматурных стале́й подобное уменьшение не допускается [10]. Но для нахождения нормативной надежности по ширине раскрытия трещин примем данную градацию.

В табл. 2 приведены допускаемые значения ширины раскрытия трещин согласно СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции» в зависимости от продолжительности раскрытия и классов арматуры.

Таблица 2

Допускаемые значения ширины раскрытия трещин

Table 2

Allowable values of crack width

Продолжительность раскрытия	Классы арматуры		
	A240 – A600, B500	A800, A1000, Bp1200 – Bp1400, K1400, K1500, K1600 (Ø12)	Bp1500, K1600 (Ø6,9)
Продолжительное	0,3 мм	0,2 мм	0,1 мм
Непродолжительное	0,4 мм	0,3 мм	0,2 мм

Для выполнения необходимых расчетов максимальное допускаемое уменьшение площади сечения арматуры примем (соответственно в зависимости от продолжительности раскрытия):

– 15 % – для максимальных значений ширин раскрытия трещин (0,3 и 0,4 мм);

– 10 % – для средних значений (0,2 и 0,3 мм);

– 5 % – для минимальных значений ширин раскрытия трещин (0,1 и 0,2 мм).

Зависимости допускаемых уменьшений площади сечений арматуры от ширины раскрытия трещин приведены на рис. 2 и 3.



Рис. 2. Зависимость допускаемого уменьшения площади сечения арматуры от ширины раскрытия трещин при их продолжительном раскрытии

Fig. 2. Dependence between allowable reduction in reinforcement section area and crack width during long-term opening



Рис. 3. Зависимость допустимого уменьшения площади сечения арматуры от ширины раскрытия трещин при их непродолжительном раскрытии

Fig. 3. Dependence between allowable reduction in reinforcement section area and crack width during short-term opening

В качестве основного метода для определения нормативного значения надежности по раскрытию трещин предлагается использовать вероятностно-оптимизационную модель [12]:

$$C = C_0 + C_f \cdot Q_f \rightarrow \min. \quad (3)$$

Вместо экономических показателей (C_0 и C_f) предлагается применить величины, связанные с коррозионным повреждением арматуры:

C_0 – мера сохранности арматуры при уменьшении ее площади сечения в пределах допускаемых значений;

C_f – мера максимального коррозионного повреждения арматуры при достижении ширины раскрытия трещины предельно допустимых значений.

При расчете вышеуказанные меры были использованы в относительных, безмерных величинах. Так C_0 определялась по выражению

$$C_0 = 1 - \frac{d}{100}, \quad (4)$$

где d – величина уменьшения площади сечения арматуры, %.

C_f при расчете была принята равной единице ($C_f = 1$).

Вероятность отказа Q_f определялась через индекс надежности (β) в предположении, что все параметры конструкции и внешних воздействий распределены по нормальному закону:

$$\beta = \frac{a_{crc,ult} - \bar{a}_{crc}}{\sqrt{S_{a_{crc,ult}}^2 + S_{\bar{a}_{crc}}^2}}. \quad (5)$$

Так как предельно допустимая ширина раскрытия трещины $a_{crc,ult}$ имеет определенное фиксированное значение, то $S_{a_{crc,ult}}^2 = 0$, и тогда

$$\beta = \frac{a_{crc,ult} - \bar{a}_{crc}}{\sqrt{S_{a_{crc,ult}}^2 + S_{\bar{a}_{crc}}^2}} = \frac{a_{crc,ult} - \bar{a}_{crc}}{S_{\bar{a}_{crc}}} = \frac{a_{crc,ult} - \bar{a}_{crc}}{\bar{a}_{crc} \cdot v_{a_{crc}}}, \quad (6)$$

где $v_{a_{crc}}$ – коэффициент вариации ширины раскрытия трещины.

Коэффициент вариации был определен методом линеаризации.

Формула для определения ширины нормальной трещины имеет вид:

$$a_{crc} = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} \ell_s = \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \frac{q \cdot \ell^2 \cdot A_{bt}}{z_s \cdot E_s \cdot \pi^2 \cdot d_s^3}, \quad (7)$$

где $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – коэффициенты, учитывающие продолжительность действия нагрузок, профиль арматуры и характер нагружения; ψ_s – коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительной деформации растянутой арматуры между трещинами; q – нагрузка, действующая на конструкцию; ℓ – пролет конструкции; A_{bt} – площадь сечения растянутого бетона; z_s – расстояние от центра тяжести растянутой арматуры до точки приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне элемента; E_s – модуль упругости арматуры; d_s – диаметр арматурного стержня.

В формуле (7) случайными величинами приняты нагрузка, модуль упругости и коэффициент, учитывающий неравномерное распределение относительной деформации растянутой арматуры между трещинами. Остальные величины имеют определенные фиксированные значения, или их изменчивость очень незначительна, что можно ею пренебречь.

Частные производные составляют:

$$\begin{aligned} \frac{\partial a_{crc}}{\partial q} &= \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \frac{\ell^2 \cdot A_{bt}}{z_s \cdot E_s \cdot \pi^2 \cdot d_s^3}, \\ \frac{\partial a_{crc}}{\partial E_s} &= -\varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \frac{q \cdot \ell^2 \cdot A_{bt}}{z_s \cdot E_s^2 \cdot \pi^2 \cdot d_s^3}, \\ \frac{\partial a_{crc}}{\partial \psi_s} &= \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \frac{q \cdot \ell^2 \cdot A_{bt}}{z_s \cdot E_s \cdot \pi^2 \cdot d_s^3}. \end{aligned}$$

Среднее квадратическое отклонение ширины раскрытия трещины:

$$\begin{aligned} s_{a_{crc}} &= \sqrt{\left(\frac{\partial a_{crc}}{\partial q}\right)^2 s_q^2 + \left(\frac{\partial a_{crc}}{\partial E_s}\right)^2 s_{E_s}^2 + \left(\frac{\partial a_{crc}}{\partial \psi_s}\right)^2 s_{\psi_s}^2} = \\ &= \varphi_1 \cdot \varphi_2 \cdot \varphi_3 \cdot \psi_s \frac{q \cdot \ell^2 \cdot A_{bt}}{z_s \cdot E_s \cdot \pi^2 \cdot d_s^3} \sqrt{v_q^2 + v_{E_s}^2 + v_{\psi_s}^2}. \end{aligned} \quad (8)$$

После преобразования получаем

$$v_{a_{crc}} = \sqrt{v_q^2 + v_{E_s}^2 + v_{\psi_s}^2}, \quad (9)$$

где v_q – коэффициент вариации нагрузки; v_{E_s} – коэффициент вариации модуля упругости арматуры (при расчете было принято $v_{E_s} = 0,1$ [7]); v_{ψ_s} – коэффи-

ент вариации коэффициента, учитывающий неравномерное распределение относительной деформации растянутой арматуры между трещинами (при расчете было принято $v_{vs} = 0,047$ [7]).

Нагрузка, действующая на конструкцию, включает в себя постоянную и временную. Изменчивость нагрузок очень большая, поэтому при расчете было принято, что $v_q = 0,2$ [13].

Определение нормативной надежности по ширине раскрытия трещины производилось в следующем порядке:

1. Назначалась предельно допускаемая ширина раскрытия трещины в зависимости от продолжительности ее раскрытия ($a_{crc,ult}$) согласно СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции».

2. Исходя из предельно допускаемой ширины раскрытия трещины и ее продолжительности раскрытия устанавливалось максимальное допускаемое уменьшение площади сечения арматуры (5, 10 или 15 %).

3. Производилось назначение нескольких значений ширины раскрытия трещин – $\tilde{a}_{crc}$, при этом $\tilde{a}_{crc} < a_{crc,ult}$.

При каждом значении ширины раскрытия трещины определялось:

– уменьшение площади сечения арматуры d (в %) согласно графикам, приведенным на рис. 2 и 3;

– величина C_0 , формула (4);

– вероятность отказа Q_f .

Таким образом, варьируя значения ширины раскрытия трещин, можно добиться такого состояния, при котором в формуле (3) $C = \min$. По вероятности отказа определяется вероятность безотказной работы, которая принимается за нормативную надежность.

Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетов

Table 3

Calculation results

Продолжительность раскрытия трещин	Допускаемое значение ширины раскрытия трещин, мм	Нормативная надежность
Продолжительное	0,3	0,9954
	0,2	0,9974
	0,1	0,9988
Непродолжительное	0,4	0,9931
	0,3	0,9954
	0,2	0,9972

Как показали расчеты, значения нормативной надежности по ширине раскрытия трещин очень близки друг к другу. Наблюдается незначительное увеличение значения нормативной надежности при уменьшении ширины раскрытия трещин. Это можно объяснить тем, что при меньшей ширине раскрытия трещин требования к сохранности арматуры более жесткие.

На основании приведенных расчетов в качестве нормативной надежности по ширине раскрытия трещины предлагается принять одну, общую величину – 0,999. Данная величина превышает все значения, полученные по расчетам. Но она может быть скорректирована в случае изменения градации уменьшения площади поперечного сечения арматуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций. Москва : Стройиздат, 1994. 288 с.
2. Таль К.Э. Вопросы надежности железобетонных сооружений за рубежом // Бетон и железобетон. 1973. № 11. С. 42–43.
3. Громацкий В.А. Оценка надежности железобетонных изгибаемых элементов по деформациям // Строительная механика и расчет сооружений. 2007. № 2. С. 35–40.
4. Тамразян А.Г. К оценке определения уровня риска ЧС по основным признакам его проявления на сооружение // Бетон и железобетон. 2001. № 5. С. 8–10.
5. Райзер В.Д. Анализ надежности конструкций при износе несущих элементов // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. № 6. С. 16–20.
6. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций. Москва : Изд-во АСВ, 2007. 256 с.
7. Лычев А.С. Надежность строительных конструкций. Москва : Изд-во АСВ, 2008. 184 с.
8. Райзер В.Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций. Москва : Стройиздат, 1995. 352 с.
9. Райзер В.Д. Оптимизация надежности конструкций и безопасность человека // Строительная механика и расчет сооружений. 2009. № 6. С. 54–58.
10. Пухонто Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений. Москва : Изд-во АСВ, 2004. 424 с.
11. Алексеев С.Н. и др. Долговечность железобетона в агрессивных средах. Москва : Стройиздат, 1990. 320 с.
12. Ржаницын А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность. Москва : Стройиздат, 1978. 239 с.
13. Мартынов Ю.С., Надольский В.В. Вероятностные модели воздействий для условий республики Беларусь // Вестник Полоцкого государственного университета. 2014. № 16. С. 13–19.

