Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный
архитектурно-строительный университет

ВЕСТНИК

ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Том 24

№ 2 2022

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с апреля 1999 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ляхович Л.С., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, зав. кафедрой строительной механики ТГАСУ; гл. редактор; *lls@tsuab.ru*; г. Томск
Акимов П.А., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, главный ученый секретарь РААСН; *pavel.akimov@gmail.com*; г. Москва
Белостоцкий А.М., докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, ген. директор научно-исследовательского центра СтаДиО; *amb@stadyo.ru*; г. Москва
Бондаренко И.А., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, директор НИИТИАГ, филиал ЦНИИП Минстроя России; *niitag@yandex.ru*; г. Москва
Власов В.А., докт. физ.-мат. наук, профессор, ректор ТГАСУ; *rector@tsuab.ru*; г. Томск
Волокитин Г.Г., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой прикладной механики и материаловедения ТГАСУ; *vgg-tomsk@mail.ru*; г. Томск
Гныря А.И., докт. техн. наук, профессор, советник РААСН, зав. кафедрой технологии строительного производства ТГАСУ; *tsp_tgasu@mail.ru*; г. Томск
Дегтярев В.В., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин); *ngasu_gts@mail.ru*; г. Новосибирск
Дзюбо В.В., докт. техн. наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения ТГАСУ; *dzv1956@mail.ru*; г. Томск
Ефименко В.Н., докт. техн. наук, зав. кафедрой автомобильных дорог ТГАСУ; *svefimenko_80@mail.ru*; г. Томск
Ефименко С.В., докт. техн. наук, декан дорожно-строительного факультета ТГАСУ; *svefimenko_80@mail.ru*; г. Томск
Есаулов Г.В., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, проректор по научной работе МАРХИ; *gvesaulov@raasn.ru*; г. Москва
Жерардо М.Ч., докт. наук, профессор инженерного факультета Международного дистанционного университета UNINETTUNO; *g.cennamo@uninettunouniversity.net*; г. Рим, Италия
Ильичев В.А., докт. техн. наук, профессор, вице-президент РААСН, академик РААСН; *ilyichev@raasn.ru*; г. Москва
Инжутов И.С., докт. техн. наук, профессор, директор инженерно-строительного института СФУ; *iinzhutov@sfu-kras.ru*; г. Красноярск
Киайа Б.М., докт. техн. наук, профессор факультета проектирования зданий, сооружений и геотехники Политехнического университета Турина; *bernardino.chiaia@polito.it*; г. Турин, Италия
Ковлер К.Л., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой строительных материалов и технологий Технион – Израильский технологический институт; *cvrkost@technion.ac.il*; г. Хайфа, Израиль
Копаница Н.О., докт. техн. наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ; *kopanitsa@mail.ru*; г. Томск
Кудяков А.И., докт. техн. наук, профессор кафедры строительных материалов и технологий ТГАСУ, советник РААСН; *kudyakov@tsuab.ru*; г. Томск
Кумпяк О.Г., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой железобетонных конструкций ТГАСУ, советник РААСН; *kumpyak@yandex.ru*; г. Томск
Лежава И.Г., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, вице-президент РААСН, профессор МАРХИ; *lezhavailia@gmail.com*; г. Москва
Морозов В.И., докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, зав. кафедрой строительных конструкций СПбГАСУ; *morozov@spbgasu.ru*; г. Санкт-Петербург
Овсянников С.Н., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой архитектуры гражданских и промышленных зданий ТГАСУ; *ovssn@tsuab.ru*; г. Томск
Плачиди Л.Л., докт. наук, доцент инженерного факультета Международного дистанционного университета UNINETTUNO; *luca.placidi@uninettunouniversity.net*; г. Рим, Италия
Поляков Е.Н., докт. искусствоведения, канд. архитектуры, профессор кафедры теории и истории архитектуры ТГАСУ, член Союза архитекторов России; *polyakov-en@ya.ru*; г. Томск
Пустоветов Г.И., докт. архитектуры, профессор, чл.-корр. РААСН, советник ректората НГУАДИ; *pustovetovgi@gmail.com*; г. Новосибирск
Сколубович Ю.Л., докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, ректор НГАСУ (Сибстрин); *sjl1964@mail.ru*; г. Новосибирск
Травуш В.И., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, вице-президент РААСН; *travush@mail.ru*; г. Москва
Цветков Н.А., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой теплогазоснабжения ТГАСУ; *nac@tsuab.ru*; г. Томск
Чернышов Е.М., докт. техн. наук, профессор, председатель президиума Центрального отделения РААСН, академик РААСН; *chem@vgasu.vrn.ru*; г. Воронеж
Шубин И.Л., докт. техн. наук, чл.-корр. РААСН, директор НИИСФ РААСН; *niisf@niisf.ru*; г. Москва
Яненко А.П., докт. техн. наук, профессор кафедры гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин); *ngasu_gts@mail.ru*; г. Новосибирск

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ

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

Решение Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 17.06.2011 г.

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

Научное издание
ВЕСТНИК ТГАСУ № 2 – 2022
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. Дизайн Е.И. Кардаш. Технический редактор Н.В. Удлер.
Подписано в печать 23.04.2022. Формат 70×108/16. Гарнитура Таймс. Дата выхода: 28.04.2022.
Уч.-изд. л. 12,6. Усл. печ. л. 14,96. Тираж 200 экз. Цена: свободная.
Зак. № 46.

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, 2022

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

VESTNIK
TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO
ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA

JOURNAL
OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Volume 24

№ 2 2022
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Published since April 1999

EDITORIAL STAFF

Lyakhovich L.S., DSc, Professor, RAACS Academician, Chief Editor, Head of Structural Mechanics Dept., TSUAB; *lls@tsuab.ru*, Tomsk, Russia
Akimov P.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Chief Academic Secretary; *pavel.akimov@gmail.com*, Moscow, Russia
Belostotskii A.M., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Director General Research Center StaDiO; *amb@stadyo.ru*, Moscow, Russia
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; *niitag@yandex.ru*, Moscow, Russia
Chernyshov E.M., DSc, Professor, RAACS Academician, Chairman of the Presidium of RAACS Central Regional Branch; *chem@vgasu.vrn.ru*, Voronezh, Russia
Chiaia B., PhD, Professor, Politecnico di Torino (Polytechnic University of Turin); *bernardino.chiaia@polito.it*, Turin, Italy
Degtyarev V.V., DSc, Professor, Head of Hydraulic Engineering, Safety and Ecology Dept., Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering; *ngasu_gts@mail.ru*, Novosibirsk, Russia
Dzyubo V.V., DSc, Professor, Department of Water Supply and Sewage Systems, TSUAB; *dzv1956@mail.ru*, Tomsk, Russia
Efimenko V. N., DSc, Professor, Dean of Road Engineering and Construction Faculty, Head of Automobile Roads Dept., TSUAB; *svefimenko_80@mail.ru*, Tomsk, Russia
Efimenko S.V., DSc, Dean of Road Engineering and Construction Faculty, TSUAB; *svefimenko_80@mail.ru*, Tomsk, Russia
Esaulov G.V., DSc, Professor, RAACS Academician, Vice-Rector for Research of Moscow Architectural Institute (State Academy); *esaulovgv@raasn.ru*, Moscow, Russia
Girardot M.C., DSc, Professor, Engineering Dept., International Telematic University UNINETTUNO; *g.cennamo@uninettunouniversity.net*, Roma, Italy
Gnyrya A.I., DSc, Professor, RAACS Adviser, Head of Construction Engineering Technology Dept., TSUAB; *tsp_tgasu@mail.ru*, Tomsk, Russia
Il'ichev V.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President; *ilyichev@raasn.ru*, Moscow, Russia
Inzhutov I.S., DSc, Professor, Director School of Engineering and Construction, SibFU; *iinzhutov@sfu-kras.ru*, Krasnoyarsk, Russia
Kopanitsa N.O., DSc, Professor, Building Materials and Technologies Dept., TSUAB; *kopanitsa@mail.ru*, Tomsk, Russia
Kovler K., A/Professor, Civil and Environmental Engineering, Head of Building Materials, Performance & Technology Dept., Technion Israel Institute of Technology; *cvrkost@technion.ac.il*, Haifa, Israel
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, Head of Reinforced Concrete and Masonry Structures Dept., TSUAB; *kumpyak@yandex.ru*, Tomsk, Russia
Lezhava I.G., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President, Moscow Architectural Institute (State Academy); *lezhavailia@gmail.com*, Moscow, Russia
Morozov V.I., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Head of Engineering Constructions Dept., SPSUACE; *morozov@spbgasu.ru*, St-Petersburg, Russia
Ovsyannikov S.N., DSc, Professor, Head of Architecture of Civil and Industrial Buildings Dept., TSUAB; *ovssn@tsuab.ru*, Tomsk, Russia
Plachidi L.L., DSc, A/Professor, Engineering Dept., International Telematic University UNINETTUNO; *luca.placidi@uninettunouniversity.net*, Roma, Italy
Polyakov E.N., DArts, Professor; Member of the Union of Architects of Russia; Theory and History of Architecture Dept., TSUAB; *polyakov-en@ya.ru*, Tomsk, Russia
Pustovetov G.I., DSc, Professor, RAACS Correspondent Member, Adviser Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts; *pustovetovgi@gmail.com*, Novosibirsk, Russia
Skolubovich Yu.L., DSc, Professor, RAACS Correspondent Member, Rector Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering; *sjl1964@mail.ru*, Novosibirsk, Russia
Shubin I.L., DSc, RAACS Corresponding Member, Director Structural Physics Research Institute, RAACS; *niisf@niisf.ru*, Moscow, Russia
Tsvetkov N.A., DSc, Professor, Head of Heat and Gas Supply Dept., TSUAB; *nac@tsuab.ru*, Tomsk, Russia
Travush V.I., DSc, Professor, RAACS Vice President, RAACS Academician; *travush@mail.ru*, Moscow, Russia
Vlasov V.A., DSc, Professor, Rector, TSUAB; *rector@tsuab.ru*, Tomsk, Russia
Volokitin G.G., DSc, Professor, Head of Applied Mechanics and Materials Science Dept., TSUAB; *vgg-tomsk@mail.ru*, Tomsk, Russia
Yanenko A.P., DSc, Professor, Hydraulic Engineering, Safety and Ecology Dept., Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering; *ngasu_gts@mail.ru*, Novosibirsk, Russia

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 № 2 – 2022
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: 23.04.2022. Paper size: 70×108/16. Typeface: Times New Roman Issue date: 28.04.2022.
Published sheets: 12,6. Conventional printed sheets: 14,96. Print run: 200 copies Price: free.
Order N 46.

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

16+

© Tomsk State University of Architecture and Building, 2022

С О Д Е Р Ж А Н И Е

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Прислонова Д.В., Ситникова Е.В. Вклад купечества в формирование культурно-просветительской инфраструктуры городов Красноярска и Ачинска (ТГАСУ, г. Томск) 9
Астахова Е.С. Символика в архитектурном формообразовании (ААИ ЮФУ, г. Ростов-на-Дону) 24
Ченчулаева Э.В., Куликова И.В. Типологические особенности традиционного жилища народов Алтая (ТГАСУ, г. Томск) 39
Гуров И.О. Воздействие реновации завода «Петмол» на социальную инфраструктуру Санкт-Петербурга (ООО «БАЗИС», г. Санкт-Петербург) 51
Скоблицкая Ю.А. Архитектурно-планировочные особенности становления многоуровневых спортивных комплексов (ААИ ЮФУ, г. Ростов-на-Дону) 65

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Гребенюк Г.И., Максак В.И., Вешкин М.С. Оценка эффективности использования обобщенных переменных проектирования в задаче оптимизации стержневых систем при импульсном нагружении (ТГАСУ, г. Томск, НГАСУ, г. Новосибирск) 76
Герасимов Е.П. Нормирование надежности строительных конструкций по деформациям исходя из эстетико-психологических требований (НГУАДИ, г. Новосибирск) 87
Онкаев В.А., Серпокрылов Н.С., Бадрудинова А.Н., Джальчинова Т.Б., Кедеева О.Ш. Влияние климатических условий на проектирование и строительство зданий и сооружений в Республике Калмыкия (КалмГУ, г. Элиста) 95

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Семеновых М.А., Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В. Использование кальцийсодержащего техногенного сырья для получения анортитовой керамики (ТГАСУ, г. Томск) 106
Демьяненко О.В., Копаница Н.О., Куликова А.А., Устинов А.М. Особенности проектирования составов многокомпонентных мелкозернистых бетонов (ТГАСУ, г. Томск) 114

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Толстых А.В., Дорошенко Ю.Н., Пенявский В.В., Халимов И.О. Моделирование работы тепловых насосов. Проблемы и перспективы (ТГАСУ, г. Томск) 125

Белоус А.Н., Белоус О.Е., Кулумбегова Л.З. Влияние теплопроводных включений на амплитуду колебания температуры внутренней поверхности каркасно-щитовых зданий (ДонНАСА, ДНР, г. Макеевка, ЮОГУ, Южная Осетия, г. Цхинвал)..... 138

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Подшивалов И.И., Пляскин А.С., Тарасов А.А. Особенности усиления железобетонных стропильных и подстропильных ферм, получивших эксплуатационные повреждения (ТГАСУ, г. Томск)..... 147

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

Ефименко В.Н., Ефименко С.В., Каримов Э.М., Кожогулов К.Ч. Особенности дорожно-климатического районирования территории Юго-Западного Кыргызстана (ТГАСУ, г. Томск, ОшТУ, ИГиОН НАН КР, Киргизская Республика, г. Ош, г. Бишкек) 161

C O N T E N T S

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Prislonova D.V., Sitnikova E.V. Merchants' contribution to the cultural and educational infrastructure of Krasnoyarsk and Achinsk (Tomsk) 9
Astakhova E.S. Symbolism in architectural style (Rostov-on-Don) 24
Chenchulaeva E.V., Kulikova I.V. Typology of Altai traditional houses (Tomsk) 39
Gurov I.O. “Petmol” plant renovation and social infrastructure of Saint-Petersburg (Saint-Petersburg) 51
Skoblitskaya Yu.A. Architecture and planning of multilevel sports complexes (Rostov-on-Don) 65

BUILDING AND CONSTRUCTION

Grebenyuk G.I., Maksak V.I., Veshkin M.S. Generalized design variables in rod system optimization under pulse loading (Tomsk, Novosibirsk) 76
Gerasimov E.P. Building reliability specification by deformation based on aesthetic and psychological requirements (Novosibirsk) 87
Onkaev V.A., Serpokrylov N.S., Badrudinova A.N., Dzhal'chinova T.B., Kedeeva O.Sh. Climatic condition effect on building construction in the Republic of Kalmykia (Elista) 95

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Semenovykh M.A., Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V. Calcium-containing industrial waste for anorthite ceramics production (Tomsk) 106
Dem'yanenko O.V., Kopanitsa N.O., Kulikova A.A., Ustinov A.M. Composition development of multicomponent fine concrete (Tomsk) 114

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

Tolstykh A.V., Doroshenko Yu.N., Penyavskii V.V., Khalimov I.O. Simulation of heat pump operation. problems and prospects (Tomsk) 125

Belous A.N., Belous O.E., Kulumbegova L.Z. Influence of heat-conducting elements on temperature amplitude of inner surface of frame-supporting buildings (Makeevka, Donetsk People's Republic, Tskhinvali, Republic of South Ossetia).....138

BASES, FOUNDATIONS AND SUBSTRUCTURES

Podshivalov I.I., Plyaskin A.S., Tarasov A.A. Reinforcement of concrete principal and secondary trusses after service damages (Tomsk).....147

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

Efimenko V.N., Efimenko S.V., Karimov E.M., Kozhogulov K.Ch. Road-building climate zoning of the territory of south-west kyrgyzstan (Tomsk, Osh, Bishkek, Kyrgyz Republic).....161

АРХИТЕКТУРА
И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 72.035 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-9-23

Д.В. ПРИСЛОНОВА, Е.В. СИТНИКОВА,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

ВКЛАД КУПЕЧЕСТВА В ФОРМИРОВАНИЕ КУЛЬТУРНО-ПРОСВЕТИТЕЛЬСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ГОРОДОВ КРАСНОЯРСКА И АЧИНСКА

Исследованы здания с исторической культурно-просветительской функцией, построенные при участии купеческого сословия, для выявления подлинного вклада купцов в формирование архитектурного окружения и культурной среды городов Красноярска и Ачинска. Актуальность работы определяется недостаточной изученностью данной темы, что является препятствием для установления целостной картины этапов историко-градостроительного развития рассматриваемых городов и раскрытия культурного кода региона. В современной действительности это приводит к обесцениванию значимости и утрате исторических зданий.

Целью работы является выявление объектов культурно-просветительской инфраструктуры, возведенных по инициативе и на средства купечества, анализ их исторической и архитектурно-градостроительной ценностей. Статья разработана на основе материалов библиографического, историко-архивного и натурного исследований с использованием методов комплексного и системного анализа.

В результате исследования научно подтверждается факт участия купечества в появлении целой группы зданий культурно-просветительских учреждений, представляющих значительную историко-культурную ценность в современной градостроительной ситуации. В свою очередь, это подтверждает основную гипотезу о влиянии купеческого сословия на формирование архитектурного облика городов Красноярска и Ачинска.

Ключевые слова: купечество; архитектурное наследие; здания культурно-просветительских заведений; историко-градостроительная среда; Красноярск; Ачинск.

Для цитирования: Прислонова Д.В., Ситникова Е.В. Вклад купечества в формирование культурно-просветительской инфраструктуры городов Красноярска и Ачинска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 9–23.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-9-23

© Прислонова Д.В., Ситникова Е.В., 2022

D.V. PRISLONOVA, E.V. SITNIKOVA,
Tomsk State University of Architecture and Building

MERCHANTS' CONTRIBUTION TO THE CULTURAL AND EDUCATIONAL INFRASTRUCTURE OF KRASNOYARSK AND ACHINSK

The paper analyzes buildings with cultural and educational functions, built with the participation of merchants to identify their contribution to the architectural and cultural environment of the cities of Krasnoyarsk and Achinsk. Research is determined by the lack of study of this topic, which prevents the identification of stages of historical and urban development of these cities and the cultural code of the region. Today, this leads to a depreciation of the historical significance of buildings.

The aim of this work is to identify the objects of cultural and educational infrastructure built on the initiative and at the expense of merchants. The analysis is given to their historical and architectural contributions. Research is based on bibliography, historical and archival documents, field study, and complex and systems analysis.

The paper confirms the participation of merchants in the emergence of buildings of cultural and educational institutions, which are of significant historical and cultural value. This, in turn, proves the main hypothesis of the merchant class influence on the formation of the architectural style of Krasnoyarsk and Achinsk.

Keywords: merchants; architectural heritage; cultural and educational institutions; historical and urban environment; Krasnoyarsk; Achinsk.

For citation: Prislonova D.V., Sitnikova E.V. Vklad kupechestva v formirovanie kul'turno-prosvetitel'skoi infrastruktury gorodov Krasnoyarska i Achinska [Merchants' contribution to the cultural and educational infrastructure of Krasnoyarsk and Achinsk]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 9–23.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-9-23

Настоящая статья освещает одну из сторон научного исследования, выполняемого в рамках работы над кандидатской диссертацией, посвященной изучению архитектурного наследия городов Красноярского края, возведенного на средства местного купечества.

Изучением истории купечества и вклада, внесённого им в формирование архитектурного облика городов Западной Сибири, занимались многие историки, краеведы, архитекторы. Данной тематике посвящены монографии томских исследователей: «Сибирское купечество и формирование архитектурного облика г. Томска в XIX – начале XX в.», 2008 г. [1], «Архитектура городов Томской губернии и сибирское купечество (XVII – начало XX века). Томск, Бийск, Барнаул, Кузнецк, Колывань, Камень-на-Оби, Нарым, Мариинск, Новониколаевск», 2011 г. [2], «Формирование архитектурного облика городов Западной Сибири в XVII – начале XX в. и местное купечество (Тобольск, Тюмень, Томск, Тара, Омск, Каинск)», 2017 г. [3]. Роль отдельных представителей красноярского и ачинского купечества упоминается в трудах исследователей Красноярского края: «Иллюстрированная история Красноярья (XVI – начало XX века)», 2012 г. [5], «Во славу любезного Отечества. Семья Кузнецовых в истории Красноярска

и России», 2010 г. [7], «Градостроительство Сибири», 2011 г. [8], «Ачинск: градостроительная история», 1992 г. [4] и др.

Научная новизна данной работы заключается в выявлении зданий культурно-просветительского назначения в городах Красноярского края – Красноярске и Ачинске, возведённых на средства купечества, анализе их влияния на формирование архитектурного облика и значения в объёмно-планировочной структуре рассматриваемых городов.

Основная часть элиты в Енисейской губернии (ныне Красноярский край) в XVIII – начале XX в. формировалась из представителей гильдейского купечества. Это была небольшая доля населения наиболее крупных городов губернии и по своему общему количеству уступала численности в других губернских центрах дореволюционной Сибири, таких как Иркутск, Томск и Тюмень. Кроме того, положение купцов не отличалось социальной стабильностью, что приводило к частым изменениям в составе [6, с. 166]. Численность купцов первой гильдии в 1860–90-е гг. в Енисейской губернии варьировалась от 6 до 20 чел. К наиболее устойчивым в своем сословном положении принадлежали купеческие династии: Гадаловы, Кузнецовы, Баландины, Щегловы, Юдины, Даниловы [5, с. 194].

С ростом капиталов и повышением уровня влияния на развитие региона у купечества возрастает потребность в самоопределении и самовыражении особенной роли своего сословия в социально-культурной и политической жизни. Одним из возможных путей самореализации становится меценатство. Преимущественная часть купечества имела крестьянское или мещанское происхождение и отличалась религиозностью, что отчасти повлияло на формирование их специфической мировоззренческой парадигмы, выражающейся в том числе в стремление уменьшить культурно-образовательный и экономический разрыв между сословиями.

Важным направлением филантропии была культурно-просветительская сфера. В середине XIX – начале XX в. повышается общий интерес сибиряков к искусству, истории и археологии, краеведению и геологии. Данный фактор подтверждается личными интересами представителей купечества, а также их активным содействием талантливым деятелям искусства, ученым и исследователям. Понимая культурную отсталость региональных городов от европейской части России, купечество стремилось внедрить в городскую инфраструктуру и сделать общедоступным такие учреждения, как театры, музеи, кинотеатры, библиотеки, клубы. Здания, построенные на средства купцов, по сей день эксплуатируются согласно исторической функции. Объекты стали наиболее узнаваемыми архитектурными и культурными символами городов Красноярска и Ачинска.

В середине XIX в. в г. Красноярске зарождается интерес к театральному искусству. Первоначально горожане довольствовались гастролирующими труппами под руководством таких антрепренеров, как Иосиф Маркевич и Александр Харитонович Ярославцев (Астапов) из г. Ярославля и другими [9, с. 350]. Постановки не отличались высоким качеством и не удовлетворяли желание местной интеллигенции смотреть пьесы, поставленные по классическим произведениям.

В январе 1873 г. купцы и почетные граждане Красноярска А.П. Кузнецов и И.С. Щеголев подали в городскую управу прошение об отводе места под строительство временного здания театра на Староострожной площади [7, с. 92]. Прошение было одобрено, площадь в дальнейшем было указано переименовать в Театральную, т. к. в будущем планировалось строительство постоянного здания театра.

В марте 1873 г. в городскую управу купцом А.П. Кузнецовым был представлен план местности, а также проект деревянного здания театра вместительностью до трехсот человек, и в скором времени было выдано разрешение на постройку. План здания и сметы на его постройку не сохранились. Известно только, что театр был построен на добровольные пожертвования, основными инвесторами выступили купцы А.П. Кузнецов и И.С. Щеголев. Общая сумма пожертвований составила 6785 руб. серебром [Там же, с. 92]. Распорядителями театра были назначены И.С. Щеголев, Зайцев, И. Данилов, А.П. Кузнецов и Рогожин, под их управлением театр находился до 1878 г., затем был принят в ведение города.

По сохранившимся иконографическим материалам можно судить об объёмно-пространственном решении и архитектурной композиции первого здания театра. Это было высокое одноэтажное деревянное здание на каменном цоколе с четырехколонным портиком, выступавшим на главном фасаде, и боковыми ризалитами (рис. 1). Предположительно, в результате более поздних реконструкций, вместо бокового ризалита устроен шестиколонный портик крыльца (рис. 2).

Рис. 1. Здание старого театра на Театральной площади в Красноярске. Конец XIX в. Автор съемки Н.А. Ставровский [23, д. 1387]

Рис. 2. Старый театр на Театральной площади в Красноярске. 1880–90-е гг. Автор съемки М.Б. Аксельрод [23, д. 3242/3]

Все работы производились под руководством енисейского губернского архитектора Г.Я. Судовского, после его смерти дело продолжил архитектор А.А. Лоссовский. Позднее гражданский инженер А.А. Фольбаум пристроил фойе и лестницы к зданию театра.

В 1887 г. в Красноярске создаётся Красноярское общество любителей драматического искусства, главной целью которого становится поддержка Красноярского городского театра. К концу XIX в. в обществе состояло 98 чел., среди которых были купцы: П.И. Гадалов, А.П. Кузнецов, И.Т. Савен-

ков и др. [5, с. 230]. С учреждением этой общественной организации здание театра переходит в ее распоряжение [17].

В октябре 1898 г., по невыясненным причинам, здание театра сгорело до основания. После трагедии от правления Красноярского общества любителей драматического искусства поступило обращение к городскому голове о размещении временного здания театра в бывшем холерном бараке с переносом его на Театральную площадь. Прошение было отклонено, однако поручено рассмотреть вопрос о строительстве каменного здания театра [18].

Новый проект здания Народного дома-театра, разработанный инженером Е.Н. Александровым, был представлен А.П. Кузнецовым на утверждение в Строительное отделение в июне 1900 г. (рис. 3) [11]. Выбрано новое место для строительства – участок по ул. Воскресенской (ныне пр. Мира). В феврале 1902 г. строительство завершилось, и новое здание театра было открыто для горожан (рис. 4).

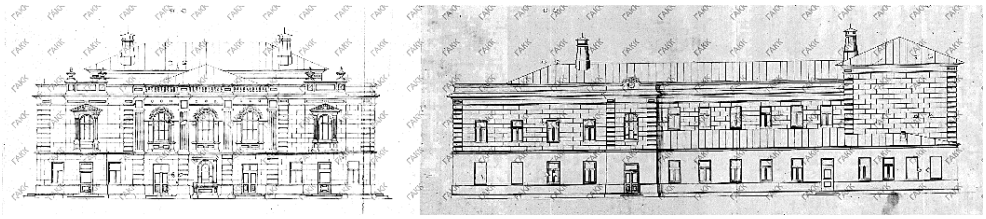


Рис. 3. Чертежи фасадов Народного дома-театра. Автор инженер Е.Н. Александров. 1900 г. [11]

Капитал на строительство Народного дома сформировался из десяти тысяч страховых выплат за сгоревший театр, пятнадцати тысяч рублей, данных взаймы А.П. Кузнецовым, две тысячи пожертвовала супруга Кузнецова, и пять тысяч предполагалось собрать пожертвованиями [7, с. 93].

В первой половине XX в., в результате нескольких крупных реконструкций, подлинный исторический облик театра был утрачен. Первая реконструкция была выполнена после пожара, произошедшего в январе 1930 г. Для подготовки проекта по восстановлению пригласили красноярского архитектора В.А. Соколовского. Затем в 1946 г. был проведен конкурс на новый проект реконструкции театра, однако замысел не был осуществлён. Дошедший до настоящего времени облик здания имеет архитектурно-композиционное решение, приобретенное после реконструкции 1953 г. Автором проекта и руководителем авторского коллектива был академик архитектуры Геворг Кочар (рис. 5).

В 1889 г. в Красноярске был основан первый музей. Инициаторами и меценатами были супруги: купец 2-й гильдии И.А. Матвеев и Ю.П. Матвеева (дочь купца 1-й гильдии, мецената П.И. Кузнецова). Для открытия музея супруги пожертвовали 5000 руб. и организовали подписку среди родственников. Наиболее крупные средства внесли Е.П. Кузнецова, в размере 1000 руб., и А.П. Кузнецова, в размере 500 руб. Общая сумма пожертвований составила 7390 руб. [Там же, с. 86].

В период с 1889 по 1895 г. зданием музея являлся бывший жилой особняк купца М.А. Круковского (ныне ул. Каратанова, 11) на бывшей Старобазарной

площади (рис. 6). Здание жилого дома было построено в 1843 г. в стилистике классицизма купцом 3-й гильдии Матвеем Семеновичем Козьминым и является одним из первых каменных домов Красноярска. Объект сохранился и эксплуатируется по настоящее время, однако в результате реконструкции в начале 2000-х гг. исторический облик был искажен мансардной пристройкой.

Рис. 4. Красноярский городской театр в день выборщиков в I Государственную думу. 23 апреля 1906 г. Автор съемки Л.Ю. Вонаго [23, д. 1015]

Рис. 5. Фотоальбом «Красноярский край». Город Красноярск. Театр им. А.С. Пушкина и гостиница «Енисей». 1957 г. [24, д. 11114/24]

С 1895 по 1904 г., в связи с быстрым ростом коллекции, музей переведен в дом наследников купца А.А. Светлакова (ныне ул. Дубровинского, 72). Затем музей вернулся на бывшую Старобазарную площадь, но уже в здание старого Гостиного двора (ныне ул. Карла Маркса, 6) (рис. 7). Помимо музея в здании также располагалось 2-е городское училище, а нижний этаж занимали склады военного ведомства [10, с. 330]. В 1910 г. вновь встал вопрос о строительстве нового музея из-за нехватки места для размещения и хранения обширных и постоянно пополняющихся музейных фондов. В результате было предложено строительство специального здания музея.

Рис. 6. Старый Красноярск. Дом наследников Крутовского. Старобазарная площадь. Фото до 1919 г. Автор сьемки А.Я. Тугаринов [23, д. 5011]

Рис. 7. Старый Красноярск. Гостиный двор на старом базаре в Красноярске. Фото 1900-х гг. Автор съемки А.Я. Тугаринов [24, д. 10426/230]

В 1913 г. новым губернатором Енисейской губернии назначается И.И. Крафт, в значительной степени заинтересовавшийся судьбой музея. Под

руководством И.И. Крафта создается комитет по постройке музея. В конце этого же года окончательно утвердилось месторасположение будущего здания – перекресток Береговой улицы (ныне ул. Дубровинского) и переулка Гимназического (ныне ул. Вейнбаума). Здание предполагалось построить на пожертвования [19].