REFERENCES

1. Shpete G. Reliability of load-bearing building structures. Moscow: Stroyizdat, 1994. 288 p. (In Russian).
2. Tal' K.E. Reliability of reinforced concrete structures abroad. *Beton i zhelezobeton*. 1973; (11): 42-43. (In Russian).
3. Gromatskii V.A. Reliability assessment of reinforced concrete bending elements by deformation. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 2007; (2): 35–40. (In Russian).
4. Tamrazyan A.G. Level of risk of emergencies estimated by the main signs of its manifestation on co-location. *Beton i zhelezobeton*. 2001; (5): 8–10. (In Russian).
5. Raizer V.D. Optimization of structural reliability and human safety. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 2013; (6): 16–20. (In Russian).
6. Perel'muter A.V. Selected problems of reliability and safety of build-ings. Moscow: ASV, 2007. 256 p. (In Russian).
7. Lychev A.S. Reliability of buildings. Moscow: ASV. 2008. 184 p. (In Russian).
8. Raizer V.D. Structural analysis and reliability specification of build-ings. Moscow: Stroyizdat, 1995. 352 p. (In Russian).
9. Raizer V.D. Optimization of structural reliability and human safety. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 2009; (6): 54–58. (In Russian).

10. *Puhonto L.M.* Operational life of reinforced concrete engineering structures. Moscow: ASV, 2004. 424 p. (In Russian).
11. *Alekseev S.H.* Operational life of reinforced concrete in corrosion media. Moscow: Stroyizdat, 1990. 320 p. (In Russian).
12. *Rzhanitsyn A.R.* Theoretical calculations of structural reliability. Moscow: Stroyizdat, 1978. 239 p. (In Russian).
13. *Martinov Y.S., Nadolskiy V.V.* Probabilistic models of impacts in the Republic of Belarus. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014; (16): 13–19. (In Russian).

Сведения об авторе

Герасимов Евгений Петрович, канд. техн. наук, доцент, Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств, 630099, г. Новосибирск, Красный проспект, 38, GerasimovEP@mail.ru

Author Details

Evgeniy P. Gerasimov, PhD, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts, 38, Krasnyi Ave., 630099, Novosibirsk, Russia, GerasimovEP@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22.11.2022
Одобрена после рецензирования 17.12.2022
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 22.11.2022
Approved after review 17.12.2022
Accepted for publication 23.01.2023

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 152–165.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 152–165.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.762.016

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-152-165

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДУКТА ПОРОШКОВОЙ СМЕСИ Si_3N_4 И AlN ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

**В.А. Власов¹, А.А. Клопотов¹, К.А. Безухов¹, Г.Г. Волокитин¹,
Н.П. Горленко¹, Ю.С. Саркисов¹, Е.В. Николаев², Н.Н. Голобоков³**

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

²*Национальный исследовательский
Томский политехнический университет, г. Томск, Россия,*

³*Томский филиал Института структурной макрокинетики СО РАН,
г. Томск, Россия*

Аннотация. В работе представлены результаты исследований получения $\beta\text{-SiAlON}$ из нитридов алюминия, кремния и мочевины при помощи воздействия высокоэнтальпийным потоком термической плазмы.

Методами рентгенофазового анализа, сканирующей электронной микроскопии и дифференциально-термического анализа исследованы физико-химические свойства $\beta\text{-SiAlON}$. Показано, что при заданных параметрах воздействия плазменной струи на исходный материал происходит термохимическая реакция с образованием $\beta\text{-Si}_5\text{AlON}_7$.

Выявлены и исследованы три области структурообразования, обусловленные градиентом температур в объеме образца в результате воздействия потоком плазмы. Первая область материала – область, непосредственно облученная плазмой. Вторая область материала – переходная, которая располагается между первой и третьей областями. Третья область – область термического нагрева вследствие теплопередачи от облученной области.

© Власов В.А., Клопотов А.А., Безухов К.А., Волокитин Г.Г., Горленко Н.П.,
Саркисов Ю.С., Николаев Е.В., Голобоков Н.Н., 2023

Ключевые слова: плазма, нитрид кремния, нитрид алюминия, β -SiAlON, рентгенофазовый анализ, термогравиметрический анализ

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FEMN-2023-0003.

Для цитирования: Власов В.А., Клопотов А.А., Безухов К.А., Волокитин Г.Г., Горленко Н.П., Саркисов Ю.С., Николаев Е.В., Голобоков Н.Н. Физико-химические и структурные исследования продукта порошковой смеси Si_3N_4 и AlN плазмохимическим способом // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 152–165. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-152-165.

ORIGINAL ARTICLE

PHYSICOCHEMICAL AND STRUCTURAL INVESTIGATIONS OF Si_3N_4 AND AlN POWDER MIXTURE PRODUCT USING PLASMA TREATMENT

V.A. Vlasov¹, A.A. Klopotov¹, K.A. Bezukhov¹, G.G. Volokitin¹, N.P. Gorlenko¹, Yu.S. Sarkisov¹, E.V. Nikolaev², N.N., Golobokov³

¹Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, Tomsk, Russia

²National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

³Tomsk Branch of Structural Macrokinetics Institute RAS, Tomsk, Russia

Abstract. The paper presents research results of the β -SiAlON production from aluminum, silicon and urea nitrides using high-enthalpy thermal plasma flow. Physicochemical properties of β -SiAlON are studied by using the X-ray phase analysis, scanning electron microscopy, and differential thermal analysis. It is shown that at the specified plasma jet parameters, a thermochemical reaction occurs with the formation of β -Si₅AlON₇. Three zones of the structure formation caused by the temperature gradient in the bulk material as a result of the plasma exposure, are identified and studied. The first zone is directly irradiated by the plasma. The second is the transition zone, which locates between the first and third zones. The third is the thermal heating zone provided by the heat transfer from the irradiated zone.

Keywords: plasma, silicon nitride, aluminum nitride, sialon, structure, X-ray phase analysis, thermogravimetric analysis

Funding: This work was financially supported by Grant N FEMN-2023-0003 from the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Vlasov V.A., Klopotov A.A., Bezukhov K.A., Volokitin G.G., Gorlenko N.P., Sarkisov Yu.S., Nikolaev E.V., Golobokov N.N. Physicochemical and structural investigations of Si_3N_4 and AlN powder mixture product using plasma treatment. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (1): 152–165. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-152-165.

Введение

SiAlON (сиалон) – класс азотосодержащей керамики, который является интенсивно используемым керамическим материалом для получения высокотемпературных изделий благодаря хорошему комплексу физико-механических свойств:

высокая механическая прочность и твердость, хорошая устойчивость к тепловым ударам и высокая коррозионная стойкость [1, 2]. В зависимости от типа спекающих добавок материалы на основе SiAlON применяются в качестве высокотемпературной конструкционной керамики и коррозионно-устойчивых материалов [3], а при легировании сиалонов редкоземельными элементами – в качестве люминофоров в светодиодных источниках белого света и сцинтилляторов [4].

Известно, что SiAlON существует в четырёх различных модификациях с широкой областью гомогенности. β -SiAlON при общей формуле $\text{Si}_{6-Z}\text{Al}_Z\text{O}_Z\text{N}_{8-Z}$ изоструктурен β - Si_3N_4 . O' -SiAlON (прототип $\text{Si}_2\text{N}_2\text{O}$) с формулой $\text{Si}_{2-Z}\text{Al}_Z\text{O}_{1+Z}\text{N}_{2-Z}$, где $Z = 0-0,4$. X-SiAlON номинален $\text{Si}_{12}\text{Al}_{18}\text{O}_{39}\text{N}_8$ и изоструктурен муллиту, а также может рассматриваться как твердый раствор муллита в паре с Si_3N_4 . Фаза α -SiAlON ($\text{Me}_Z\text{Si}_{12-(m+n)}\text{Al}_{m+n}\text{O}_n\text{N}_{16-n}$) формируется в присутствии стабилизирующих ионов металла (Mg, Y или Ca) [5, 6].

В современной литературе известно порядка десяти способов для синтеза SiAlON. Традиционными считаются способы получения SiAlON методами самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и искрового плазменного спекания (ИПС) [7]. Так, в работе [8] получали SiAlON, используя ферросиликоалюминий (ФСА) и маршалит.

Анализ известных в литературе работ [9–11] для получения SiAlON позволил выявить особенности синтеза при использовании разных методов (таблица). В работе [12] отмечено, что полное уплотнение материалов требует повышенных температур спекания, что создает эксплуатационные сложности. Именно по этой причине оксиды металлов и различные типы добавок применяются в качестве синтезирующих и уплотняющих добавок, которые помогают избежать длительности синтеза и сложностей при высоких температурах. Эти добавки модифицируют структуру нитрида кремния и приводят к созданию SiAlON. Установлено, что синтез SiAlON с образованием эвтектической жидкой фазы приводит к получению более плотных керамических композитов [13].

Особенности синтеза SiAlON, полученного разными методами
SiAlON synthesis conditions

Название метода	Исходные компоненты	Температура синтеза, °C	Особенности синтеза	Источник
ИПС	Si_3N_4 , Al_2O_3 , AlN	1500–1700	Распределение тепла по образцу, короткое время рабочего цикла	[9, 11]
СВС	Si, Si_3N_4 , Al, AlN, Al_2O_3	1200–1300	Уменьшение размера частиц	[10, 11]
Золь-гель метод	Si_3N_4 , AlN, SiO_2 , Al_2O_3 (золь)	1100– 1200	Снижение температуры и увеличение интенсивности процесса	[11]

Известно, что плазмохимический метод, благодаря высокой температуре и электропроводности, оказывает чрезвычайно мощное энергетическое воздействие на тугоплавкие силикатсодержащие и нитридосодержащие мате-

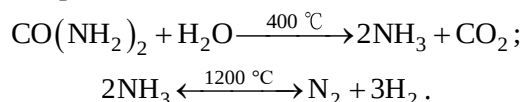
риалы, выступая в роли универсального теплоносителя и реагента. Процесс воздействия плазмы на обрабатываемое вещество осуществляется в несколько этапов: плавление, диспергирование, испарение, а затем восстановление и синтез целевого продукта в условиях быстрого охлаждения. В результате возможно образование стабильных и метастабильных фаз с широким спектром размеров частиц, от нанометров до микрометров.

Согласно проведенному анализу литературы исследований, посвященных плазмохимическому синтезу материалов системы Si-Al-O-N, реализованному при помощи энергии плазмы в качестве высокотемпературного источника, немного [14, 15]. Плазмохимический синтез является сугубо неравновесным процессом и происходит в ионной среде, что затрудняет изучение термодинамического поведения исходного материала при высокотемпературном воздействии.

Целью настоящей работы является синтез β -SiAlON путем воздействия высокоэнтальпийным плазменным потоком на смесь нитридов кремния и алюминия.