Проект здания музея разработал архитектор Л.А. Чернышев. В основу идеи архитектурного решения объекта в стилистике форм «ориенталя» лег проект для павильона Науки Первой Западно-Сибирской сельскохозяйственной, лесной и торгово-промышленной выставки, проведенной в 1911 г. в г. Омске. Стоимость строительства здания, по расчетам Л.А. Чернышева, должна была составить 90 тыс. руб. [16].

Основными меценатами строительства музея выступили: губернатор И.И. Крафт (1000 руб.), П.И. Гадалов (ежегодно 500 руб.), А.В. Телегин (8 тыс. кирпичей), К.С. Телегин (5 тыс. кирпичей), И.М. Беккер (15 тыс. кирпичей), Ц.Б. Рабинович (85 кубов бута), Е.А. Жоголев (леса разного на 500 руб.), Ф.Г. Лукин (1000 пуд. алебастра и 100 шт. плах для полов) [10, с. 331].

По причине начала Первой мировой войны в августе 1914 г. строительство здания приостановили из-за нехватки средств. Согласно отчету Л.А. Чернышева, к началу 1915 г. «стены возведены до крыши, уложены балки над проемами и прогоны перекрытия 1-го этажа. Уложены балки полов и черного потолка, установлены стропила, обрешетка» [19].

Недостроенное здание было переоборудовано под солдатские казармы. В годы революции и гражданской войны в нем был устроен военный госпиталь. В 1920 г. объект был освобожден. В конце 1924 г. было решено провести ремонт здания для дальнейшего устройства музея. Руководителем был назначен автор проекта Л.А. Чернышев. Из-за недостатка средств и материалов музей был достроен с отклонениями от проектного замысла, отказались от фонарей над центральным двухсветным пространством и боковыми залами второго этажа, балкона в аудитории, росписей интерьеров. Завершилось строительство в 1930 г. [10, с. 332] (рис. 8).

Рис. 8. Красноярский музей в стадии завершения ремонта. 1928–1929 гг. [24, д. 10426/405]

Строительство Коммунального моста в середине XX в. сократило бассейн видимости объекта и зону композиционно-видового влияния. Однако здание продолжает и в современной градостроительной ситуации быть пространственным ориентиром в застройке ул. Дубровинского и пластическим акцентом в панораме города, раскрывающейся с р. Енисей.

Другим крупным культурно-просветительским зданием, появившимся благодаря представителям красноярского купечества, является Дом просвещения, или Дом учителя.

По инициативе и непосредственном содействии купцов А.П. Кузнецова, Н.К. Переплетчикова и Н.А. Шепетковского в 1884 г. в Красноярске было открыто Общество попечения о начальном образовании, сыгравшее исключительную роль в создании доступного образовании. Первым председателем совета был Н.А. Шепетковский, на должность товарища-председателя был избран А.П. Кузнецов. В 1912 г. А.П. Кузнецова, по причине болезни, сменяет А.Р. Шнейдер.

В 1913 г. от Общества попечения о начальном образовании поступает прошение о разрешении строительства собственного дома – «Дома просвещения для учителей Приенисейского края». Проект здания разработал городской архитектор С.Г. Дриженко (рис. 9). Городская дума утверждает проект и безвозмездно выделяет участок под строительство на Театральном переулке (ныне ул. Кирова) [14].

Стоимость строительства составила более 60 тыс. руб. Часть средств было выделено самим Обществом, в их основу легло крупное пожертвование Н.К. Переплетчикова в размере 25 тыс. руб., вклады купцов Гадаловых, Кузнецовых, Мельниковых. На 30 тыс. руб. была выделена ссуда мещанином С.С. Тропиным.

В январе 1915 г. здание Дома просвещения было торжественно открыто (рис. 10). Объект имеет архитектурно-художественное решение, соответствующее формам эклектики с применением мотивов ренессанса. В современной градостроительной ситуации здание является ценным элементом: участвует в формировании силуэта ул. Кирова, обладает признаками пластического акцента застройки.

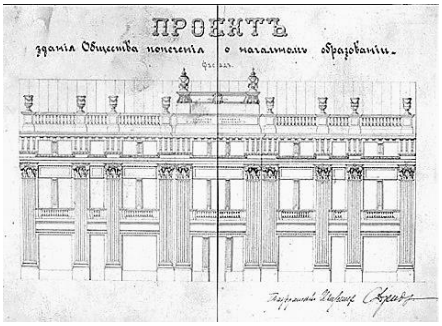


Рис. 9. Проект дома Общества попечения о начальном образовании. Автор архитектор С.Г. Дриженко. 1913 г. [14]

Рис. 10. Дом просвещения Общества о народном образовании. 1915 г. [23, д. 5011]

Крупной и выразительной постройкой в Красноярске, возведенной на средства Купеческого общества, является здание Купеческого дома (клуба). Идея строительства здания возникла в 1898 г. Для Купеческого общества принципиальной позицией было возведение объекта на центральной Воскресенской улице (ныне ул. Мира). В результате решение вопроса по отводу земельного участка затянулось на продолжительное время. «<…> решение было найдено несколько парадоксальное. Дом купеческого общества был выстроен «на усадьбе, принадлежавшей 1-му приходскому училищу <…> которая вместе с каменным корпусом оценивалась не менее 50 тыс. рублей, так как находилась на углу, в центре города – на главной улице» [8, с. 490].

Автором проекта каменного Купеческого дома выступил архитектор Л.А. Чернышев. Трехэтажное монументальное здание было выстроено на углу Воскресенской улицы и Почтамтского переулка (ныне пр. Мира и ул. Перенсона) в 1907–1908 гг. Архитектурный облик здания решен в формах эклектики с применением готических мотивов в декоративных элементах (рис. 11).

Рис. 11. Старый Красноярск. Проспект им. Сталина. Гостиницы Купеческого собрания (1908–1910 гг.) Автор съемки И.И. Балуева, 1930-е гг. [23, д. 12290]

Бывший Купеческий дом (клуб) в настоящее время является важным пространственно-планировочным элементом историко-градостроительной среды. Здание фиксирует перекрёсток пр. Мира и ул. Перенсона, участвует в формировании силуэта улиц, отличается выразительными формами и декоративно-пластической проработкой фасадов.

Благодаря купцам Гадаловым в Красноярске появились первые кинотеатры. Братья Петр Иванович Гадалов и Николай Николаевич Гадалов практически в одно время строят два крупных на тот период здания кинематографа.

В 1908 г. в Красноярск приезжает самарский техник Василий Александрович Поляков, представитель «иностранной кинофирмы» [8, с. 496] для демонстрации кинематографа. Получив большой успех, В.А. Поляков решает открыть в городе собственный кинотеатр. Для этой цели он строит деревянное здание кинотеатра, по проекту архитектора С.Г. Дриженко, на углу Городского сада [8, с. 496]. Однако демонстрация фильмов была возможна только в теплый период, т. к. здание было неотапливаемым. В скором времени В.А. Поляков заключает контракт с П.И. Гадаловым на открытие совместного кинотеатра «Патеграф» в доме купца, где уже имелось паровое отопление и электричество.

В августе 1910 г. П.И. Гадалов подает прошение в Строительное отделение при Губернском управлении о разрешении строительства здания кинематографа при собственном доме на углу ул. Воскресенской (ныне пр. Мира) и пер. Театрального (ныне ул. Кирова). Проект кинотеатра разработал губернский архитектор В.А. Соколовский. В этом же году кинотеатр открывают для зрителя (рис. 12) [12].

В настоящее время в здании располагается старейший кинотеатр в Красноярске «Дом кино». После революции объект подвергался неоднократным реконструкциям, последняя проведена в 1977 г. В результате кинотеатр полностью утратил подлинный облик.

В этот же период возводится здание кинотеатра «Художественный» Н.Н. Гадалова. В городской периодической газете «Енисей» от 1910 г. сообщалось, что проект кинотеатра был заказан в Париже. На доработку проекта был приглашен городской архитектор С.Г. Дриженко [8, с. 496]. Архитектурное решение здания было выполнено в стилистике европейского модерна. Фасады отличались изысканностью и пластичностью форм. Был создан по-настоящему выразительный и запоминающийся образ.

Согласно архивной записи в журнале Красноярской городской управы, в мае 1911 г. строительство «каменного одноэтажного здания кинематографа на 400 человек» было одобрено [13]. В августе 1912 г. на перекрестке ул. Воскресенской (ныне пр. Мира) и пер. Почтамтского (ныне ул. Перенсона) был открыт новый кинотеатр (рис. 13).

К сожалению, здание кинотеатра также несколько раз перестраивалось и практически полностью утратило исторический облик.

В уездном городе Енисейской губернии Ачинске строительство культурно-просветительских учреждений велось менее активно. Наиболее значительными постройками в данной категории являются здания Общественного собрания и кинематографа «Новый» (рис. 14, 15).

Заказчиками здания Общественного собрания выступило одноименное общество. В начале XX в. председателем Ачинского общественного собрания был купец первой гильдии Г.Н. Максимов. В состав собрания входили ачинские купцы и крупные промышленники. В 1912 г. Городская дума безвозмездно уступает Ачинскому общественному собранию место под постройку здания в конце Троицкой улицы. Однако летом 1913 г. от имени Собрания поступает прошение об обмене места для строительства на участок на берегу р. Чулым.

После осмотра заявленного участка представителями Комиссии по благоустройству города и городским головой прошение было удовлетворено [21].

Автором проекта здания Общественного собрания выступил архитектор В.А. Соколовский. Архитектурно-композиционный облик каменного двухэтажного объема был решен в стилистике неоклассицизма. В 1913 г. проект был представлен на утверждение в Строительное отделение Енисейского губернского управления [15]. Строительство шло под авторским надзором архитектора. В декабре 1916 г. состоялось открытие здания Общественного собрания.

Рис. 12. Красноярск. Вход в кинотеатр. 1913 г. [24, д. 3070]

Рис. 13. Кинотеатр «Дом кино» Н.Н. Гадалова в Красноярске. Автор съёмки Л.Ю. Вонаго. 10 ноября 1912 г. [24, д. 10426/200]

Рис. 14. Здание Общественного собрания. 1927 г. [25, д. 2544/11]

Рис. 15. Здание кинотеатра. Первая половина XX в. [25, д. 3525]

В 1925 г. в здании разместился действующий до настоящего времени Ачинский драматический театр. С начала 1950-х гг. на объекте проводилось

несколько реконструкций и ремонтов, в результате первоначальный облик и интерьеры здания были частично изменены. К наиболее существенным перестройкам относятся: возведение дополнительной двухэтажной пристройки, надстройка третьего антресольного этажа.

Бывшее здание Общественного собрания в настоящее время является одним из наиболее крупных общественных построек г. Ачинска начала XX в. и обладает высокой градостроительной ценностью. Постройка располагается на бровке террасы р. Чулым и является значимой для экстерьерного восприятия города. Противоположный фасад объема участвует в формировании панорамы города с реки. Перед зданием расположен исторический сад, что подчеркивает масштабность и увеличивает зону композиционно-видового влияния объекта. Здание является объемным и пластическим акцентом окружения, обладает признаками пространственного ориентира.

Рядом со зданием Общественного собрания располагается кинематограф «Новый». К сожалению, о здании известно мало фактов. По материалам ачинского краеведа М.И. Павленко, здание кинотеатра было открыто в 1912 г. и принадлежало купцу первой гильдии Г.Н. Максимову [22]. Проект здания был разработан архитектором В.А. Соколовским [20]. Архитектурный облик объекта также соответствует формам неоклассицизма, что придает «ансамблевость» данному фрагменту застройки за счет стилистического единства.

В советское время в здании размещался детский кинотеатр «Орленок». В настоящий момент объект не эксплуатируется.

Анализ выявленных культурно-просветительских объектов начала XX в., построенных при участии и на средства представителей купеческого сословия в г. Красноярске и г. Ачинске, подтверждает их значительную пространственно-планировочную роль в формировании архитектурно-градостроительной среды и сохранении историко-культурного ландшафта городов. В настоящее время данные объекты сохраняют свое значение как основные многофункциональные просветительские учреждения, являющиеся ключевыми составляющими культурного каркаса городов. Таким образом, рассмотрев только данную группу зданий, можно подтвердить значительный вклад местных купеческих семейств в формирование исторической ткани городов и архитектурного облика застройки.

Библиографический список

1. *Бойко В.П., Ситникова Е.В.* Сибирское купечество и формирование архитектурного облика г. Томска в XIX – начале XX в. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2008. 180 с.
2. *Архитектура городов Томской губернии и сибирское купечество* (XVII – начало XX века). Томск, Бийск, Барнаул, Кузнецк, Колывань, Камень-на-Оби, Нарым, Мариинск, Новониколаевск / под ред. В.П. Бойко. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. 480 с.
3. *Бойко В.П., Ситникова Е.В., Богданова О.В., Шагов Н.В.* Формирование архитектурного облика городов Западной Сибири в XVII – начале XX в. и местное купечество (Тобольск, Тюмень, Томск, Тара, Омск, Каинск). Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2017. 324 с.
4. *Царев, В.И., Гринберг Ю.И.* Ачинск: градостроительная история / Управление архитектуры и градостроительства исполкома городского Совета Ачинска. Красноярск : Стройиздат, 1992. 120 с.

5. *Быконя Г.Ф., Федорова В.И., Безруких В.А.* Иллюстрированная история Красноярья (XVI – начало XX века). Красноярск : РАСТР, 2012. 240 с.
6. *Туман-Никифорова И.О., Туман-Никифоров А.А.* 170 лет со времени появления первогильдейских купцов в Красноярске // Край наш красноярский: календарь знаменательных и памятных дат на 2005 год. Красноярск : Кларетианум, 2004. С. 165–168.
7. *Сысоева Л.А.* Во славу любезного Отечества. Семья Кузнецовых в истории Красноярска и России. Красноярск : Сибирский печатный двор, 2010. 120 с.
8. *Горбачёв В.Т., Крадин Н.Н., Крадин Н.П., Крушлинский В.И., Степанская Т.М., Царёв В.И.* Градостроительство Сибири / под общ. ред. В.И. Царёва ; Рос. акад. архит. и строит, наук, НИИ теории и истории архит. и градостроит. НИИТИАГ РААСН. Санкт-Петербург : Коло, 2011. 784 с.
9. *Мымликова И.А., Оленцов А.Е.* Формирование профессионального театра в Сибири на примере Красноярского драматического театра им. А.С. Пушкина // Эпоха науки. 2021. № 28. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/formirovanie-professionalnogo-teatra-v-sibiri-na-primere-krasnoyarskogo-dramaticheskogo-teatra-im-a-s-pushkina (дата обращения: 03.02.2022).
10. *Куклинский И.В.* Этапы строительства здания Красноярского городского музея // Баландинские чтения. 2014. № 1. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/etapy-stroitelstva-zdaniya-krasnoyarskogo-gorodskogo-muzeya (дата обращения: 03.02.2022).
11. *Дело об утверждении проекта на строительство Народного дома* в г. Красноярске // Государственный архив Красноярского края (КГКУ). Ф. 595. Оп. 59. Д. 270. 1900–1906 гг.
12. *Дело об утверждении проекта на постройку кинематографа* при доме купца Гадалова в гор. Красноярске // Государственный архив Красноярского края (КГКУ). Ф. 595. Оп. 59. Д. 583.
13. *Дело об утверждении проекта на постройку здания для кинематографа* купцом Гадаловым Николаем Николаевичем // Государственный архив Красноярского края (КГКУ). Ф. 595. Оп. 59. Д. 642.
14. *Дело об утверждении проекта на строительство здания общества попечения* о начальном образовании А.Р. Шнейдера // Государственный архив Красноярского края (КГКУ). Ф. 595. Оп. 59. Д. 789.
15. *Дело об утверждении проекта и сметы на строительство каменного здания* для общественного собрания в г. Ачинске // Государственный архив Красноярского края (КГКУ). Ф. 595. Оп. 59. Д. 809.
16. *Проект по устройству в Красноярске городского музея и библиотеки* // Государственный архив Красноярского края (КГКУ). Ф. 161. Оп. 1. Д. 662.
17. *Дело об учреждении в г. Красноярске общества любителей драматического искусства*, о передаче им городского театра на 5 лет и о ремонте театра // Государственный архив Красноярского края (КГКУ). Ф. 161. Оп. 2. Д. 1385.
18. *Дело о сгоревшем театре* и о постройке вместо него народного дома-театра // Государственный архив Красноярского края (КГКУ). Ф. 161. Оп. 2. Д. 2189.
19. *Постановления и протоколы заседания строительной комиссии* по сооружению здания музея Красноярского подотдела императорского географического общества // Государственный архив Красноярского края (КГКУ). Ф. 565. Оп. 1. Д. 1.
20. *Разная переписка краевого комитета* по вопросам промышленности и сельского хозяйства в крае // Государственный архив Красноярского края (КГКУ). Ф. П-26. Оп. 21. Д. 15.
21. *Дело по ходатайству членов Ачинского общественного собрания* об отводе участка земли под строительство здания для проведения собраний // Архив г. Ачинска (МКУ). Ф. 22. Оп. 1. Д. 71.
22. *Документы об истории образования и деятельности кинематографов* и отделения кинопроката в г. Ачинске (хроника, списки, вырезки из газет) // Архив г. Ачинска (МКУ). Ф. 709. Оп. 1. Д. 532.
23. *Общий фотофонд* // Красноярский краевой краеведческий музей (КГБУК).
24. *Общий фотофонд* // Ачинский краеведческий музей им. Д.С. Каргополова (МБУК).