Материалы и методика

На рис. 1 представлена схема подготовки материала для проведения плазмохимического синтеза. В качестве исходных компонентов применялись порошки β -Si₃N₄ (марки Т по ТУ 6-09-03-321-77), нитрида алюминия (марки А100), карбамид H₄N₂CO (ГОСТ 6691-77) и натриевое жидкое стекло (Na₂SiO₃) (ГОСТ 13078-81). Жидкое стекло (Na₂SiO₃) использовалось в качестве связующего материала для формирования образца заданных размеров. В качестве реакционной добавки был введен порошок карбамида CO(NH₂)₂, который при высоких температурах способствует образованию газообразного азота в соответствии с реакциями:



Далее все порошки механически просеивались через сито с диаметром ячейки 0,3 мм для получения мелкодисперсных по размеру частиц. После этого порошки засыпались в пресс-форму для формирования плотного брикета, которое проводили гидравлическим прессом под давлением 500 Н. В результате были получены плотные образцы с размерами 45×15×45 мм. На следующем этапе подготовленные брикеты помещали в печь и нагревали до 400 °С в течение 30 мин с последующим остыванием до комнатной температуры. В результате такой термообработки было обеспечено спекание образца и удаление влаги в брикете.

Высокоэнергетическая обработка поверхности образцов была проведена с использованием низкотемпературного плазменного генератора [16]. Согласно литературным данным, среднемассовая температура плазменной струи в области контакта с поверхностью образца достигает значений порядка 3000–5000 К для двухатомных и многоатомных газов с усредненными значениями их энтальпии $\sim 2 \cdot 10^2$ ккал/моль [17]. На рис. 2 представлена схема плазмохимического генератора с плазмотроном прямого действия типа ВПР-410 с ис-

пользованием силы тока и напряжения на источнике питания в пределах $I = 220\text{--}300\text{ А}$, $U = 120\text{--}200\text{ В}$ и мощности $P = 25\text{ кВт}$. Диаметр плазменной струи, взаимодействующей с поверхностью образца, $d = 2\text{ мм}$. После плазменного воздействия образцы остывали до комнатной температуры.

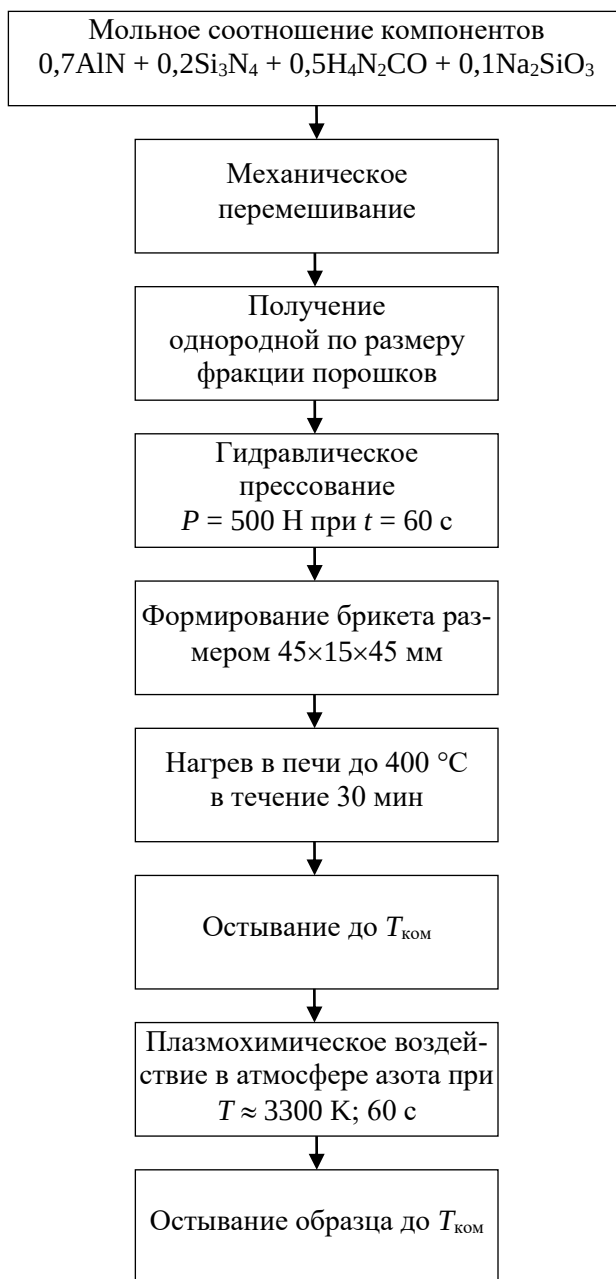


Рис. 1. Схема методики подготовки компонентов и образца перед плазмохимическим синтезом
Fig. 1. Flow-chart of mixture component and sample preparation before plasma treatment

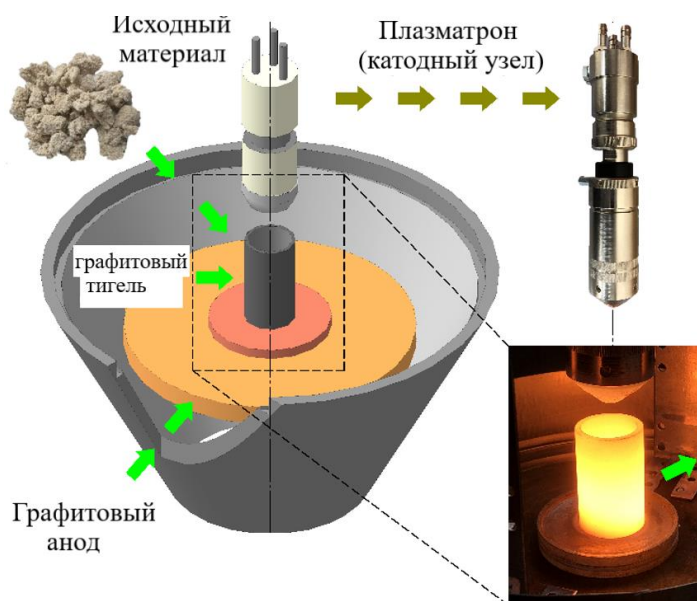


Рис. 2. Схематическое представление термохимического синтеза материала в плазменном реакторе [18]

Fig. 2. Flow-chart of thermochemical synthesis in a plasma reactor [18]

Рентгенофазовое исследование проводили на дифрактометре ДРОН-3 с использованием $\text{CoK}\alpha$ -излучения. Анализ и расшифровку дифрактограмм проводили при помощи программного комплекса Match Crystal Impact.

Исследование методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) было рассмотрено в системе с электронным и сфокусированным пучком QUANTA 200 3D производства FEI Company (США).

ИК-спектры получали с использованием спектрометра Nicolet 6700, ThermoFisher Scientific с приставкой НПВО (алмаз).

Для термодинамического анализа плазмохимического процесса получения сиалонных фаз была использована универсальная программа TERRA, предназначенная для расчета многокомпонентных гетерогенных систем [19].

Дериватограммы получены на dilatометре с горизонтальным толкателем DIL 402. При проведении ДТА эксперимента нагрев всех образцов происходил от 45 до 1400 °C со скоростью 15 °C/мин в атмосфере азота.

Результаты и обсуждение

На рис. 3 приведены фотографии подготовленного брикета до плазменного воздействия (рис. 3, а) и фрагменты образца в разных масштабах после высокотемпературного плазменного воздействия (рис. 3, б – г).

При сравнении фотографий видно, что в результате воздействия на исходный образец (рис. 3, а) высокоэнтальпийным потоком плазмы между исходными компонентами были простимулированы химические реакции, что косвенно подтверждается изменениями геометрических размеров и форм образцов и изменением цвета материала от серого до темно-угольного (рис. 3, б – г).

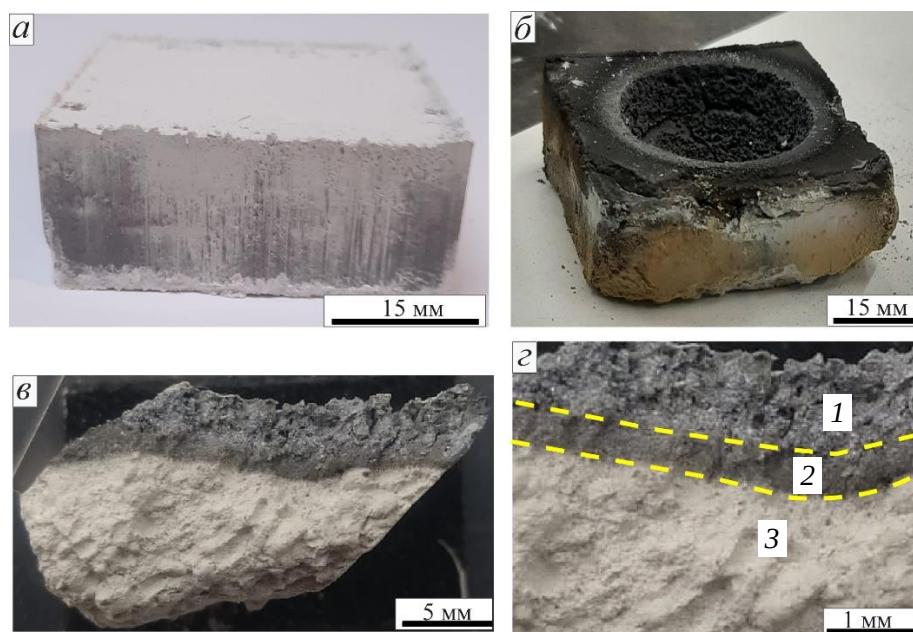


Рис. 3. Фотографии образца перед испытаниями (а) и после испытания (б). Микрофотографии фрагмента образца в разных масштабах после воздействия высокоэнтальпийным плазменным потоком (в, г)

Fig. 3. Photographs of the sample before (a) and after (b) testing. Microphotographs of the sample fragment at different scale after high enthalpy plasma treatment (c, d)

Как видно из рис. 3, б, в результате прямого плазменного воздействия образовалась воронка, близкая к сферической форме, диаметром $d \sim 30$ мм и глубиной $h \sim 8$ мм. На микрофотографии фрагмента образца, подвергнутого плазменному воздействию (рис. 3 в, г), хорошо наблюдаются области разного цвета. Эти области образовались после прямого плазменного взаимодействия с образцом и передачи тепловой энергии в результате теплообмена от области, нагретой плазменным пучком. Пунктирной линией выделена пограничная область между зонами 1 и 3 на рис. 3, г.

Анализ области теплового воздействия на рис. 3, г выявил формирование трех областей, или зон. Зона 1 – область, которая была полностью прогрета плазменным потоком. Зона 2 – пограничная область между зонами, подвергшаяся прямому плазменному воздействию и непосредственно участвующая при теплообмене. Зона 3 – область, которая не подвергалась прямому плазменному воздействию, но непосредственно участвовала при тепловом нагреве.