REFERENCES

1. *Boiko V.P., Sitnikova E.V.* Sibirskoe kupechestvo i formirovanie arkhitekturnogo oblika g. Tomska v XIX–XX vv. [Siberian merchants and Tomsk architecture in the 19th and early 20th centuries] Tomsk: TSUAB, 2008. 180 p. (rus)
2. *Boiko V.P. (Ed.)* Arkhitektura gorodov Tomskoi gubernii i sibirskoe kupechestvo (XVII – nachalo XX veka). Tomsk, Biisk, Barnaul, Kuznetsk, Kolyvan', Kamen'-na-Obi, Narym, Mariinsk, Novonikolaevsk [Architecture of the cities of the Tomsk province and Siberian merchants (17th – early 20th centuries). Tomsk, Biysk, Barnaul, Kuznetsk, Kolyvan, Kamen-on-Ob, Narym, Mariinsk, Novonikolaevsk]. Tomsk: TSUAB, 2011. 480 p. (rus)
3. *Boyko V.P., Sitnikova E.V., Bogdanova O.V., Shagov N.V.* Formirovanie arkhitekturnogo oblika gorodov Zapadnoi Sibiri v XVII – nachale XX v. i mestnoe kupechestvo (Tobol'sk, Tyumen', Tomsk, Tara, Omsk, Kainsk) [Architecture of West Siberian cities in the 19th and early 20th centuries and local merchants (Tobolsk, Tyumen, Tomsk, Tara, Omsk, Kainsk)]. Tomsk: TSUAB, 2017. 324 p. (rus)
4. *Tsarev V.I., Grinberg Yu.I.* Achinsk: gradostroitel'naya istoriya [Achinsk: Urban history]. Krasnoyarsk: Stroyizdat, 1992. 120 p. (rus)
5. *Bykonya G.F., Fedorova V.I., Bezrukikh V.A.* Illyustrirovannaya istoriya Krasnoyar'ya (XVI – nachalo XX veka) [Illustrated history of Krasnoyarsk in the 16th and early 20th century)]. Krasnoyarsk: RASTR, 2012. 240 p. (rus)
6. *Tuman-Nikiforova I.O. Tuman-Nikiforov A.A.* 170 let so vremeni poyavleniya pervogil'deyskikh kuptsov v Krasnoyarske [170th anniversary of the first guild merchants in Krasnoyarsk]. In: Krai nash krasnoyarskii: kalendar' znamenatel'nykh i pamyatnykh dat na 2005 god [Our Krasnoyarsk region: Calendar of significant and memorable dates for 2005]. Krasnoyarsk: Klaretianum, 2004. Pp. 165–168. (rus)
7. *Sysoeva L.A.* Vo slavu lyubeznogo Otechestva. Sem'ya Kuznetsovykh v istorii Krasnoyarskai Rossii [For the glory of our dear Fatherland. The Kuznetsov family in the history of Krasnoyarsk and Russia]. Krasnoyarsk, 2010. 120 p. (rus)
8. *Gorbachev V.T., Kradin H.H., Kradin N.P., Krushlinsky V.I., Stepanskaya T.M., Tsarev V.I. (Ed.)* Gradostroitel'stvo Sibiri [Urban planning of Siberia]. Saint-Petersburg: Kolo, 2011. 784 p. (rus)
9. *Mymlikova I.A., Olentsov A.E.* Formirovaniye professional'nogo teatra v Sibiri na primere Krasnoyarskogo dramaticheskogo teatra im. A.S. Pushkina [Professional theatre in Siberia on the example of Pushkin Drama Theater in the Krasnoyarsk]. *Epokha nauki*. 2021. No. 28. (rus)
10. *Kuklinsky I.V.* Etapy stroitel'stva zdaniya Krasnoyarskogo gorodskogo muzeya [Construction stages of Krasnoyarsk City Museum]. In: Balandinskie chteniya (*Coll. Papers in memory of S.N. Balandin 'Balandin Readings'*). 2014. No. 1. Available: https://cyberleninka.ru/article/n/etapy-stroitelstva-zdaniya-krasnoyarskogo-gorodskogo-muzeya (accessed February 3, 2022). (rus)
11. State Archive of the Krasnoyarsk Krai, Form 595. List 59. P. 270. (rus)
12. State Archive of the Krasnoyarsk Krai, Form 595. List 59. P. 583. (rus)
13. State Archive of the Krasnoyarsk Krai, Form 595. List 59. P. 642. (rus)
14. State Archive of the Krasnoyarsk Krai, Form 595. List 59. P. 789. (rus)
15. State Archive of the Krasnoyarsk Krai, Form 595. List 59. P. 809. (rus)
16. State Archive of the Krasnoyarsk Krai, Form 161. List 1. P. 662. (rus)
17. State Archive of the Krasnoyarsk Krai, Form 161. List 2. P.1382. (rus)
18. State Archive of the Krasnoyarsk Krai, Form 161. List 2. P. 2189. (rus)
19. State Archive of the Krasnoyarsk Krai, Form 656. List 1. P. 1. (rus)
20. State Archive of the Krasnoyarsk Krai, Form R-26. List 21. P. 15. (rus)
21. State Archive of Achinsk, Form 22. List 1. P. 71. (rus)
22. State Archive of Achinsk, Form 709. List 1. P. 532. (rus)
23. General photography archive. Krasnoyarsk Museum of Regional Studies. (rus)
24. General photography archive. Kargopolov Achinsk Museum of Regional Studies. (rus)

Сведения об авторах

Прислонова Дарья Валерьевна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, dasha.prislonova@yandex.ru

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

Authors Details

Darya V. Prislonova Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, dasha.prislonova@yandex.ru

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

УДК 72.01 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-24-38

Е.С. АСТАХОВА,
Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета

СИМВОЛИКА В АРХИТЕКТУРНОМ ФОРМООБРАЗОВАНИИ

Рассматривается архитектурная форма и её составляющие: физическая, художественная, символическая формы. Символизм в архитектуре использовался с древности как способ передачи ассоциативно-образным путем определенной сакральной информации. Символика архитектурной формы традиционно решалась с помощью цифровых и графических символов. Современный мир архитектуры частично использует традиционные приёмы символики, перефразируя их, одновременно предлагая и новые решения. Выявления приёмов, как классических, так и современных, и их сочетания всегда востребованы, т. к. дают архитектору инструменты для работы на наивысшем художественном уровне, который представляет архитектурный символизм.

Цель исследования – выявление приёмов символического уровня проработки архитектурной формы. Результатом исследования является анализ символобразующих приёмов на уровнях цифровой/числовой символики; графических/геометрических символов; концептуально-планировочных и концептуально-пространственных уровней, к которым добавились современные решения применения символики, характеризующиеся использованием ассоциаций, метафор и прямой имитационности, а также света как материала. Все приёмы иллюстрируются как существующими архитектурными объектами, классическими и современными, так и на примере архитектурных конкурсов на тему освоения космоса (Moontopia, Moon Trip).

Символизм архитектурных форм, долго считавшийся прерогативой классической и древней архитектуры, востребован в современности, демонстрируя новый этап своего развития, используя как классические приёмы, так и обретая совершенно новый современный символический язык.

Ключевые слова: архитектура; архитектурная форма; символика; цифровая/числовая символика; графические символы; геометрические символы; концептуально-планировочный и концептуально-пространственный уровни символики; ассоциации; метафоры; имитационность; фрактальность.

Для цитирования: Астахова Е.С. Символика в архитектурном формообразовании // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 24–38.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-24-38

E.S. ASTAKHOVA,
The Academy of Architecture and Arts of Southern Federal University

SYMBOLISM IN ARCHITECTURAL STYLE

The article considers the architectural style and its physical, artistic, symbolic forms. Symbolism in architecture has been used since antiquity as a transmission of certain sacred information. It traditionally utilizes digital and graphic symbols. Modern architecture partially uses both traditional symbolism and new solutions. Classical and modern techniques, their combination are always in demand, as they give an architect the tools to work at the highest artistic level the architectural symbolism represents.

The purpose of this work is to identify methods of elaborating the symbolic level of the architectural style. Research methods include the analysis of symbolic techniques, such as digital/numerical symbols; graphic/geometric symbols; conceptually-planning and conceptual-

© Астахова Е.С., 2022

spatial levels provided with associations, metaphors and direct imitation. All techniques are illustrated by classical and modern architectural objects and architectural competitions on space exploration (Moontopia, Moon Trip).

Symbolism of architectural style considers the prerogative of classical and ancient architecture; it is in demand and demonstrates a new development stage and acquires a modern symbolic language.

Keywords: architecture; architectural style; symbolism; digital/numerical symbolism; graphic symbols; geometric symbols; conceptually-planning and conceptual-spatial levels; association; metaphor; imitation; fractality.

For citation: Astakhova E.S. Simvolika v arkhitekturnom formoobrazovanii [Symbolism in architectural style]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 24–38.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-24-38

Введение

Организация архитектурного пространства определяется как его функциональной целесообразностью, соответствием социальным и технологическим процессам, для которых оно предназначено, так и формообразованием по архитектурно-художественным канонам. В архитектурной форме неразрывно соединены пространство, образ и функция. Любое архитектурное сооружение представляет собой совокупность объёмной и пространственной формы, системы взаимосвязанных пространств и форм. Их художественное взаимодействие является основой архитектурной композиции.

Архитектурная форма (объём и пространство) имеет несколько уровней: физическая форма; художественная форма; символическая (образная) форма; энергетическая форма.

Архитектурная форма (объёмная и пространственная) *как физическая форма* имеет свойства, характеризующие её как размерную категорию. Архитектор работает с величиной, массой, размерами (шириной, высотой и глубиной), геометрическим видом, пропорциональностью, силуэтом. Материал и конструкции на этом уровне работают на подчеркивание качеств физической материальной формы, без лишней пластики, решаемой в контурах конструктивной логики.

Художественность архитектурной формы достигается такими композиционными средствами выразительности, как пластичность, динамичность, масштабность, ритмический строй.

Символическая форма – наиболее сложное средство выразительности, решаемое через ассоциативность геометрической формы. Существует много архитектурных объектов, где символический образ является основополагающим. Это, например, культовые сооружения, мемориальные постройки.

Расшифровка архитектурной формы происходит через восприятие линейных контуров и силуэта. Даже при отсутствии массы заполнения очертания формы сохраняются, если закреплены основные узлы формы: например, пирамида каркасная или объёмная всегда остается пирамидой.

Образно-ассоциативные характеристики простых «вечных» фигур и чисел, графических символов и линий, цвета и света сложились давно и являют-

ся по сути традиционным, широко распространенным приёмом выражения символики. Так, храмы Солнца, Луны, богини земли Весты делались круглой формы. Вертикаль – это знак связи между разными уровнями бытия, пирамида – идея вечности, восхождения к Высшему.

Создание символической формы является наиболее сложным уровнем архитектурного творчества и сложным для понимания, поэтому всегда сопровождается живописными и скульптурными изображениями, поясняющими более простым языком смысл архитектурной формы.

Символика архитектурной формы

Символика архитектурной формы решается на нескольких уровнях:
– цифровая/числовая символика;
– графические/геометрические символы;
– фрактальность как символическое отражение Вселенной;
– концептуально-планировочный уровень;
– концептуально-пространственный уровень;
– ассоциации;
– метафоры;
– имитационность.

Архитектурные объекты могут содержать в себе как единичные, так и несколько приёмов создания символики формы, дополняемых живописными и скульптурными изображениями.

1. **Цифровая/числовая символика.** Числа и цифры имеют древнюю сакральную символику: единица обозначает первоисточник творения, единство, великий Дух; число 2 – дуальность мира и единство противоположностей; число 3 – это триада, символ троицы, союза ума, тела и души. Треугольник – наиболее простой конструктивный элемент, первый стабильный многоугольник, основа плоскости. Число 4 олицетворяет четыре стихии природы: Огонь, Воздух, Земля и Вода. Простое геометрическое тело тетраэдр складывается из 4 треугольников, 4 вершин, являясь основой структуры трехмерного пространства. Число 5 – символ человека, и по Пифагору это четыре первоэлемента: Земля, Воздух, Огонь и Вода, пронизываемые пятым – Эфиром. Это пятиконечная звезда. Число 6 – это уже структурированность и порядок, число созидания, являющееся нам в виде кристаллизованной воды – снежинки. По преданиям, мир был сотворен за 6 дней.

Числа 7, 12 в символизме наиболее распространены. Это 7 ступеней зиккурата, 7 небесных планов, 7 и 12 планет, 12 знаков зодиака, которые спроецировались на наши календари.

Числа могут присутствовать и как пропорции, отношения сторон объёма, отражая символику числа «пи» (π = 3,1415…), «золотого сечения» (φ = 1,618…), лежащих в основе сакральной геометрии Вселенной. Так, в пропорциях пирамиды Хеопса, по исследованиям П. Смита и других ученых, заложено число «пи» – 3,1415 [1].

Числа могут применяться как определенные соответствия ключевым датам и значениям, используя прямое соответствие. Новый храм Воскресения Христова в Кубинке (арх. Д. Смирнов, 2020 г.) отражает своим число-

вым рядом ключевые даты Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. Так, барабан главного купола имеет диаметр 19,45 м, что соответствует году окончания Великой Отечественной войны. 75 м высоты звонницы – это символ 75-летия Победы в 2020 г.

Память о 1418 днях и ночах боевых действий увековечена в высоте малого купола в 14,18 м и галерее «Дорога памяти» длиною в 1418 шагов. 8 окон, диаметр барабана и главного купола – соответственно 8 и 19,45 м и 22,43 м – олицетворяют дату и минуту подписания акта о безоговорочной капитуляции Германии 8 мая 1945 г. (22 ч 43 мин) (рис.1) [2].