На рис. 4 приведена дифрактограмма материала, полученного в результате воздействия высокоэнтальпийной плазмой.

Анализ дифрактограммы позволил установить, что материал является многофазным: содержит кристаллические фазы β - Si_5AlON_7 с гексагональной сингонией (символ Пирсона $hP14$, пространственная группа $P6_3/m$); β - Si_3N_4 с тригональной сингонией (символ Пирсона $hP28$, пространственная группа $P31c$); AlN (символ Пирсона $hP4$, пространственная группа $P6_3/mc$). Наличие

фаз β - Si_3N_4 и AlN от исходных компонентов указывает на неполное протекание термохимической реакции между исходными компонентами в соответствии с уравнением

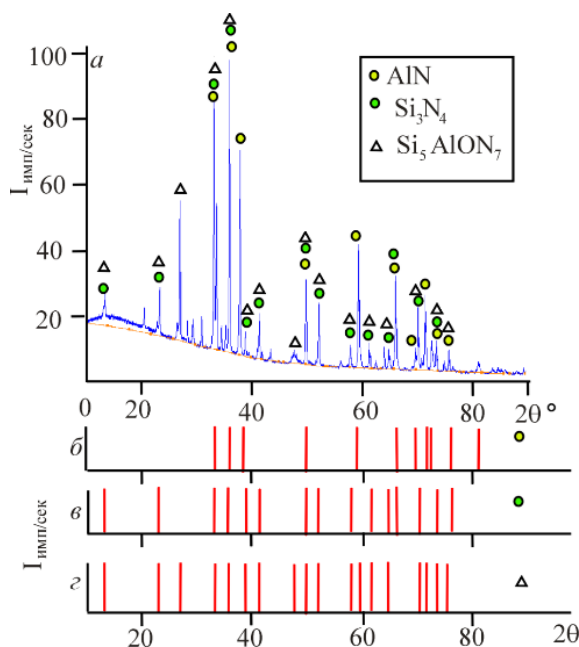
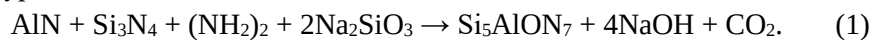


Рис. 4. Экспериментальная дифрактограмма материала, полученного в результате воздействия высокоэнтальпийной плазмы (а). Штрих-диаграммы соединений из базы данных Match Crystal Impact:

б – AlN ; в – β - Si_3N_4 ; г – β - Si_5AlON_7

Fig. 4. XRD patterns of material after high enthalpy plasma treatment (a). Line diagram of powder pattern from the Match Crystal Impact database:

б – AlN ; в – β - Si_3N_4 ; г – β - Si_5AlON_7

На рис. 5 приведены результаты микроструктурных исследований материала, полученные методом сканирующей электронной микроскопии.

На основе анализа данных, полученных методом сканирующей электронной микроскопии, можно сделать вывод, что в зоне прямого контакта поверхности образца с плазменным потоком происходит образование частиц с блочной структурой (рис. 5, а). В пограничной (промежуточной) зоне (см. рис. 3, г) наблюдается волокнистая структура, состоящая из нитевидных кристаллов (рис. 5, б). В материале из области, нагретой в результате передачи тепловой энергии от области, нагретой плазменным пучком, наблюдаются разные по морфологии и размерам сферические частицы (рис. 5, в).

Также было проведено исследование химического состава методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии в пограничной области (рис. 5, б). На рис. 6 представлены результаты количественного анализа содержания элементов в этой области (рис. 5, б).

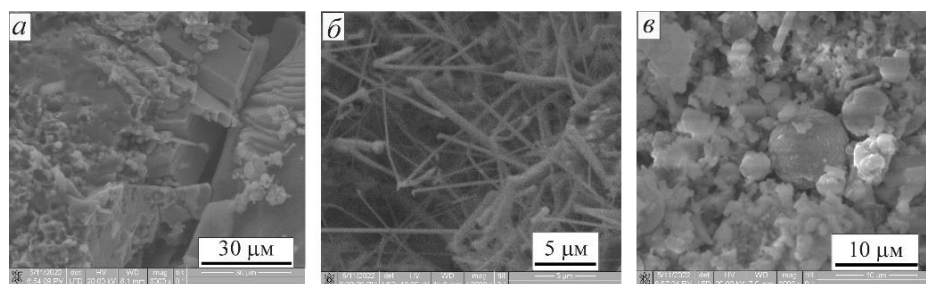


Рис. 5. Микрофотографии с разных зон материала после воздействия плазменным потоком (см. рис. 3):

a – участок образца, облученный плазменным потоком (зона 1); *б* – переходная область (зона 2); *в* – участок образца, нагретого в результате передачи тепловой энергии от области, нагретой плазменным пучком (зона 3)

Fig. 5. SEM images of different sample fragments after plasma treatment (see Fig. 3):

a – directly irradiated by the plasma; *b* – transition zone 2; *c* – thermal heating zone provided by the heat transfer from the irradiated zone

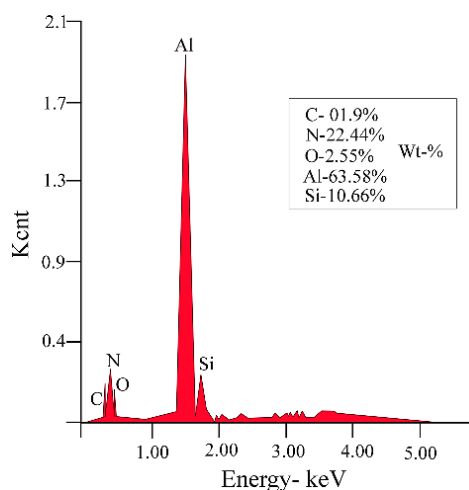


Рис. 6. Результат энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии

Fig. 6. EDX patterns

Согласно результатам энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, основными элементами являются Al – 63,5 вес. %, Si – 10,66 вес. %, O – 2,55 %, N – 22,44 вес. %. При этом наличие кислорода обусловлено процессами окисления исходных компонентов в результате предварительной подготовки образцов перед плазмохимическим синтезом. Обнаруженные следы углерода являются результатом термического разложения мочевины.

Был также исследован материал из первой зоны при помощи ИК-спектроскопии. На основе анализа ИК-спектров было установлено, что волновые числа основных пиков соответствуют значениям 1422,8 и 871,9 см⁻¹. Анализ ИК-спектров свидетельствует о присутствии в образцах преимущественно нитридов, оксидов кремния, алюминия и их мотивов.

Согласно результатам термогравиметрического исследования исходного образца до плазменного воздействия, на дериватограмме проявляется эндотермический пик в широком температурном интервале с минимумом при температуре 405,8 °С. Появление этого пика коррелирует с интенсивной потерей массы на кривой ТГ (рис. 7, а). Появление этого пика на кривой ДСК обусловлено разложением мочевины. Это находит подтверждение нашим данным по термодинамическому расчету, выполненному при помощи программы TERRA.

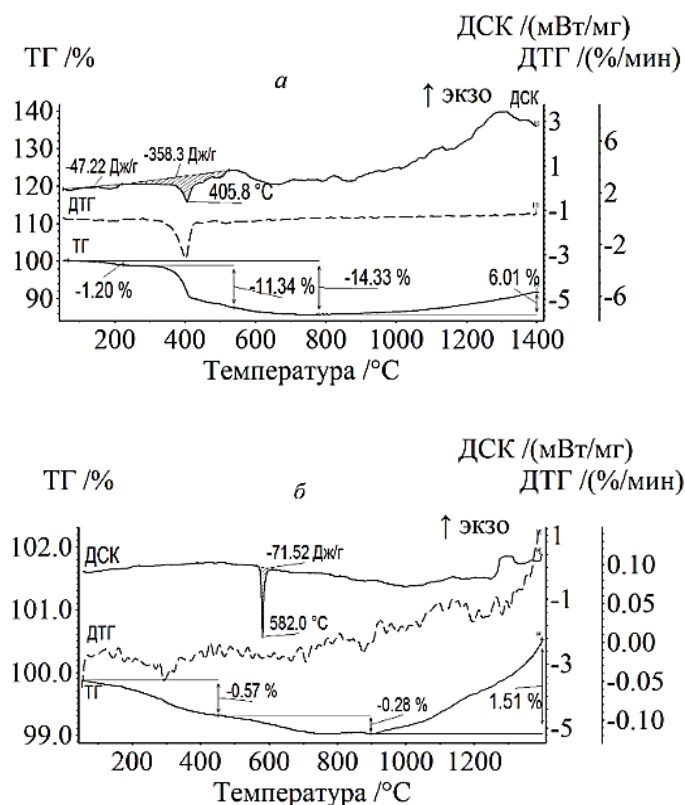


Рис. 7. Дериватограммы образцов до плазменного воздействия (а) и после плазменного воздействия (б) при скорости нагрева 15 °С/мин

Fig. 7. DSC/DTG curves of samples before (a) and after (b) plasma treatment at 15 °C/min velocity

Также было проведено термогравиметрическое исследование образца после плазменного воздействия (рис. 7, б). На дериватограмме хорошо проявляется узкий эндотермический пик при температуре 582 °С, обусловленный полиморфным превращением оксида кремния. Известно, что при температуре около 573 °С и нормальном давлении наблюдается переход тригонального α -кварца в гексагональный β -кварц [20].

Важно отметить, что с температуры 900 °С на кривой ТГ начинает происходить увеличение массы образца. Этот процесс, возможно, связан с реакциями взаимодействия, в том числе непрореагировавших компонентов мате-

риала с газообразным азотом, в среде которого проводились термогравиметрические исследования. Наличие непрореагировавших частиц подтверждается результатами рентгенофазового анализа (см. рис. 4).

Таким образом, на основе проведенных экспериментальных исследований установлено, что при взаимодействии высокоэнтальпийного потока термической плазмы с порошками нитридов кремния и алюминия происходит образование многофазного материала, основным компонентом которого является β -SiAlON состава Si_5AlON_7 .

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ekström T., Nygren M. SiAlON ceramics // J. Am. Ceram. Soc. 1992. V. 75. P. 259–276.
2. Genova L.A., Izhevskiy V.A., Bressiani J.C., Aldinger F. Progress in SiAlON Ceramics // Journal of the European Ceramic Society. 2000. V. 20. P. 2275–2295.
3. Ganesh I. Development of β -SiAlON based ceramics for radome applications // Processing and Application of Ceramics. 2011. V. 5. № 3. P. 113–138.
4. Krevel J.W.H., Rutten J.W.T., Mandal H. et al. Luminescence Properties of Terbium, Cerium-, or Europium-Doped α -Sialon Materials // Journal of Solid State Chemistry. 2002. V. 165. P. 19–24.
5. Sheppard C.M., MacKenzie K.J. D., Barris G.C. et al. A new silicothermal route to the formation of X-phase sialon: the reaction sequence in the presence and absence of Y_2O_3 // Journal of the European Ceramic Society. 1997. № 17. P. 667–673.
6. Pettersson P., Shen Z., Johnsson M., Nygren M. // Journal of the European Ceramic Society. 2001. V. 21. P. 999–1005.
7. Falak M.Z., Ahmed B.A., Saeed H.A., But, S.U., Hakeem A.S., Akbar U.A. Spark Plasma Sintering of SiAlON Ceramics Synthesized via Various Cations Charge Stabilizers and Their Effect on Thermal and Mechanical Characteristics // Crystals. 2021. V. 11. P. 1378–1393.
8. Болгару К.А., Верещагин В.И., Редер А.А. Синтез композиционных материалов на основе сиалона методом СВЧ из смеси ферросиликоалюминия с маршалитом // Инновационные силикатные и тугоплавкие неметаллические материалы и изделия: свойства, строение, способы получения : сб. трудов Международной научно-технической конференции. Минск : БГТУ, 2020. С. 66–68.
9. Hirotsaki N., Kocer C., Ogata S., Tatsumi K. Ab initio characterization of the mechanical and electronic properties of β - Si_5AlON_7 ($\text{Si}_{6-z}\text{Al}_z\text{O}_z\text{M}_{8-z}$, $z = 0-5$) // Physical Review. 2005. V. 71. P. 104–105.
10. Smirnov K.L., Grigoryev E.G. The regularity study of spark plasma sintering of β -sialon ceramics // Russian Internet Journal of Industrial Engineering. 2019. V. 7. № 3. P. 36–39.
11. Валяева М.Е., Кондратьева Л.А. Обзор методов получения сиалона // Современные материалы. Техника и технологии. 2021. № 4 (37). С. 10–16.
12. Ahmed B.A., Laoui T., Hakeem A.S. Development of calcium stabilized nitrogen rich α -sialon ceramics along the $\text{Si}_3\text{N}_4:1/2\text{Ca}_3\text{N}_2:3\text{AlN}$ line using spark plasma sintering // Journal of Advanced Ceramics. 2020. V. 9. P. 606–616.
13. Nguyen T.P., Kakroudi M.G., Asl M.S., Ahmadi Z., Namini A.S., Delbari S.A., et al. Influence of SiAlON addition on the microstructure development of hot-pressed ZrB_2 -SiC composites // Ceramics International. 2020. V. 46. P. 19209–19216.
14. Bezukhov K., Vlasov V., Klopotov A., Vereshchagin V., Golobokov N., et al. Features of obtaining SiAlON by the plasma-chemical method // AIP Conference Proceedings. 2022. V. 2509. P. 020–022.
15. Власов В.А., Клопотов А.А., Безухов К.А., Голобоков Н.Н., Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В., Власов Ю.А. Применение энергии низкотемпературной плазмы для синтеза керамического материала на основе SiAlON // Современные проблемы машиностроения: сб. трудов XIV Международной научно-технической конференции. Томск: ТПУ, 2021. С. 131–132.

16. Власов В.А., Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г. Плазменные технологии создания и обработки строительных материалов. Томск : НТЛ, 2018. 512 с.
17. Тихомиров И.А., Власов В.А., Луценко Ю.Ю. Физика и электрофизика высокочастотного факельного разряда и плазмотроны на его основе. Москва : Энергоатомиздат, 2002. 196 с.
18. Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Улмасов А.Б. Синтез алюмомагнезиевой керамики $MgAl_2O_3$ в среде термической плазмы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 3. С. 138–146.
19. Белов Г.В., Трусов Б.Г. Термодинамическое моделирование химически реагирующих систем. Москва : МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2013. 96 с.
20. Макаров В.Н. Описание структурных превращений в оксидах железа и алюмосиликатах, составляющих природные глинистые минералы, на основе энергетического подхода : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Оренбург, 2021. 134 с.

REFERENCES

1. Ekström T., Nygren M. SiAlON ceramics. *Journal of the American Ceramic Society*. 1992; 25: 259–276.
2. Genova L.A., Izhevskiy V.A., Bressiani J.C., Aldinger F. Progress in SiAlON Ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*. 2000; 20: 2275–2295.
3. Ganesh I. Development of β -SiAlON based ceramics for random applications. *Processing and Application of Ceramics*. 2011; 5 (3): 113.
4. Krevel J.W.H., Rutten J.W.T., Mandal H. et al. Luminescence Properties of Terbium, Cerium-, or Europium-Doped α -Sialon Materials. *Journal of Solid State Chemistry*. 2002; 165 (1): 19.
5. Sheppard C.M., MacKenzie K.J.D., Barris G.C. et al. A new silicothermal route to the formation of X-phase sialon: the reaction sequence in the presence and absence of Y_2O_3 . *Journal of the European Ceramic Society*. 1997; 17 (1): 667–673.
6. Pettersson P., Shen Z., Johnsson M., Nygren M. *Journal of the European Ceramic Society*. 2001; 21: 999–1005.
7. Falak M.Z., Ahmed B.A., Saeed H.A., Butt S.U., Hakeem A.S., Akbar U.A. Spark plasma sintering of SiAlON ceramics synthesized via various cations charge stabilizers and their effect on thermal and mechanical characteristics. *Crystals*. 2021; 11: 1378–1393.
8. Bolgaru K.A., Vereshchagin V.I., Reger A.A. Synthesis of sialon-based composite materials using SHS from a mixture of aluminum ferrosilicon with marshallit. In: *Proc. Int. Sci. Conf. 'Innovative Silicate and Refractory Nonmetallic Materials and Products: Properties, Structure, Methods of Production'*. Minsk, 2020. Pp. 66–68. (In Russian)
9. Hirotsaki N., Kocer C., Ogata S., Tatsumi K. Ab initio characterization of the mechanical and electronic properties of β - Si_5AlON_7 ($Si_{6-z}Al_2O_2M_{8-z}$, $z = 0-5$). *Physical Review*. 2005; 71: 104105.
10. Smirnov K.L., Grigoryev E.G. The regularity study of spark plasma sintering of β -sialon ceramics. *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*. 2019; 7 (3): 36–39.
11. Valyayeva M.E., Kondratyeva L.A. Sialon production methods. *Sovremennyye materialy. Tekhnika i tekhnologii*. 2021; 37 (4): 10–16. (In Russian).
12. Ahmed B.A., Laoui T., Hakeem A.S. Development of calcium stabilized nitrogen rich α -sialon ceramics along the $Si_3N_4:1/2Ca_3N_2:3AlN$ line using spark plasma sintering. *Journal of Advanced Ceramics*. 2020; 9: 606–616.
13. Nguyen T.P., Kakroudi M.G., Asl M.S., Ahmadi Z., Namini A.S., Delbari S.A., et al. Influence of SiAlON addition on the microstructure development of hot-pressed ZrB_2 -SiC composites. *Ceramics International*. 2020; 46: 19209–19216.
14. Bezukhov K., Vlasov V., Klopotov A., Vereshchagin V., Golobokov N., et al. Features of obtaining SiAlON by the plasma-chemical method. *AIP Conference Proceedings*. 2022; 2509: 020022.
15. Vlasov V.A., Klopotov A.A., Bezukhov K.A., Golobokov N.N., Volokitin G.G., Shekhovtsov V.V., Vlasov Yu.A. Low-Temperature plasma energy for synthesis of SiAlON-based ceramic materials. In: *Proc. 24th Int. Sci. Conf. 'Modern Problems of Engineering'*, Tomsk: TPU, 2021. Pp. 131–132. (In Russian).

16. Vlasov V.A., Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G. Plasma technologies of building materials. Tomsk: NTL, 2018. 512 p. (In Russian).
17. Tkhomirov I.A., Vlasov V.A., Lutsenko Yu.Yu. Physics and electrophysics of high-frequency plasma torch discharge. Moscow: Energoatomizdat, 2002. 196 p. (In Russian).
18. Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Ulmasov A.B. Synthesis of aluminum-magnesian ceramics $MgAl_2O_3$ in thermal plasma environment. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2022; 24 (3): 138–146. (In Russian).
19. Belov G.V., Trusov B.G. Thermodynamic modeling of chemically reacting systems. Moscow, 2013. 96 p. (In Russian).
20. Makarov V.N. Energy approach to structural transformations in iron oxides and aluminosilicates composing natural clay minerals. PhD Thesis. Orenburg, 2021. 134 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Власов Виктор Алексеевич, докт. физ.-мат. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, rector@tsuab.ru

Клопотов Анатолий Анатольевич, докт. физ.-мат. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, klopotovaa@tsuab.ru

Безухов Константин Александрович, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, bezuhov_k@mail.ru

Волокитин Геннадий Георгиевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vgg-tomsk@mail.ru

Саркисов Юрий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sarkisov@tsuab.ru

Горленко Николай Петрович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, gorlen52@mail.ru

Николаев Евгений Владимирович, канд. техн. наук, научный сотрудник, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, nikolaev0712@tpu.ru

Голобоков Николай Николаевич, ведущий электроник лаборатории гетерогенных металлических систем, Томский филиал Института структурной макрокинетики СО РАН, 630050, г. Томск, пл. Ленина, 8, nngolobokov@mail.ru

Authors Details

Viktor A. Vlasov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, rector@tsuab.ru

Anatoly A. Klopotov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, klopotovaa@tsuab.ru

Konstantin A. Bezukhov, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, bezuhov_k@mail.ru

Gennady G. Volokitin, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vgg-tomsk@mail.ru

Yury S. Sarkisov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sarkisov@tsuab.ru

Nikolai P. Gorlenko, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, gorlen52@mail.ru

Evgeny V. Nikolaev, PhD, Research Engineer, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., nikolaev0712@tpu.ru

Nikolai N. Golobokov, Leading Electronic Engineer, Tomsk Branch of Structural Macrokinetics Institute RAS, Lenin Sq., 630050, Tomsk, Russia, nngolobokov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27.12.2022
Одобрена после рецензирования 13.01.2023
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 27.12.2022
Approved after review 13.01.2023
Accepted for publication 23.01.2023

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 1. С. 166–175.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (1): 166–175.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 666.3

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-166-175

ПЛАЗМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА ФОРСТЕРИТОВОГО МАТЕРИАЛА

**Валентин Валерьевич Шеховцов, Нелли Карповна Скрипникова,
Олеся Анатольевна Кунц**

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

Аннотация. На сегодняшний день поиск новых методов синтеза форстеритовой керамики является актуальной задачей для огнеупорной промышленности. Сдерживающим фактором синтеза форстерита Mg_2SiO_4 является его высокая температура плавления $1890^\circ C$, что затрудняет возможность проведения экспериментальных исследований.