а *б*

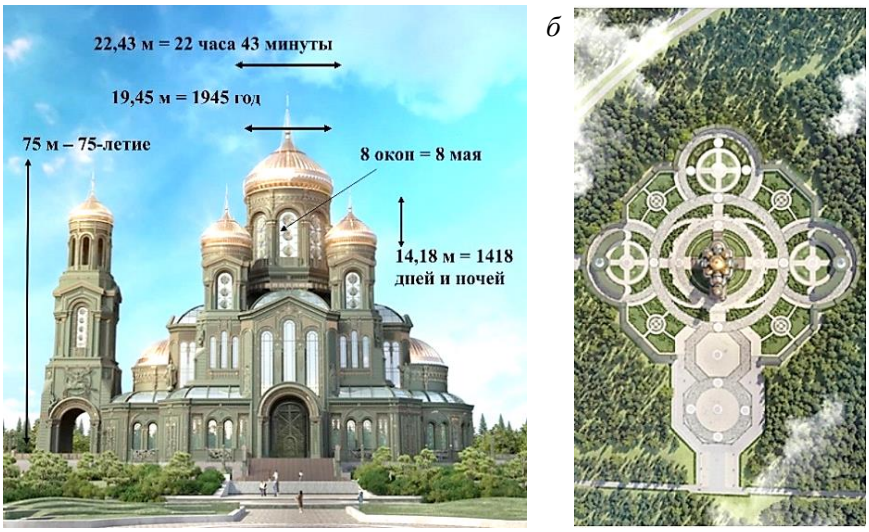


Рис. 1. Числовая символика храма отражает ключевые даты Великой Отечественной войны 1941–1945 гг. (*а*); символ православного креста, читаемый на генплане (*б*)

2. **Графические/геометрические символы.** Графические символы – круг, квадрат, треугольник, звезда, спираль – имеют древнюю символику. Образно-ассоциативные характеристики фигур и линий, простых «вечных» фигур сложились давно и являются по сути традиционными. Храмы Солнца, Луны, богини земли Весты делались круглой формы, остальные были прямоугольными. Интересна символика звёзд. Это и рубиновые звёзды Кремля, и роза ветров, и города-крепости в форме звёзд, которые есть во множестве во всех частях планеты. Это отражение фрактальности природы, её повтор в архитектурных сооружениях и декоре.

Геометрия звезды формируется у снежинок при кристаллизации воды при охлаждении, у песчинок при воздействии звуком разной частоты, причем количество формируемых лучей зависит от частоты звука. Под воздействием вибрации (звука) мельчайшие частички песка на листе стекла начинают выстраиваться в различные узоры с лучевой симметрией, образуя геометрические орнаменты. Изменение частоты звука качественно меняет характер узора и является проявлением фрактальности природы. В физике это явление более известно как фигуры Хладни (рис. 2) [3].

Рис. 2. Природные формы геометрии звезд и их имитация: кристаллик воды-снежинки, крепость-звезда, звук (фигуры Хладни) и узор народного декора

Мощный природный символ нашёл распространение в декоративных узорах практически всех народов. Геометрия звезды несёт в себе мощный энергетический заряд, являясь элементом сакральной геометрии, по паттернам которой Творец строит всё многообразие форм Природы. Не случайно крепости-звёзды были так распространены в древности (рис. 3). Не случайно и использование обережного узора (звёзды, спирали) на народной одежде.

Рис. 3. Земляная звездчатая крепость Св. Анны (станица Старочеркасская Ростовской области) – памятник оборонительного зодчества XVIII в. – единственное фортификационное сооружение, сохранившееся до наших дней на территории страны [4]

Архитектурные сооружения в форме звезды в современности встречаются редко. Центральный театр Российской Армии в Москве (1934–1940 гг., арх. К. Алабян, В. Симбирцев) в плане представляет собой пятиконечную звезду, в центре которой расположена самая большая в Европе сценическая площадка и зрительный зал на 1520 зрительских мест (рис. 4). Лучи пятиконечной звезды указывают направление на крупные транспортные узлы столицы.

Символ 5-конечной звезды используется в прямом значении, как символ звёзд на погонах и звёзды-обереги на стенах Кремля. Кроме символа пятиконечной звезды здесь ещё отсыл к древним звездчатым крепостям, рассыпанным по всей планете, их оборонной мощи.

Пятиконечная звезда – активная геометрическая фигура, несущая мощный энергетический заряд, излучая энергию из своих вершин. Каждая вершина несет заряд природных стихий (Огонь, Воздух, Вода, Земля) и Эфира, обеспечивая мощь символа. Содержит внутри себя как геометрическое «эхо» правильный пятиугольник – пентаграмму (рис. 4).

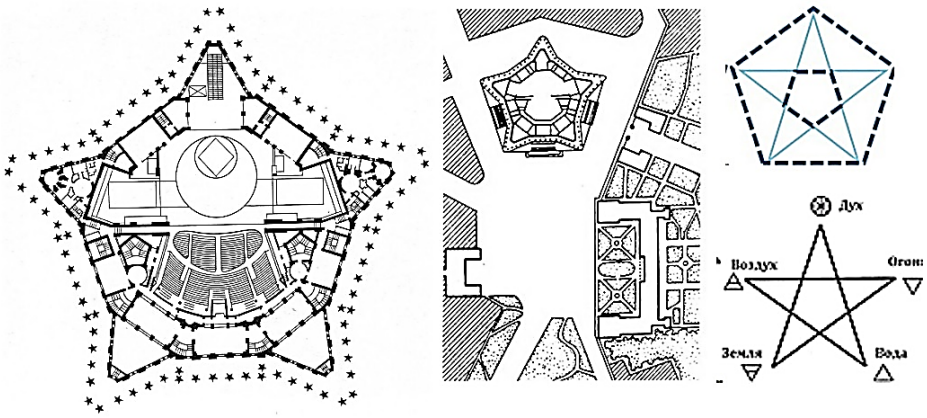


Рис. 4. Театр Российской Армии в Москве, 1934–1940 гг., арх. К. Алабян, В. Симбирцев. Зал на 1520 зрительских мест. Символика в архитектуре

В данной символике запроектирован и Музей Вооруженных Сил РФ – объемная пятиконечная звезда. В Музее будет представлено 740 тыс. экспонатов с разных войн. Во всех вершинах звезды предполагается расположить интерактивные экспозиции, своего рода «театры», посвященные разным историческим и военным событиям (рис. 5) [5].

Рис. 5. Проекты Музея Вооруженных Сил России в Москве [5]

Пентагон (The Pentagon) – символ военной мощи США (1941–1943 гг., арх. George Bergstrom) тоже имеет вид правильного пятиугольника, но иной, не лучевой формы. Это самое большое офисное здание в мире, 26 тыс. человек и 473 805 кв. м офисной площади, в два раза больше, чем у Эмпайр-стейтбилдинг в Нью-Йорке. Здание Пентагона является оптимальным сооружением с точки зрения эргономики: благодаря диагональным коридорам, ведущим через внутренний двор, можно пройти из любой точки здания на свое рабочее место не более чем за семь минут [6].

Диагонали пентагона как геометрической фигуры образуют пентаграмму, при этом при каждом проведении диагоналей внутри фигуры появляется бесконечное число пентагонов – своеобразное геометрическое «эхо». Причем фигура внутри содержит также геометрическое «эхо» пятиконечных звезд.

Пентаграмма – правильный пятиугольник, содержащий внутри себя потенциально большую энергию пятиконечной звезды. Замечательно, что обе фигуры как бы интровертны, дуальны и содержат внутри геометрическое «эхо» себя и друг друга. Неудивительно, что пентагон является элементом додекаэдра – фигурой сакральной геометрии природы – Платоновым телом (рис. 6).

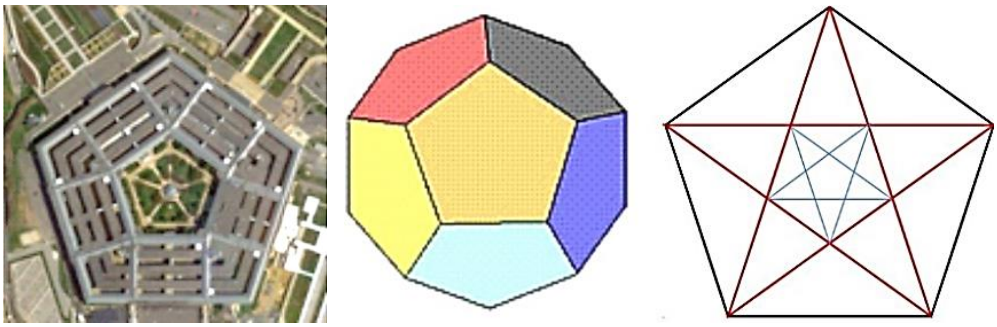


Рис. 6. Пентагон – форма правильного пятиугольника, составная часть додекаэдра. Геометрическое «эхо» пентагона и звезды

Объемные геометрические фигуры повторяют символику своих графических 2-D изображений. Однако есть особые Платоновы тела, грани которых представляют правильные многоугольники, в вершинах каждого многогранника сходится одинаковое количество граней. Из миллиона тел Платон выделил только пять правильных тел: тетраэдр (четырехгранник), гексаэдр/куб (шестигранник), октаэдр (восьмигранник), додекаэдр (12-гранник) и икосаэдр (20-гранник), образующих базовые элементы материи и соотносящихся со стихиями природы: Огонь – Земля – Воздух – Вода – Эфир. «Куб (земля) и октаэдр (воздух) – геометрические дуальности, т. е. один можно построить внутри другого, соединив центры всех граней. Аналогично тетраэдр (огонь) и икосаэдр (вода) строятся внутри друг друга. Получается полная симметрия между парами стихий: земля-воздух и огонь-вода. Додекаэдр – собственный дуал, т. е. эфир может самовоспроизводиться» (рис. 7) [7]. Вершины многогранников излучают энергию, а центры граней ее поглощают. Тетраэдр, имеющий одинаковое число граней и вершин, гармонизирует пространство.

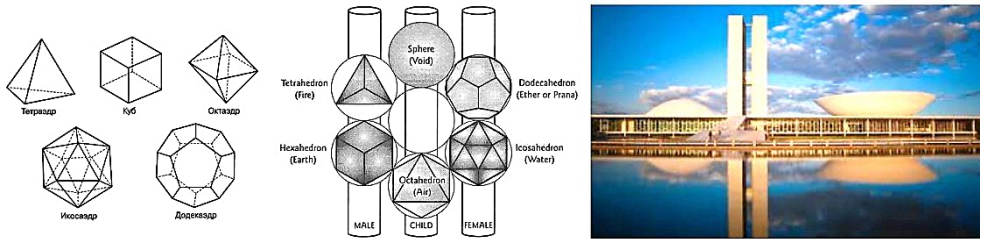


Рис. 7. Платоновы тела – базовые элементы материи, соотносящиеся со стихиями природы: Эфир (Прана), Огонь, Земля, Воздух, Вода [8]. Здание Национального конгресса в Бразилии, арх. О. Нимейер

Нельзя не упомянуть о сфере и круге – символах космоса и Вселенной, полноты творения, это купола соборов, купол Пантеона, полукружье колоннады Бернини. Элементы сфер в современной постройке здания Национального конгресса в Бразилии (1960 г.) Оскара Нимейера символизируют мир и государство, важность, ответственность верховной власти и подотчетность её Вселенной (рис. 7).

Гиперкуб (тессеракт) присутствует в Большой арке Дефанс, соединяясь осью через систему арок с пирамидой Лувра. Ромбокубооктаэдр является акцентным элементом национальной библиотеки в Минске.

Розетки витражей средневековых соборов отражали паттерн Цветка Жизни – символа сакральной геометрии в разном геометрическом усложнении, он повторялся на полу, стенах и превращался в мандалу в геометрическом узоре куполов (рис. 8).

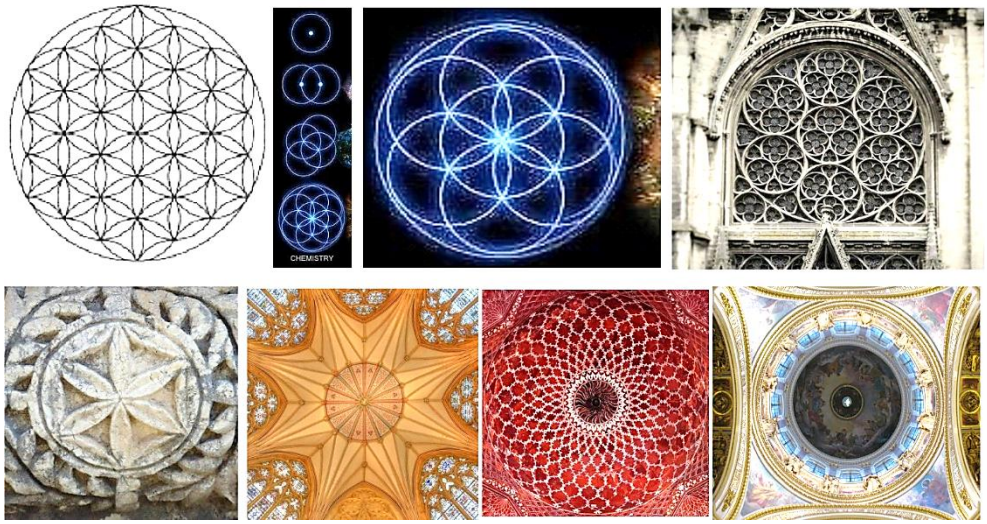


Рис. 8. Цветок Жизни и его отражение в разных геометрических вариантах в декоре розеток окон, стен, рисунков куполов (купол Йоркского готического собора, потолок в мечети Тадж-Махал, купол Исаакиевского собора)

Популярна символика креста как в планах католических и православных храмов, так и в современных постройках. Например, крест отчетливо читается на генплане нового храма Воскресения Христова в Кубинке. В храме Света Тадео Андо в качестве материала использован естественный свет: пробивающийся через тонкие отверстия контур креста в виде света проявляется в интерьере.

3. **Концептуально-планировочный уровень символики.** Концептуально-планировочный уровень опосредован символикой, мифологией, астрономией и воплощён в планировочной структуре здания.

Древние архитектурные сооружения «нанизывались» своей осью на движение солнца и ключевые даты солнцестояний. Храм Амона-Ра в Карнаке (XVI–VII вв. до н. э.) – наиболее характерный пример построения структуры

здания по оси ключевых дат зимнего и летнего солнцестояний. Продольная ось здания ориентирована на заход солнца в день летнего солнцестояния, озаряя всю анфиладу залов лучами солнца до самого святилища. Одновременно эта система работала и на восход в день зимнего солнцестояния (рис. 9) [9, 10].

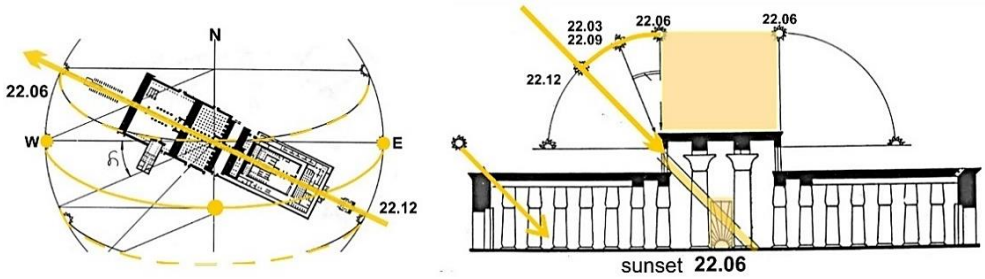


Рис. 9. Построение структуры храма Амона-Ра в Карнаке по ключевым датам солнцестояний

Символика капителей колонн в виде закрытых и открытых лепестков лотоса отражает идею динамики солнечной освещённости по географии движения лучей солнца: акцентирование дня летнего солнцестояния порталом, пропусканием лучей в святилище, разная высота залов и их освещённости как отражение динамики высоты стояния солнца и интенсивности дневного света (рис. 9).

Солнечный план воплощался на архитектурных сооружениях земли, космический план реализовывался проекцией светил. Древние народы рассматривали Землю как отражение «образа» неба, следили за проекцией Солнца на Земле, а также остальных светил и созвездий. То, что древние египтяне знали давно и использовали при строительстве великих пирамид Гизы, современники узнали только в 1994 г. благодаря повторному открытию Р. Бьювела и Э. Джилберта: взаимное расположение пирамид Гизы и реки Нил соответствует расположению звезд в поясе Ориона и Млечного Пути (рис. 10) [10].

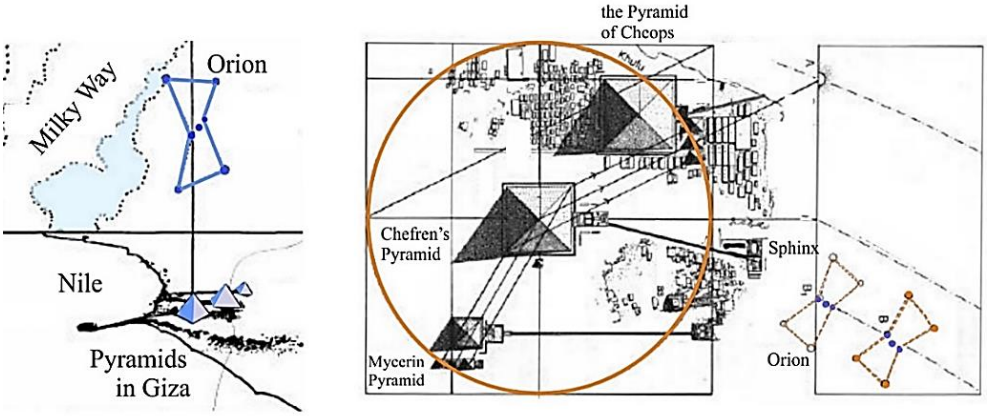


Рис. 10. Соответствие расположения великих египетских пирамид Гизы и расположения звезд в поясе Ориона. Нил – как проекция Млечного Пути [11]

4. **Концептуально-пространственная символика.** Система взаимосвязанных пространств и форм может выражать определенную модель мироздания как земного плана, так и Вселенной. Так построены культовые сооружения, отражая идею храма как мира. Храм в своей объёмно-пространственной структуре символично выражает модель мироздания, принятую в данной конфессии. В православии пространство разделено на нартекс (прообраз ада, мира некрещенных), основной зал (прообраз земного мира) и алтарь (прообраз рая) и проецирует на план символ равностороннего креста – с мощной вертикалью связи с небом. Человек разговаривает с Творцом напрямую, без посредников. Католический храм тоже отражает такую структуру, но в иных пропорциях. В отдельных планах отчетливо прослеживается символ «дерева сефирот» – образ сознания планеты Земля. Связь Человека с творцом здесь не прямая, через посредника – священнослужителя.

Разница католического и православного канонов отражает очень глубокую символику отношения к мирозданию: православный храм имеет центричную крестово-купольную систему с главенством купола, а католический храм – линейный трехнефный с главенством алтаря. В этом ключе сводам и куполам, с их доминирующим положением в архитектурном пространстве, струящемуся сверху свету и росписи Высших планов бытия (Heaven) отводится ключевая роль (рис. 11).

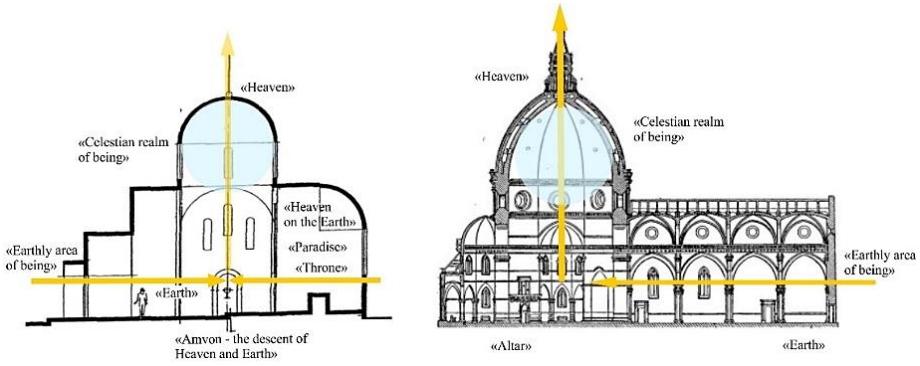


Рис. 11. Разница православной и католической моделей мироздания в символике пространств храмов

Совершенно иная философия у дохристианских храмов, например у Пантеона (Pantheon) – храма всех богов Древнего Рима (126 г. н. э.) с равенством семи главных римских богов – Юпитера, Нептуна, Венеры, Меркурия, Марса, Сатурна и Плутона. Стены разделены на 2 уровня, нижний разбит на 7 равных ниш, соответствующих 7 богам. Эти же 7 богов проецируются на отдельные горизонтальные уровни внутренней поверхности купола, символизируя геоцентрическую систему Птолемея с Землей в центре мира. Последовательность планет времён Архимеда была отличной от современной: Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер, Сатурн.

В объём храма вписывается сфера – символ Земли, диаметр сферы и купола одинаковы и составляют 43,3 м. Солнце движется вокруг Земли, его свет

струится через окулус (oculus) – круглое открытое отверстие в куполе диаметром 9 м, олицетворяя круг времени. Солнце одновременно работает как солнечные часы. Окулус символизирует Солнце, сфера, вписываемая внутри, – Землю вокруг 7 богов. В совокупности с Солнцем и Землёй Пантеон включает число 9, которое повторяется в размере окулуса, а число 7 – семь богов – в высоте двойных бронзовых дверей, открывающих вход в храм (рис. 12). Исследователи упоминают, что ровно в полдень 21 апреля лучи образуют прямой столб света, но эта дата не совпадает ни с одной астрономической датой. В Пантеоне много ещё символики, которая от нас скрыта, что оставляет большие возможности для исследователей.

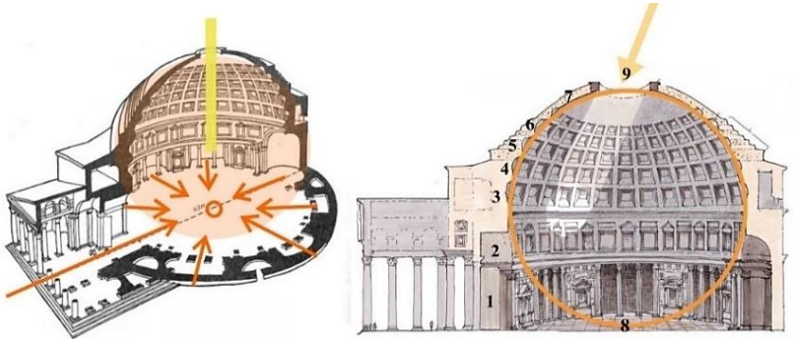


Рис. 12. Пантеон – символ геоцентрической системы Птолемея с Землей в центре мира

5. **Современные приемы символичности архитектуры.** Современные архитектурные решения частично используют традиционные приёмы символики, а также больше ассоциации, метафоры и имитационность. Символическая архитектура сегодня довольно редка и реализована в проектах Дэниэля Либескинда [Daniel Libeskind] и архитектуре, связанной с темой космонавтики.

Архитектурный объем Имперского военного музея Севера, Траффорд, Манчестер (1998–2002 гг.) символизирует собой планету Земля, разбитую в процессе бесконечных войн на 3 части (осколка), собранные здесь воедино. Высокий объём – Воздух акцентирует вход и представляет собой многосветное пространство с летающими орудиями войны – самолёты и пр. Горизонтальный осколок Земли своим криволинейным абрисом имитирует Землюшар и включает в себя выставочное пространство. Объём (осколок) Воды примыкает к воде, где пришвартовано военное судно (рис. 13).

Символика Еврейского музея в Берлине (арх. Daniel Libeskind) становится понятна, когда находишься в интерьере. Диагональные полосы имитируют заклеенные крест-накрест окна, которые делали для того, чтобы во время бомбёжек взрывная волна не выбила окна или, по крайней мере, чтобы уменьшить разлёт осколков. Светлые полосы на черном потолке имитируют свет прожекторов на темном небе, ищущих самолёты военного противника.

Это два разных архитектурных объекта современности, использующие ассоциативность, метафоры, с одной стороны, и прямую имитацию – с другой. Интересно нетрадиционное использование символики, которое само

очень символично в руках мастера деконструктивизма, разрушающего традиционный алгоритм архитектурной формы.

Рис. 13. Символика в работах Д. Либескинда [Daniel Libeskind]. Использование метафор и прямой имитационности в Имперском военном музее Севера (Imperial War Museum North) и Еврейском музее в Берлине (Jewish Museum Berlin)

В современном мире символизм в архитектуре стал востребован в связи с темой космонавтики, в планетариях, обсерваториях, музеях космонавтики и научно-космических центрах. Эпоха освоения космоса началась с 12 апреля 1961 г., когда на корабле «Восток» был совершён первый в мире полёт в космос лётчиком-космонавтом СССР Ю.А. Гагариным. Первый в мире музей истории космонавтики был открыт в 1967 г. в г. Калуге, что тоже очень символично. Калуга – родина К.Э. Циолковского, русского философа и изобретателя, основоположника теоретической космонавтики и идеи использования многоступенчатых ракет для полётов в космос.

Музеи космонавтики используют приём имитации, прямого повтора элементов, связанных с освоением космоса: сферы планет, элементы ракет, самолётов и др. Музей космонавтики в Калуге (арх. Б.Г. Бархин) символизирует прорыв тверди земной взлетающим носом ракеты. Горизонтальные пластины объёма с их массой олицетворяют усилие человечества по преодолению гравитации и мощь рывка в космос (рис. 14).

Рис. 14. Музей космонавтики в Калуге с планетарием, мемориальный музей космонавтики в Москве и выставочный павильон космонавтики на ВДНХ в Москве

Мемориальный музей космонавтики г. Москвы расположен в основании монумента «Покорителям космоса» и использует прямое цитирование взле-

тающей ракеты. Замысел создания музея в основании монумента принадлежал генеральному конструктору С.П. Королеву (рис. 14).

С точки зрения реализации приёмов архитектурной символики интересны международные архитектурные конкурсы на темы освоения космоса. Так, Marstopia, Moontopia были посвящены темам марсианской и лунной колонизации с точки зрения архитектуры и дизайна. В рамках конкурса «Moon Trip/Лунная экскурсия» решалась задача создания научно-исследовательского космического центра, в частности, для детей и подростков, чтобы вдохновить их к изучению и покорению космоса [12].

Фактически все конкурсные работы «Moon Trip» в той или иной мере были представлены в символическом ключе, отражая планеты Солнечной системы, непосредственно Луну, возможные формы земных колоний на планетах, образ космического корабля, от ассоциации до цитирования форм.

Победители конкурса представили MOONTRIP Interactive Space Education Center с необычной архитектурой, в абрис силуэта и форму которого легла траектория движения «Аполлона 11» между Землёй и Луной (рис. 15, 16).

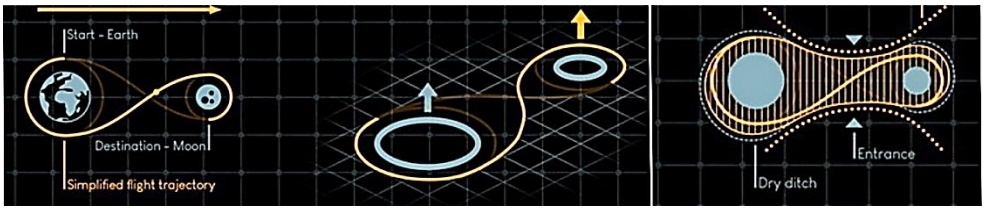


Рис. 15. Траектория движения «Аполлона 11» между Землёй и Луной

Рис. 16. Земля и Луна представлены сферами (*а*) и упрощённая траектория космического аппарата (*б*)

Земля и Луна, представленные сферами, и упрощённая траектория космического аппарата, читаемая контурами в силуэте и в интерьере, стали символической основой для архитектуры.

Заключение

Результатом исследования явились анализ и обобщение классических и современных символобразующих приёмов на уровнях цифровой/числовой символики; графических/геометрических символов; концептуально-планировочных и концептуально-пространственных уровней с использованием ассоциаций, метафор и прямой имитационности, а также света как материала.

Архитектура имеет свой специфический язык, который отнюдь не тождествен языку литературы, музыки, скульптуры, живописи. Архитектура – это система функциональной организации пространства, художественной организации формы и необыкновенно мощной символики, образа. Символическое решение архитектурных форм долго считалось прерогативой прошлого, классической и древней архитектуры. Однако современные архитектурные проекты и постройки демонстрируют новый этап архитектурного символизма, используя как классические приёмы, так и обретая совершенно новый современный символический язык.

Библиографический список

1. *Smyth C.* Piazzi «Our inheritance in the Great Pyramid». London : Isbister, 1874.
2. *Главный храм Вооруженных Сил Российской Федерации*. URL: https:// hram.mil.ru (дата обращения: 09.10.2021).
3. *Фигуры Хладни и квантовый хаос*. URL: https://www.nanonewsnet.ru/articles/2017/figury-khladni-kvantovyi-khaos (дата обращения: 09.10.2021).
4. *Земляная крепость Св. Анны*: как создавалось оборонительное сооружение, которому более 300 лет. URL: https://novate.ru/blogs/270120/53158/ (дата обращения: 09.10.2021).
5. *Новый музей Вооруженных сил*: каким он будет. URL: https://www.vesti.ru/article/2567621 (дата обращения: 09.10.2021).
6. *7 загадочных фактов о пятиугольнике Пентагона*. URL: https://russiahousenews.info/analitika-i-kommentarii/zagadka-fakt-pentagon (дата обращения: 10.10.2021).
7. *Стефен Скиннер*. Священная геометрия. Расшифровывая код // Кладезь-Букс. Москва, 2007. С. 54–55.
8. *Друнвало Мельхиседек*. Древняя тайна Цветка Жизни. Москва : ООО «Издательство “София”», 2009. 592 с.
9. *Ronald L. Reese.* «Midwinter Sunrise at Karnak», in Sky &amp // Telescope. 1992. March. P. 276.
10. *Hawkins G.* Beyond Stonehenge, Arrow Books. Chap. 11 «Aton-Ra». London, 1977. P. 193–218.
11. *Bauval R., Gilbert A.* The Orion Mystery: unlocking the secrets of the Pyramids. 1st American ed., 1994.
12. *Moontrip*. Shortlisted entries out now. URL: https://uni.xyz/competitions/moontrip/entries (дата обращения: 10.10.2021).