В настоящей работе предложен новый метод синтеза форстеритового материала, основанный на применении энергии термической плазмы. Источник плазмы рассматривается в контексте эффективной среды для нагрева и плавления тугоплавких материалов. В качестве исходных материалов для синтеза форстерита (Mg_2SiO_4) использовалось природное и некондиционное сырьё (отсев кварцевого песка, микрокремнезем, магнетит), при этом степень кристалличности варьируется от 10 до 98 %, что позволяет рассмотреть формирование фазового состава при различных параметрах.

По результатам рентгеновской порошковой дифрактометрии установлено, что при составе композиционных шихт $N = MgO/SiO_2$ со стехиометрическим соотношением $N = 1,34$ формируются продукты плавления с содержанием форстеритовой фазы Mg_2SiO_4 до 90 %. При этом присутствует рентгеноаморфная фаза, содержание которой варьируется от 5 до 12 %.

По результатам изотермической выдержки установлено, что аморфная фаза представлена диоксидом кремния SiO_2 в полиморфной модификации кристобалит. Методом сканирующей электронной микроскопии определено, что на поверхности керамического образца формируется плотная упаковка гексагональных кристаллов размером от 180 до 250 мкм. Состав кристаллов: $O \sim 38,60$, $Mg \sim 28,54$, $Si \sim 26,92$ масс. %, что согласуется с составом Mg_2SiO_4 . Детальный анализ одиночного кристалла показал, что структура поверхности выстраивается из группы игольчатых микрокристаллов, расположенных симметрично, но в то же время перекрывающих друг друга, тем самым образуя решетчатую структуру. Угол роста между микрокристаллами стремится к $\sim 87-94^\circ$, что указывает на строгое протекание процесса кристаллизации.

Ключевые слова: керамика, форстерит, фазовые превращения, микроструктура

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

Для цитирования: Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Кунц О.А. Плазменная технология синтеза форстеритового материала // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 1. С. 166–175. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-166-175.

ORIGINAL ARTICLE

THERMAL PLASMA SINTERING OF FORSTERITE CERAMICS

Valentin V. Shekhovtsov, Nelli K. Skripnikova, Olesya A. Kunts

Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

Abstract. To date, new synthesis methods of forsterite (Mg_2SiO_4) ceramics are being searched for refractory industry. The limiting factor of Mg_2SiO_4 synthesis is its high melting point of 1890 °C, which makes it difficult to conduct experimental studies.

The paper proposes a new method of forsterite synthesis based on thermal plasma. The plasma source is an effective medium for heating and melting refractory materials. For the Mg_2SiO_4 synthesis, such initial materials are used as natural and sub-standard raw materials (silica sand sifting, microsilica, magnesite). The degree of crystallinity varies from 10 to 98 %, which allows studying the formation of the phase composition at different parameters.

According to powder X-ray diffraction patterns, at a MgO/SiO_2 stoichiometric ratio of 1.34, the obtained melting products consist up to 90 % Mg_2SiO_4 and the X-ray amorphous phase content varies from 5 to 12 %. After isothermal exposure, the amorphous phase is represented by silicon dioxide in the polymorphic modification of cristobalite. According to scanning electron microscopy observations, the formation of hexagonal close-packed crystals occurs on the surface of the ceramic sample, with the size ranging from 180 to 250 μm . The elemental composition of the crystal consists of ~ 38.60 wt. % O, ~ 28.54 wt. % Mg, ~ 26.92 wt. % Si, which matches the theoretical composition of Mg_2SiO_4 . A detailed analysis of a single crystal shows that the surface structure consists of acicular microcrystals arranged symmetrically, but at the same time overlapping each other, thereby forming a lattice structure. The growth angle between the cubic microcrystals tends to ~87–94 degrees.

Keywords: ceramics, forsterite, phase transformation, microstructure

Funding: This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project FEMN-2022-0001) and Grant N MK-66.2022.4 from the President of the Russian Federation.

For citation: Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Kunts O.A. Thermal plasma sintering of forsterite ceramics. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2023; 25 (1): 166–175. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-1-166-175.

Введение

Технологии получения многих современных функциональных материалов, таких, например, как форстерит, предъявляют повышенные требования к используемому порошковому сырью (чистота, соответствие стехиометрии, дисперсность и др.). Порошки должны иметь заданный фазовый состав и характеризоваться равномерным распределением компонентов и добавок. Для получения порошков, удовлетворяющих вышеперечисленным требованиям, широко применяют химические методы, которые не требуют механического дробления, грубого и среднего помола, приводящих к загрязнению материала. При этом данные методы позволяют получать порошки с размером частиц менее 1 мкм [1].

Благодаря высокому уровню физико-технических свойств форстеритовая керамика находит широкое применение в различных областях техники [2]. Форстерит является конечным минералом из ряда твердых растворов оливина, который содержит магний в своей структуре. Химическая формула форстерита

Mg_2SiO_4 . В природе форстерит встречается в виде твердого раствора оливина, имеющего химическую формулу $(Mg^{2+} Fe^{2+})_2[SiO_4]$ [3]. В промышленности форстерит используется как огнеупорный материал благодаря высокой огнеупорности до 1890 °С и огнеупорности под нагрузкой 1600 °С [4]. Еще одним важным свойством форстерита является его коэффициент линейного теплового расширения, который очень похож на коэффициент металлов при повышении температуры. По этой причине форстеритовая керамика широко применяется в электротехнике. Форстерит также может быть использован в качестве футеровки зоны спекания вращающейся печи для производства цемента или в качестве футеровки металлургических печей [5].

Форстерит можно синтезировать с использованием различных исходных материалов и методов. Для синтеза форстерита разработаны различные методы подготовки порошков, такие как соосаждение, золь-гель, твердофазная реакция, метод саморастекания и т. д. [6–9]. Но керамика, полученная на основе порошков, синтезированных указанными выше способами, всегда имеет некоторые ограничения по плотности и механической прочности, которые необходимы для материалов, применяемых в высокотемпературных условиях. По сравнению с упомянутыми выше методами, традиционный твердофазный реакционный процесс более прост и предпочтителен для крупномасштабного производства. Однако в процессе прокаливания образующийся $MgSiO_3$ (вторичная фаза) и остаточный MgO всегда приводят к низкой плотности, высокой пористости, плохой спекаемости и пр.

Целью настоящей работы является синтез форстеритового материала Mg_2SiO_4 на основе природного и некондиционного сырья с использованием энергии термической плазмы методом плавления в атмосферной среде.

Материалы и методы исследования

Для проведения экспериментальных исследований выбрана следующая группа материалов: источник MgO – магнезит Халиловского и Савинского месторождений; источник SiO_2 – микрокремнезем ОАО «Кузнецкие ферросплавы» и отсев кварцевого песка Туганского месторождения.

В таблице представлен оксидный состав выбранных материалов.

Оксидный состав материалов, масс. %
Oxide content, wt. %

Материал	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	MnO	R_2O_3	$\Delta m_{прк}$
Магнезит Халиловского месторождения	6,16	0,09	1,03	2,33	48,22	0,05	–	43,12
Магнезит Савинского месторождения	1,60	0,59	0,80	0,85	46,88	0,05	1,51	50,26
Микрокремнезем ОАО «Кузнецкие ферросплавы»	94,89	0,47	0,60	0,36	0,30	–	–	3,43
Отсев кварцевого песка Туганского месторождения	98,15	0,67	0,09	0,07	0,02	–	–	0,94

На первом этапе выбранные материалы проходили изотермическую выдержку в электропечи типа 6.7-1300 СНОЛ при 950 °С в течение 3 ч. Установлено, что потеря массы при прокаливании магнезита различного месторождения варьируется и составляет $49,5 \pm 9,1$ масс. %, что характерно для протекания изотермической реакции $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$. По отношению к магнезиту кварцевый песок и микрокремнезем являются более стабильными, потеря массы варьируется от 4 до 8 масс. %. На рис. 1 представлены типичные результаты рентгенофазового анализа материалов в исходном состоянии и после изотермической выдержки.

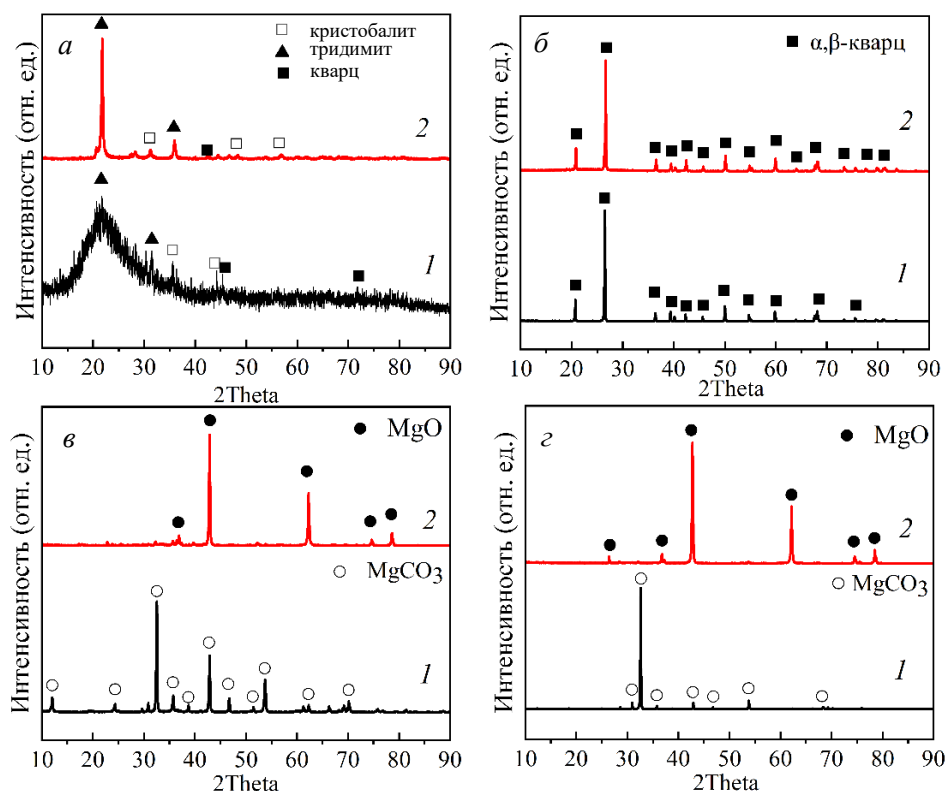


Рис. 1. Типичные рентгенограммы материалов в исходном (1) и прокаленном (2) состоянии: а – микрокремнезем ОАО «Кузнецкие ферросплавы»; б – отсев кварцевого песка, Туганское месторождение; в – магнезит Халиловского месторождения; з – магнезит Савинского месторождения

Fig. 1. Typical XRD patterns of materials before (1) and after (2) isothermal exposure: а – microsilica from ОАО “Kuznetskie ferrosplavy”; б – silica sand sifting from Tuganskoe deposit; в – magnesite from Khalilovskoe deposit; д – magnesite from Savinskoe deposit

Материалы, выступающие источником диоксида кремния (рис. 1, а, б), представлены различными модификациями SiO_2 . Стоит отметить, что отличительной чертой фазового состава микрокремнезема является наличие рентгеноаморфного гало в диапазоне $2\theta = 15\text{--}40^\circ$. Аморфной составляющей, как показали результаты рентгенофазового анализа после изотермической выдерж-

ки, является основная кристаллическая фаза тридимит. Присутствуют слабо-интенсивные рефлексы фазы кристобалит. Исследуемый фазовый состав магнезита в исходном состоянии и после изотермической выдержки (рис. 1, в, г) показал наличие фазы MgO в обоих случаях. Полученные результаты согласуются с оксидным составом (таблица) и результатами исследований, показанных в работах [10–13].