References

1. *Smyth C.P.* Our inheritance in the Great Pyramid. London: Isbister, 1874.
2. Glavnyi khram Vooruzhennykh Sil Rossiiskoi Federatsii [The main temple of the Armed Forces of the Russian Federation]. Available: http://hram.mil.ru (accessed October 9, 2021). (rus)
3. Figury Khladni i kvantovyi khaos [Chladni figures and quantum chaos]. Available: www.nanonewsnet.ru/articles/2017/figury-khladni-kvantovyi-khaos (accessed October 9, 2021). (rus)
4. Zemlyanaya krepost' Sv. Anny: kak sozdavalos' oboronitel'noe sooruzhenie, kotoromu bolee 300 let [St. Anne's Land Fortress: How was built a defensive structure of over 300 years old]. Available: https://novate.ru/blogs/270120/53158/ (accessed October 9, 2021). (rus)
5. Novyi muzei Vooruzhennykh sil: kakim on budet [The new Armed Forces museum: The future]. Available: www.vesti.ru/article/2567621 (accessed October 9, 2021). (rus)
6. 7 zagadochnykh faktov o pyatiugol'nike Pentagona [7 mysterious facts about the Pentagon] Available: https://russiahousenews.info/analitika-i-kommentarii/zagadka-fakt-pentagon (accessed October 10, 2021). (rus)
7. *Skinner S.* Svyashchennaya geometriya. Rasshifrovyvaya kod [Sacred geometry: Deciphering the code]. Moscow: Kladez'-Buks, 2007. Pp. 54–55. (transl. from Engl.)

8. *Drunvalo Melchizedek*. Drevnyaya taina Tsvetka Zhizni [The ancient secret of the flower of life]. Moscow: Sofiya, 2009. 592 p. (transl. from Engl.)
9. *Reese R.L.* Midwinter Sunrise at Karnak. Sky & Telescope, 1992. 276 p.
10. *Hawkins G.S., Beyond Stonehenge*. London: Arrow Books, 1977. Pp. 193–218.
11. *Bauval R., Gilbert A.* The Orion Mystery: Unlocking the secrets of the Pyramids. 1st American ed., 1994.
12. *Moontrip*. Shortlisted entries out now. Available: https://uni.xyz/competitions/moontrip/entries (accessed October 10, 2021).

Сведения об авторах

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

Authors Detalis

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

УДК 728.03(571.15) DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-39-50

Э.В. ЧЕНЧУЛАЕВА, И.В. КУЛИКОВА,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

ТИПОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТРАДИЦИОННОГО ЖИЛИЩА НАРОДОВ АЛТАЯ

Степная культура очень разнообразна и красива. Существует мнение, что странники (кочевники) не имеют собственной культуры, искусства или архитектуры. Это не совсем так. С древних времен степная культура передается из поколения в поколение, сохраняя свои традиционные корни и обогащаясь новыми тенденциями. В последнее время Республика Алтай привлекает большое количество туристов. А что важно туристам? Прежде всего – уютное место для ночлега и отдыха. Таким местом становятся алтайские традиционные жилища: аилы, юрты и чадыры.

Появляется задача сохранения традиций возведения подобных строений. Она выражается не только в использовании традиционных элементов, но и в философии архитектурной формы и образа. В XXI в. в период глобализации у коренных малочисленных народов, которые идут по пути сохранения развития своей культуры, стоит проблема передачи национальных и региональных особенностей новому поколению. К таковым относится тюркский коренной народ – алтайцы, которые проживают в Республике Алтай.

Ключевые слова: народы Алтая; традиционные жилища; алтайцы; юрта; аил; чадыр; типология жилищ; конусообразный; цилиндрический; многоугольный.

Для цитирования: Ченчулаева Э.В., Куликова И.В. Типологические особенности традиционного жилища народов Алтая // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 39–50.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-39-50

E.V. CHENCHULAEVA, I.V. KULIKOVA,
Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering

TYPOLOGY OF ALTAI TRADITIONAL HOUSES

The steppe culture is very diverse and beautiful. There is an opinion that wanderers (nomads) have no culture, art or architecture of their own. This is not entirely true. Since ancient times, the steppe culture has developed from generation to generation, preserving its traditional roots and enriching itself with new trends. Recently, the Altai Republic has attracted a large number of tourists. What is important for tourists? First of all, a cozy place to sleep and rest. Altai traditional houses, namely ails, yurts and chadyrs are such places. It is thus important to preserve the traditional houses of Altai. It not only the use of traditional elements, but also the architectural philosophy. In the 21st century, small traditional peoples involved in the development of their culture, face the problem of preserving and transferring national and regional specificity to a new generation. These include the Turkic indigenous people, who live in the Altai Republic.

Keywords: Altai peoples; traditional house; Altaians; yurt; ail; chadyr; typology; cone-shaped; cylindrical; polygonal.

For citation: Chenchulaeva E.V., Kulikova I.V. Tipologicheskie osobennosti traditsionnogo zhilishcha narodov Altaya [Typology of Altai traditional houses].

© Ченчулаева Э.В., Куликова И.В., 2022

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 39–50.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-39-50.

Архитектурное наследие степи на сегодня остается недостаточно изученным. Поскольку алтайцы издревле селились в разных местах, от предгорий до высоких гор, география расселения и местонахождения оставшихся построек и артефактов довольно обширна. Народы и племена, тысячелетиями проживавшие на территории Горного Алтая, имеют свои традиции, образ жизни и быт, философию, которые передаются от старших к младшим. Исследования до середины XX в. содержат выводы, что степные народы не имели собственной культуры, искусства и архитектуры, а были странниками. Исходя из источников, степная культура существует с древних времен, и многие культурные традиции в искусстве и архитектуре сохранились до наших дней. Примером может служить Пазырыкская культура железного века в Горном Алтае, в Казахстане и Монголии [11].

Основным жилищем степных народов являлась юрта или аил, в конструкциях которых использовались войлок или кора дерева. Затем с течением времени материалы и конструкции усовершенствовались.

Юрта и аил – жилище у алтайцев, которое появилось тысячи лет назад, привлекает актуальностью в данный момент. В настоящее время возникает интерес к конструкциям и сооружениям, связанным с мобильностью, малым весом, компактностью, интересной формой, всесезонностью и стандартизированностью элементов. Все это в грамотном сочетании с малой стоимостью может сделать данное жилище конкурентным и желанным на строительном рынке легких сооружений. По установке и сборке конструкция жилища достаточно легка и проста. При ее возведении не требуется большого числа высококвалифицированных строителей, но нужен тот, кто понимает быт и традиции народов Алтая. Многие фирмы из России, Казахстана, Монголии, Китая, Европы и США изучают, усовершенствуют, производят и занимаются эксплуатацией юрт [3–7].

Юрта и аил – это не единственный тип жилища алтайского народа. В VI–III вв. до н. э. в раскопках археологических данных, проведенных в Пазырыкской долине, в Улаганском районе Республики Алтай, находили постройки деревянных домов, бревенчатых землянок, хижин и шалашей конических типов, которые были построены без гвоздей. Слово «гертне» с тюркского переводится как «рубить насечку» [12], что в конструкции жилищ обозначает способ соединения бревен на углу сооружения [5].

Кроме деревянных сооружений находили лёгкие сборные по конструкции юрты, или «канат аил», из войлока, таким образом они были удобны при транспортировке для степных народов Алтая [Там же].

Жилища разных типов, которые сохранились до наших дней, предстают перед нами с уникальными и конструктивными решениями. Цель данного исследования – привести к определенным типологическим рядам традиционные постройки алтайцев [10].

Исходя из того, как обозначали алтайцев и в какой период они появились на картах, можно выявить, что их расположение зависело от того, к какому народу их относили, т. к. первопроходцы периодически указывали алтайцев другими народами. Но со временем, с помощью миссионеров, ученых и исследователей, народ Алтая утвердил свою позицию и на картах появился как алтайцы.

Появление алтайских народов на картах России

В 1667 г. при составлении карты Сибири тобольским воеводой Петром Ивановичем Годуновым впервые появилось в указаниях оз. Телецкое. По велению царя Алексея Михайловича воевода при составлении карты указал проживающие народы вокруг озера. Ими оказались «саянцы», «киргизы» и «аблаевы». Также на карте было указано оз. Байкал, но его размеры были меньше Телецкого озера. В тот момент карта была оформлена перевернутой, север находился внизу карты (рис. 1) [15].

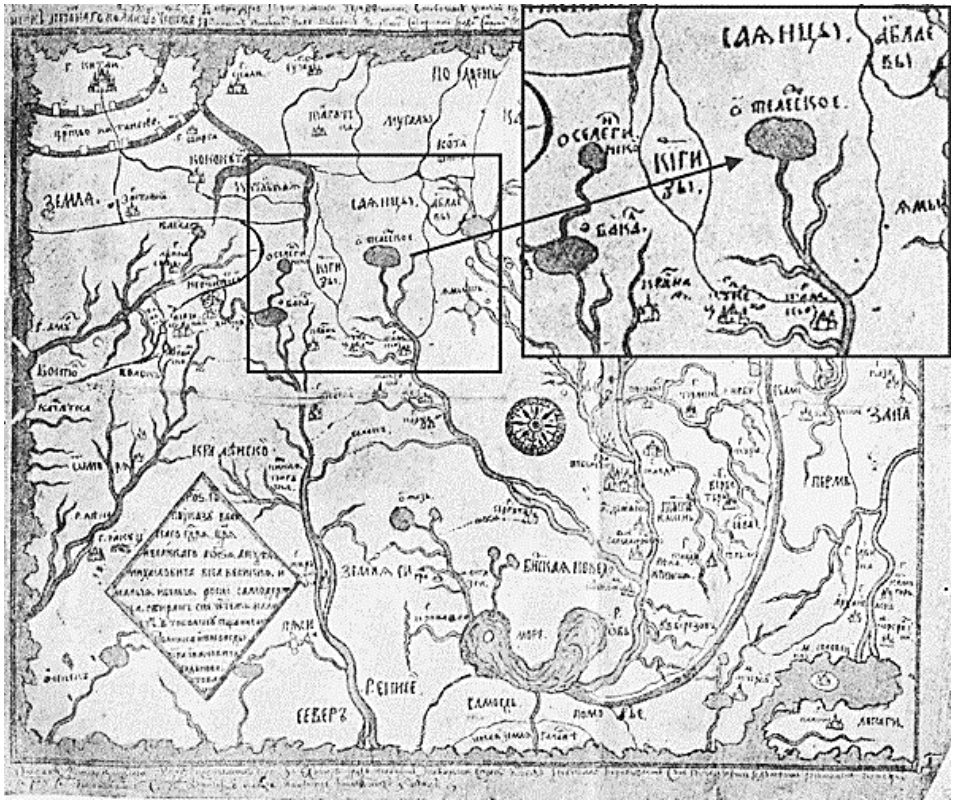


Рис. 1. Карта Сибири 1667 г., составленная воеводой Петром Ивановичем Годуновым (Атлас Азиатской России, 1914 г.)

Далее в 1698 г. карту Сибири обновил Семен Ульянович Ремезов. Тогда впервые на карте упоминалась главная алтайская река Катунь (Катуня). Алтайский народ обозначался на картах как «киргизы», «капагайцы», «саянцы» и др. (рис. 2) [Там же].

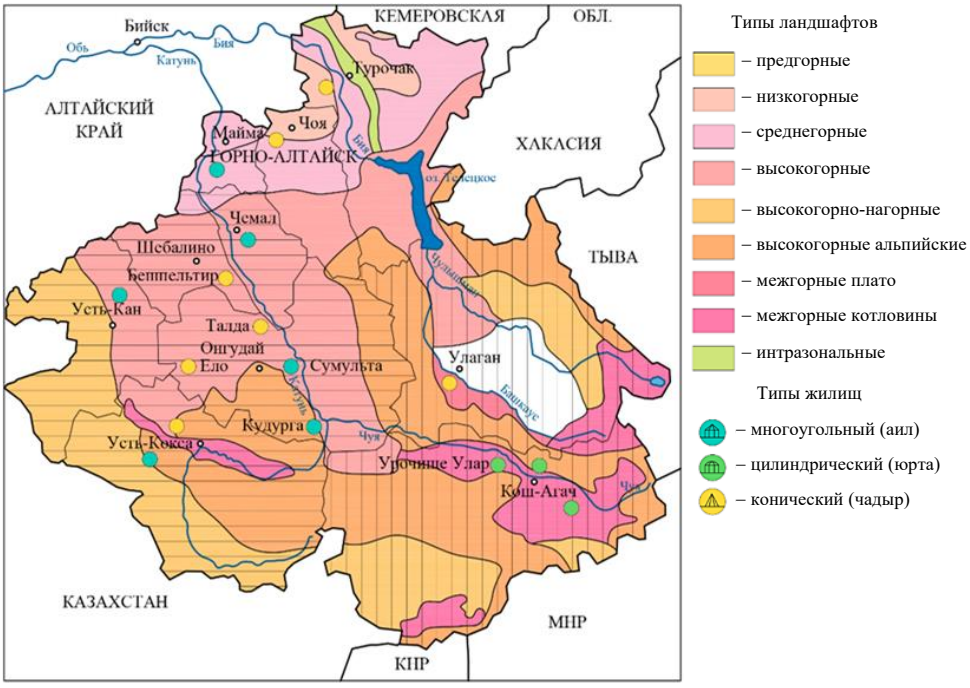
Рис. 2. Карта Сибири 1698 г. (Ремезов С.У. Чертежная книга Сибири). Фото И. Степанова (URL: https://www.flickr.com/photos/132527901@N07/20325400881/in/album-72157656827164281/)

Но несмотря на то, что на картах указывался единый народ «алтайцы», выделяют две различные по происхождению этнографические группы: северные и южные алтайцы. Эти группы исторически имели различия: по языку, культуре и быту, а также по антропологии. Данные расхождения со временем утвердились к середине XX в. [14].

Алтайский народ разделился в 1991 г. и обозначился территориально на карте России таким образом: Республика Алтай и Алтайский край (Сибирский федеральный округ) (рис. 3).

Выделен этнографический состав народа: северные алтайцы – кумандинцы, челканцы и тубалары и южные алтайцы – теленгиты, телесы и алтай-кижи. На карте можно рассмотреть, как в процессе ландшафтного районирования расселились племена алтайцев по Республике Алтай. Расселение по территории накладывало отпечаток на их быт и тип жилища (рис. 4) [12].

Рис. 3. Расположение Алтайского края и Республики Алтай в границах России



Расселение этнических групп южных алтайцев

– территория расселения алтай-кижи (Онгудайский, Усть-Канский, Усть-Коксинский, Шебалинский, Чемальский район Республики Алтай)

– территория расселения теленгитов (Кош-Агачинский, Улаганский район Республики Алтай)

Рис. 4. Карта Республики Алтай. Ландшафтное зонирование. Расселение этнических групп. Расположение типов юрт. Составитель Э.В. Ченчулаева

В.И. Вербицкий, этнограф и миссионер, в своих наблюдениях описывал жизнь и быт алтайцев, их внешность: «Господствующій типъ алтайскихъ инородцевъ: средній ростъ, сухопарость, лице плоское, лобъ низкій, скулы выдались, волосы и брови, какъ смоль, черные, жесткіе, какъ конская грива, глаза унырнули подълобъ, носъ безъ переносицы…»[1] Также он исследовал происхождение алтайцев и их разделение на племена, уже тогда он видел разницу между северными и южными алтайцами [8], которых имеет смысл рассматривать по отдельности.

Типы жилищ у южных алтайцев

Южные алтайцы – народ, проживающий на юге Республики Алтай, подразделяется на маленькие известные группы народов: теленгиты, телесы и алтай-кижи. Из-за особенностей рельефа мест проживания они занимались скотоводческой деятельностью, перегоняя скот с одного пастбища на другое, в большинстве случаев вели кочевой образ жизни, выстраивая временные жилища, чаще сборно-разборные и погодоустойчивые аилы (рис. 4) [14].