После изотермической выдержки выбранных материалов подготовлены следующие компонентные составы в стехиометрическом соотношении $\text{MgO}/\text{SiO}_2 \sim 1,34$, согласно двухкомпонентной диаграмме состояния $\text{MgO}-\text{SiO}_2$:

F-1 – магнезит Халиловского месторождения/отсев кварцевого песка, Туганское месторождение;

F-2 – магнезит Халиловского месторождения/микрокремнезем;

F-3 – магнезит Савинского месторождения/отсев кварцевого песка, Туганское месторождение;

F-4 – магнезит Савинского месторождения/микрокремнезем.

Подготовленные составы перемешивались в планетарной шаровой мельнице (YXQM-2L) до гомогенного состояния. Затем полученная шихта гранулировалась до размера 3–5 мм с добавлением связующего, в качестве которого применялся водный раствор силиката натрия (Na_2SiO_3). Полученный гранулят сушился при температуре 30 °С в течение 24 ч, затем он использовался в процессе высокотемпературного плавления. Методика плавления гранулированных порошковых материалов описана в работах [14–17].

На рис. 2 представлены типичные рентгенограммы синтезированных образцов из различных материалов при стехиометрическом соотношении $\text{MgO}/\text{SiO}_2 \sim 1,34$.

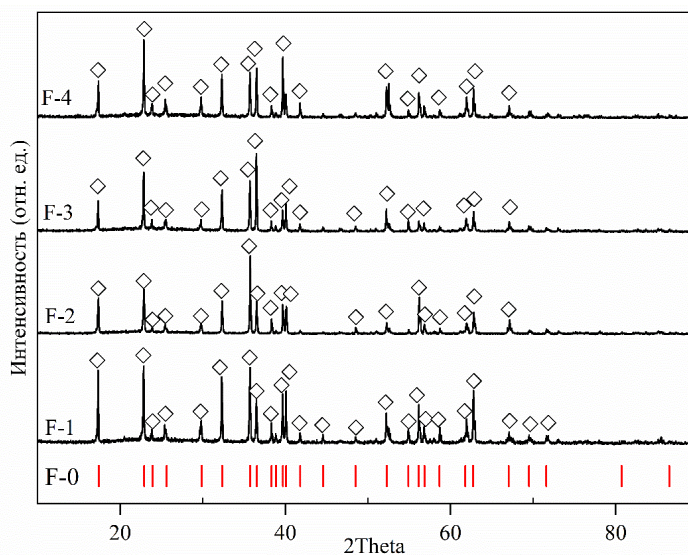


Рис. 2. Типичные рентгенограммы синтезированных образцов при стехиометрическом соотношении $\text{MgO}/\text{SiO}_2 \sim 1,34$ в среде термической плазмы

Fig. 2. Typical XRD patterns of plasma-synthesized powders at stoichiometric proportion $\text{MgO}/\text{SiO}_2 \sim 1.34$

Установлено, что синтезированные материалы соответствуют эталонной карточке RRUFF ID: R040018. Параметры решетки: $a = 0,476$ нм; $b = 1,022$ нм; $c = 0,599$ нм; ромбическая сингония. Во всех случаях присутствует рентгено-аморфная фаза в количестве от 5 до 12 %. Таким образом, для установления состава аморфной фазы произведена изотермическая выдержка с целью выкристаллизации аморфной фазы. На рис. 3 представлено сравнение участков рентгенограммы при $2\theta = 36\text{--}42$; $56\text{--}66$; $20\text{--}28$; $29\text{--}32^\circ$ для образца F-1 в исходном состоянии и после изотермической выдержки.

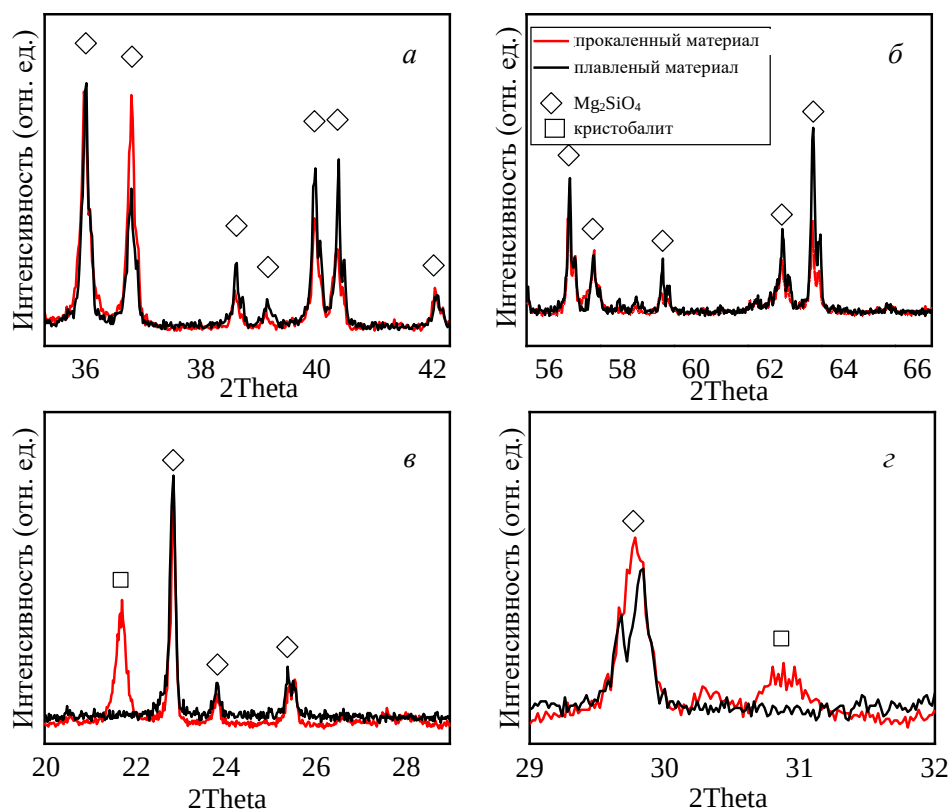


Рис. 3. Сравнение участков рентгенограмм образца F-1 в исходном состоянии и после изотермической выдержки

Fig. 3. XRD patterns of F-1 sample before and after isothermal exposure

Проведенная изотермическая выдержка показала, что основной долей кристаллической фазы ($\sim 90\%$) остался форстерит Mg_2SiO_4 , при этом прошла выкристаллизация диоксида кремния в полиморфной модификации кристобалит, это отчётливо видно на участках рентгенограммы при $2\theta = 20\text{--}28$; $29\text{--}32^\circ$. Таким образом, полученный материал в среде термической плазмы характеризуется высоким содержанием форстеритовой Mg_2SiO_4 и аморфной фазы, представленной диоксидом кремния SiO_2 в полиморфной модификации кристобалит.

На рис. 4 представлены результаты исследования морфологических особенностей поверхности синтезируемого образца F-1. По результатам сканиру-

ющей электронной микроскопии (рис. 4, а) установлено, что в процессе кристаллизации при интенсивном теплообмене с окружающей средой (скорость остывания 6,75 °C/с) формируется плотная упаковка гексагональных кристаллов. Размер кристаллов варьируется от 180 до 250 мкм. Детальный анализ одиночного кристалла (рис. 4, б) показал, что структура поверхности выстраивается из группы игольчатых микрокристаллов, расположенных симметрично, но в то же время перекрывающих друг друга, тем самым образуется сетчатая структура. Отметим, что угол роста между микрокристаллами стремится к ~87–94°, что указывает на строгое протекание процесса кристаллизации. На рис. 4, в представлена карта рельефа поверхности одиночного кристалла, из которой видно, что разность перепадов не превышает 10 мкм. Результаты энергодисперсионной спектроскопии (рис. 4, г) показали элементный состав кристаллов: О ~ 38,60, Mg ~ 28,54, Si ~ 26,92 масс. %. Наличие углерода обосновано способом плавления [14] и не превышает 5 масс. %. Данное соотношение элементов говорит о формировании форстеритовой фазы Mg_2SiO_4 .

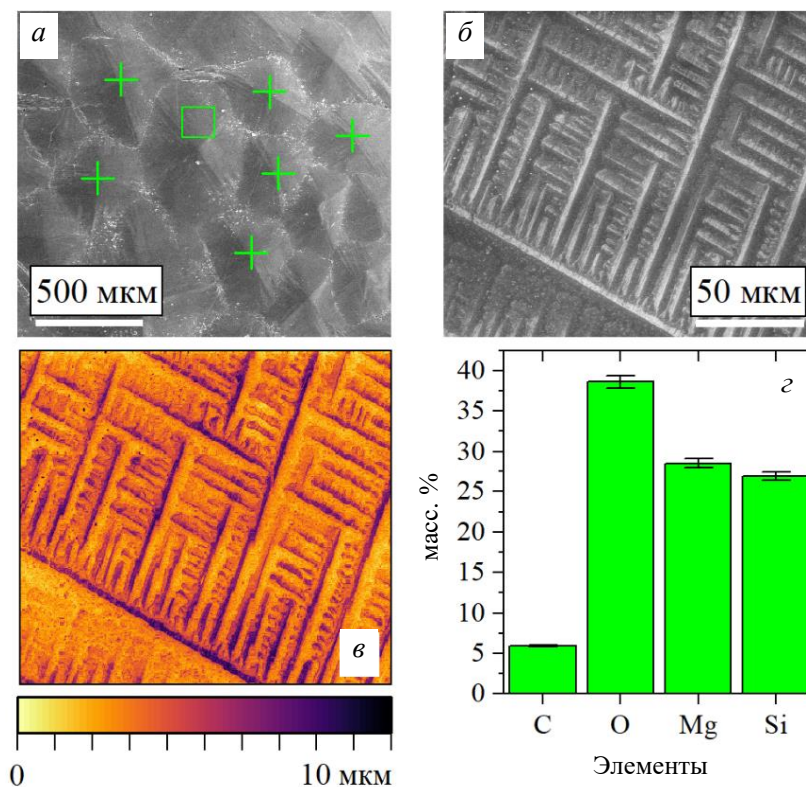


Рис. 4. Исследование морфологических особенностей поверхности синтезируемого образца F-1:

а – электронный снимок поверхности синтезируемого образца; б – электронный снимок поверхности кристалла; в – энергодисперсионный спектр с поверхности образца; г – карта рельефа поверхности одиночного кристалла

Fig. 4. Surface morphology of F-1 sample:

а – SEM image of the sample surface; б – SEM image of the crystal surface; в – block diagram of the single crystal surface texture; г – elemental analysis of the sample surface

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность синтеза форстеритового материала из природного и некондиционного материала с использованием энергии термической плазмы в атмосферной среде. Установлено, что при составе композиционных шихт $N = \text{MgO}/\text{SiO}_2$ со стехиометрическим соотношением $N = 1,34$ формируются продукты плавления с содержанием форстеритовой фазы Mg_2SiO_4 до 90 %. При этом присутствует рентгеноаморфная фаза, содержание которой варьируется от 5 до 12 %. Морфология поверхности синтезируемых образцов характеризуется плотной упаковкой гексагональных кристаллов размером от 180 до 250 мкм. Состав кристаллов представлен $\text{O} \sim 38,60$, $\text{Mg} \sim 28,54$, $\text{Si} \sim 26,92$ масс. %, что соответствует фазе Mg_2SiO_4 . Стоит отметить, что одиночные кристаллы формируются из группы игольчатых микрокристаллов размером от 2 до 10 мкм, расположенных симметрично, но в то же время перекрывающих друг друга, тем самым образуется решетчатая структура. Угол роста между микрокристаллами стремится к $\sim 87\text{--}94^\circ$, что указывает на строгое протекание процесса кристаллизации.

Полученные материалы будут интересны представителям в области получения огнеупорных материалов. Следующим этапом работы планируется провести комплекс экспериментальных исследований по выявлению граничных условий составов композиционных шихт, пригодных для формирования форстеритового материала, с целью исключения стадии термического разложения магнезита MgCO_3 при подготовке исходных материалов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Беляков А.В., Попова Н.А., Гринберг Е.Е., Стрельникова И.Е., Амелина А.Е., Левин Ю.И. Синтез форстерита и муллита алкоксидным золь-гель методом // Перспективные материалы. 2014. № 12. С. 66–73.
2. Andrianov N.T., Strel'nikova S.S., Dyagilets S.M. Forsterite ceramics based on sol-gel powders // Стекло и керамика. 2004. № 1. Р. 15–17.
3. Nguyen M., Sokolar R. The influence of the raw materials mixture on the properties of forsterite ceramics // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018. V. 385. P. 012039.
4. Зу Х., Вей И., Денг Ч. Синтез MgO-SiC-C огнеупорного композитного порошка на основе форстерит-С сырья // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 1–2. С. 84–86.
5. Sanosh K.P., Balakrishnan A., Francis L., Kim T.N. Sol-gel synthesis of forsterite nanoparticles with narrow particle size distribution // Journal of Alloys and Compounds. 2010. V. 495. № 1. P. 113–115.
6. Воробьёва Л.Б., Зонова А.Д., Степанова С.А. Влияние способа получения оксида магния на микроструктуру форстеритовой керамики // Интерэкспо Гео-Сибирь. Сибирский государственный университет геосистем и технологий (Новосибирск). 2014. Т. 5. № 2. С. 115–120.
7. Andrianov N.T., Strel'nikova S.S., Dyagilets S.M., Fedorova S.Yu. The effect of feedstock nature on the synthesis of forsterite prepared by sol-gel method // Стекло и керамика. 2002. № 6. Р. 16–19.
8. Hossain S.K.S., Mathur L., Singh P., Majhi M.R. Preparation of forsterite refractory using highly abundant amorphous rice husk silica for thermal insulation // Journal of Asian Ceramic Societies. 2017. V. 5. P. 82–87.
9. Афонина Г.А., Леонов В.Г., Попова О.Н. Влияние условий гидролиза тетраэтоксисилана на синтез форстерита // Стекло и керамика. 2008. № 12. С. 27–30.
10. Nemat S., Ramezani A.S., Emami M. Recycling of waste serpentine for the production of forsterite refractories: the effects of various parameters on the sintering behavior // Journal of the Australian Ceramic Society. 2019. V. 55. P. 425–431.

11. *Hassanzadeh-Tabrizi S.A.* Spark plasma sintering of forsterite nanopowder and mechanical properties of sintered materials // *Ceramics International*. 2017. V. 43. P. 15714–15718.
12. *Hassan Gheisari, Ebrahim Karamian.* Preparation Of NANO Crystalline Forsterite Synthesized by Mechanical Activation to use Orthopedic and Dental Applications // *Engineering Solutions for Sustainability: Materials and Resources II*. 2015. V. 18–19. P. 219–223.
13. *Junya Nishizawa, Tomoko Ikeda-Fukazawa.* Surface structures and properties of forsterite in crystalline and glassy states // *Chemical Physics Letters*. 2019. V. 714. P. 197–201.
14. *Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Ушков В.А., Зорин Д.А.* Получение стеклокерамики системы MgO–SiO₂ методом плазменной плавки // *Письма в ЖТФ*. 2022. Т. 48. №. 24. С. 15–18.
15. *Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Волокитин О.Г., Гафаров Р.Е.* Синтез муллитсодержащей керамики в среде низкотемпературной плазмы // *Физика и химия стекла*. 2022. Т. 48. № 5. С. 630–634.
16. *Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Улмасов А.Б.* Синтез алюмомагнезиальной керамики MgAl₂O₃ в среде термической плазмы // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2022. Т. 24. № 3. С. 138–146.
17. *Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Гафаров Р.Е., Волокитин О.Г.* Оптимизация процесса синтеза муллитовой керамики в среде термической плазмы // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2022. Т. 24. № 4. С. 130–138.

REFERENCES

1. *Belyakov A.V., Popova N.A., Grinberg E.E., Strel'nikova I.E., Amelina A.E., Levin Yu.I.* Synthesis of forsterite and mullite by alkoxide sol-gel method. *Promising materials*. 2014; (12): 66–73. (In Russian).
2. *Andrianov N.T., Strel'nikova S.S., Dyagilets S.M.* Forsterite ceramics based on sol-gel powders. *Glass and Ceramics*. 2004; 61 (1–2): 16–18.
3. *Nguyen M., Sokolar R.* The influence of the raw materials mixture on the properties of forsterite ceramics. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2018; 385: 012039.
4. *Zu H., Wei I., Deng Ch.* Synthesis of MgO-SiC-C refractory composite powder based on forsterite-C raw materials. *Refractories and Technical Ceramics*. 2011; (1–2): 84–86.
5. *Sanosh K.P., Balakrishnan A., Francis, L., Kim, T.N.* Sol-gel synthesis of forsterite nanopowders with narrow particle size distribution. *Journal of Alloys and Compounds*. 2010. 495 (1): 113–115.
6. *Vorobieva L.B., Zonova A.D., Stepanova S.A.* Influence of the method of obtaining magnesium oxide on the microstructure of forsterite ceramics. *Interespo Geo-Sibir'. Sibirskii gosudarstvennyi universitet geosistem i tekhnologii* (Novosibirsk). 2014; 5 (2): 115–120. (In Russian).
7. *Andrianov N.T., Strel'nikova S.S., Dyagilets S.M., Fedorova S.Yu.* The effect of initial components on the synthesis of forsterite produced by the sol-gel method. *Glass and Ceramics*. 2002; 59 (5–6): 199–202.
8. *Hossain S.K.S., Mathur L., Singh P., Majhi M.R.* Preparation of forsterite refractory using highly abundant amorphous rice husk silica for thermal insulation. *Journal of Asian Ceramic Societies*. 2017; 5: 82–87.
9. *Afonina, G.A., Leonov V.G., Popova O.N.* Effect of the conditions of hydrolysis of tetraethoxysilane on the synthesis of forsterite. *Glass and ceramics*. 2008; 65 (11–12): 447–451.
10. *Nemat S., Ramezani A.S., Emami M.* Recycling of waste serpentine for the production of forsterite refractories: the effects of various parameters on the sintering behavior. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2019; 55: 425–431.
11. *Hassanzadeh-Tabrizi S.A.* Spark plasma sintering of forsterite nanopowder and mechanical properties of sintered materials. *Ceramics International*. 2017; 43: 15714–15718.
12. *Hassan Gheisari, Ebrahim Karamian.* Preparation of NANO crystalline forsterite synthesized by mechanical activation to use orthopedic and dental applications. *Engineering Solutions for Sustainability: Materials and Resources II*. 2015; 18–19: 219–223.
13. *Junya Nishizawa, Tomoko Ikeda-Fukazawa.* Surface structures and properties of forsterite in crystalline and glassy states. *Chemical Physics Letters*. 2019; 714: 197–201.

14. Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Ushkov V.A., Zorin D.A. Obtaining glass ceramics of the MgO–SiO₂ system by plasma melting. *Pisma v ZhTF*. 2022; 48 (24): 15–18. (In Russian).
15. Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Gafarov R.E. Synthesis of mullite-containing ceramics in a low-temperature plasma medium. *Glass Physics and Chemistry*. 2022; 48 (5): 630–634. (In Russian).
16. Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Ulmasov A.B. Synthesis of aluminum-magnesian ceramics mgal₂o₃ in thermal plasma environment. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2022; 24 (3): 138–146. (In Russian).
17. Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Gafarov R.E., Volokitin O.G. Optimized synthesis of mullite ceramics in thermal plasma. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2022; 24 (4): 130–138. (In Russian).

Сведения об авторах

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

Скрипникова Нелли Карповна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, nks2003@mail.ru

Кунц Олеся Анатольевна, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kunts.98@mail.ru

Authors Details

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

Nelli K. Skripnikova, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, nks2003@mail.ru

Olesya A. Kunts, Graduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kunts.98@mail.ru

Статья поступила в редакцию 26.12.2022
Одобрена после рецензирования 12.01.2023
Принята к публикации 23.01.2023

Submitted for publication 26.12.2022
Approved after review 12.01.2023
Accepted for publication 23.01.2023