Кочевой образ жизни для южных алтайцев дал основу формирования своего быта. Чтобы пастбища не истощались, им каждый сезон нужно было перекочевывать из старого на новое, более благоприятное место. Обычно поселения устраивались рядом с водой (рекой, источником, озером), местностью, богатой растительностью. Расстояния между такими поселениями было около 5 км в целях несмешиваемости скота одного стада с другим и эффективности выпаса. Переезд из одного места в другое в зимнее время у алтайцев назывался «*кышту*[2]», а летнее – «*јайлу*[3]» [Там же].

Основным видом жилищ в начале XX в. у южных алтайцев оставались аилы и юрты. На алтайском языке слово *аил*[4] имеет значение «жилище». А слово «юрта» – войлочный аил, образованный от тюркского слова *јурт,*[5] переводится на русский язык как «место, где проживает семья, ее поселение» [9].

В своей работе Н.М. Яндринцев, описывая жизнь и быт южных алтайцев[6], отмечал наличие у них юрт и аилов, что типично для кочующих племен, не находя у них деревянных постоянных домов на тот период, в отличие от северных алтайцев (по трудам Н.М. Ядринцева), живущих «в лесах и селениях» оседло и имеющих дома. И по отношению к ним не употребляется слово «кочуют». Это важное замечание, оно указывает на существенные различия в культурно-бытовом укладе южных и северных племён Алтая.

Алтайскими народами интересовались многие исследователи. Первым, кто начал документировать культуру, был миссионер В.И. Вербицкий. Он описал быт и культуру в сборнике «Алтайские инородцы». Исследователь В.В. Радлов, путешествуя по Алтаю, пытался дать свою классификацию жилищ южных алтайцев. Также большой вклад в классификацию жилищ внесли

---

[1] Вербицкий В.И. Алтайские инородцы. Москва, 1893. С. 9.
[2] *кышту* (алтай.) – зимовка.
[3] *јайлу* (алтай.) – летнее стойбище.
[4] *аил* (алтай.) – отдельное жилище.
[5] *јурт* (алтай.) – село, поселение.
[6] Ядринцев Н.М. Сибирские инородцы. Санкт-Петербург, 1891. 308 с.

исследовательские работы Н. Кострова, А. Горохова, Е.А. Луценко, М. Соболева, Н. Харузина. Кроме этого, был неизвестный автор «Очерков Томского Алтая» – А.Р.

На основе работ вышеперечисленных авторов можно установить два основных типа первоначальных жилищ южных алтайцев, которые различались по форме и по сборке конструкции: первая – коническая, конусообразная форма, которая покрывалась разными материалами, у алтай-кижи – береза, у теленгитов – береста и войлок. Вторая форма – цилиндрическая из решетчатых элементов, которая сверху покрывалась войлоком (рис. 5) [13, 14].

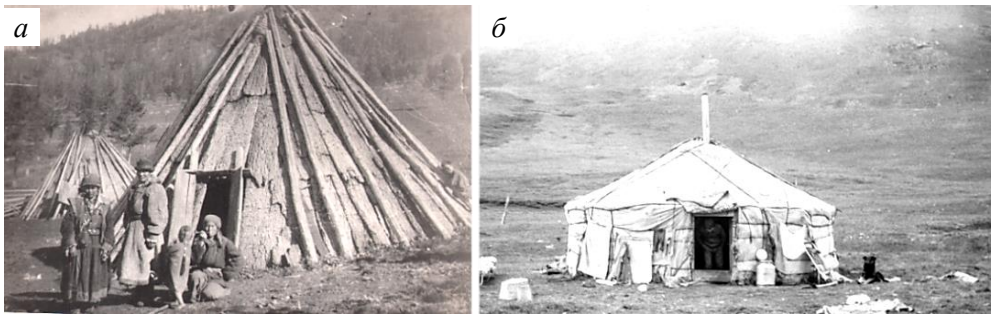


Рис. 5. Типы жилищ южных алтайцев:
а – конический тип (чадыр) – аил алтайцев в 1910-е гг. (материалы Национального музея имени А.В. Анохина); *б* – цилиндрический тип (юрта) (автор А. Волков. URL: https://wolfgrel.ru/altaj-kochevoj-byt/)

В своих работах В. Радлов и М. Соболев указывали на первые постройки деревянной многоугольной юрты с конусообразной кровлей. В их указаниях не было конкретики в размерах и в функциональном зонировании жилища, а также объяснений традиционных и обрядовых замыслов этих построек [13].

Из современных исследователей, которые затрагивали тему типологии жилища алтайцев, были Н.В. Морозова и С.А. Хабарова [1, 2]. О. Ильина в своей книге «История зодчества Горного Алтая» показывает уже более точную классификацию традиционных жилищ народов Алтая: с указанием размеров, расположения внутреннего инвентаря [10].

Таким образом, исходя из многих работ исследователей, можно провести типологию жилищ у южных алтайцев к началу XX в., где выделяется три типа жилища: 1) конический; 2) цилиндрический; 3) многоугольный.

Конический тип. Форма строения в виде конуса имеет общие черты с другими видами строений народов Сибири (чумы). Среди субэтнических групп конусообразная форма жилища отличается материалом и названием: у алтай-кижи – *чадыр* (*алтай.*) (шатер, палатка), *шанда* (*алтай.*) (покрытая корой дерева*), содон* (*алтай.*) (островерхая); у теленгитов – *аланчык* (*алтай.*) (покрытая войлоком или корой березы). В употреблении слов в наше время сохранились названия *чадыр* – у алтайцев и *аланчык* – у теленгитов. Конструкция и вид жилищ этих групп сохранились и по сей день и не потеряли своей оригинальности (рис. 6) [14].

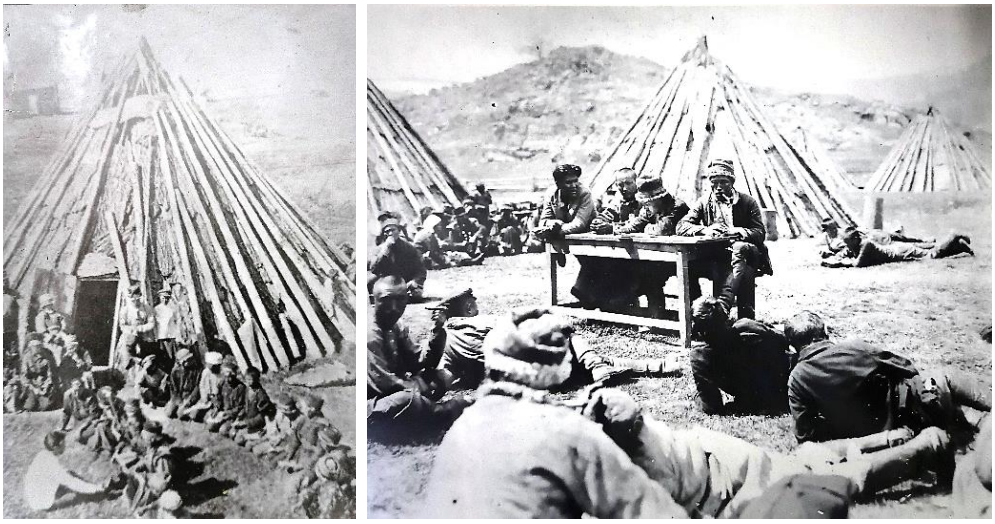


Рис. 6. Конический тип (чадыр). Ликвидация неграмотности в с. Кулада 1932 г. (архив Куладинского краеведческого музея)

Цилиндрический тип. Цилиндрическая форма жилища (юрта) чаще собирается из решетчатого каркаса и покрывается войлоком. Она имеет общую форму и конструкцию с монгольскими и тувинскими юртами. В Республике Алтай войлочные юрты сохранились в Кош-Агачском районе у народа теленгитов. Они возводят сооружение в летнее время как временное жилище. В зимнее время они живут в деревянных строениях. Цилиндрический тип жилищ у субэтнических групп имеет свои названия: у теленгитов – *оон айл*[7] *и какур айл*[8]; у алтай-кижи – *кереге* или *керене*[9] *кийис айл* (рис. 7) [14].

Рис. 7. Цилиндрический тип (юрта). Природный парк «Уч-Энмек». Фото Э.В. Ченчулаевой, 2021 г.

[7] *оон айл* (алтай.) – войлочная юрта у теленгитов без дымового круга и крестовины.
[8] *какур айл* (алтай.) – войлочная юрта у теленгитов без решетчатых звеньев, устанавливаемая из шестов.
[9] *кереге* или *керене* (алтай.) – войлочная юрта у алтайцев.

Многоугольный тип. Многоугольная форма строения имеет разные названия у субэтнических групп южных народов: у теленгитов – *черте айл*[10], у алатай-кижи – *чеден*[11] *и агаш айл*[12]. По форме эти жилища строили четырехугольными, пятиугольными, шестиугольными, встречались и семиугольные.

Первые фиксации многоугольных жилищ были сделаны В.В. Радловым. Тогда он впервые описал и приложил рисунок многоугольной юрты. Строительство рубленого жилища, в отличие от конусообразного и цилиндрического, было делом трудным. По данным Радлова, такие многоугольные постройки были зафиксированы по всей территории Республики Алтай, кроме районов Курайской и Чуйской степи. Для таких сооружений уже требовались знания по насечке и рубке бруса. Возможно, тонкости по плотническому ремеслу передали русские переселенцы [14].

Многоугольные формы наряду с конусообразными широко использовались как теленгитами (по рекам Челушман и Башкаус), так и алтай-кижи (повсеместно). Аилы этого типа обычно были шести- и восьмиугольными, реже пяти- и девятиугольными. И ныне иногда можно встретить такую форму строения, особенно у семей, где есть лица пожилого возраста, которые живут там в летнее время (рис. 8) [14].

Рис. 8. Многоугольный тип (аил). Природный парк «Уч-Энмек». Фото Э.В. Ченчулаевой, 2021 г.

В результате исследования можно отследить, в каких местах преобладал тот или иной тип жилищ в Республике Алтай в период с конца XIX по начало XX в. (см. рис. 4).

Типы жилищ у северных алтайцев

Жизненный быт у северных алтайцев сформировался иначе, в противоположность своим южным соседям. Северные алтайцы, в свою очередь, из-за особенности территориального расположения занимались охотой, скотоводством и земледелием, собирательством ягод и кедрового ореха. Охота, являв-

[10] *черте айл* (алтай.) – рубленная, многоугольная юрта у теленгитов.
[11] *чеден* (алтай.) – городьба; многоугольная юрта у алтайцев.
[12] *агаш айл* (алтай.) – деревянная, многоугольная юрта у алтайцев.

шаяся основой их способа пропитания, диктовала существование охотничьих коллективов. Таким образом, собирались первые общинные группы с совместным проживанием охотников и их семей на одном месте [14].

Северные алтайцы – кумандинцы, челканцы и тубалары – в XIX в. возводили жилища постоянные и непереносные, им не требовалось кочевать, как южным алтайцам. Проживали на территории Алтайского края и севера Республики Алтай (см. рис. 4).

У субэтнических групп кумандинцев и челканцев можно выделить два типа жилищ: 1) бревенчатый сруб и 2) двухскатный остов. Жилище представляло собой накат жердей, который покрывали землей или корой березы – *кара тос*[13]. Конусообразной или войлочной юрты у кумандинцев и челканцев исследователи не отмечали [Там же].

А вот у субэтнических групп тубаларов, наоборот, отмечали конусообразную форму. У тубаларов можно отметить два типа построек: 1) четырехугольная бревенчатая, покрытая корой березы; 2) конусообразная форма – *соолто*[14]. Со временем у них фиксировали многоугольные жилища, состоящие из пяти углов (рис. 9) [Там же].

Рис. 9. Типы жилищ северных алтайцев (архив Национального музея им. А.В. Анохина): *а* – двухскатный тип; *б* – четырехугольный бревенчатый тип (переходный тип от аила к избе), четырехгранная форма в с. Кудурга; *в* – конусообразный тип (чадыр), бревенчатый тип (справа)

Кроме главного назначения функции жилища, оно служит также местом для проведения традиционных обрядов. У кумандинцев и челканцев есть обычай возводить свадебное жилище для невесты, которое после окончания свадьбы разбиралось. В его конструкциях особых различий нет, но называлось оно у народов по-разному: *шалык-одог*[15] (кум.) и *селте*[16] (челк.) [Там же]. Такая традиция существует как у алтайцев (северных и южных), так и у других тюркских народов.

Заключение

Таким образом, юрта, аил и чадыр – традиционные алтайские сооружения – являются основным объектом национальной культуры, поэтому их образ, форма и конструктивные элементы применяются архитекторами для со-

[13] *кара тос* (алтай.) – кора березы.
[14] *соолто* (алтай.) – конусообразная юрта у тубаларов.
[15] *шалык-одог* (алтай.) – свадебное жилище у кумандинцев.
[16] *селте* (алтай.) – свадебное жилище у челканцев.

здания туристических объектов и комплексов. Чтобы это передавалось и строилось правильно, надо помнить о традициях алтайского народа.

Существует мнение, что Алтай – это один большой народ, но он имеет свои разделения на северных и южных алтайцев, которые отличаются друг от друга диалектом речи, культурой быта, традициями, одеждой, внешностью и в итоге самым важным для данного исследования – типом жилья.

История и традиционные аспекты строительства юрты, аила и чадыра играют огромную роль в понимании и обучении молодых архитекторов и строителей. Важно сохранить алтайскую архитектуру с традиционными особенностями. Национальная архитектура могла бы дать новую жизнь и взгляд на жилища Республики Алтай и сделать их облик уникальным.

Библиографический список

1. *Морозова Н.В.* Использование традиций народной архитектуры при проектировании рекреационных комплексов в Горном Алтае // Ползуновский вестник. 2011. № 1. С. 285–290.
2. *Хабарова С.А., Герасимов А.П.* Национальные особенности архитектуры народов Горного Алтая // Избранные доклады 64-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск, 2018. С. 583–595.
3. *Тентиев Ж.* Юрта – священный храм кочевой цивилизации // Вестник КРСУ. 2018. Т. 18. № 10. С. 23–25.
4. *Байыр-оол М.С.* Юрта в тувинской традиционной культуре // Новые исследования Тувы : электронный информационный журнал. 2013. № 2. С. 67–79.
5. *Malibekuly Zh., Semenyuk O., Dyisebayev U., Kuc S.* Architecture of the yurt and its impact on teaching young architects // World Transactions on Engineering and Technology Education. 2020. № 2 (18). P. 226–230.
6. *Guoqiang Xu, Hong Jin, Jian Kang*. Experimental Study on the Indoor Thermo-Hygrometric Conditionsof the Mongolian Yurt // Sustainability. 2019. № 11 (3), 687.
7. *Вербицкий В.И.* Алтайские инородцы. Москва, 1893. 221 с.
8. *Древнетюркский словарь* / под ред. В.М. Наделяева [и др.] ; АН СССР. Институт языкознания. Ленинград : Наука. Ленинградское отделение, 1969. XXXVIII. 676 с.
9. *Ильина О.П.* Истоки зодчества Горного Алтая. Горно-Алтайск : ОАО «Горно-Алтайская типография», 2012. 111 с. ISBN 978-5-93809-032-3.
10. *Кызлясов И.Л.* Пратюркские жилища. Обследования саяно-алтайских древностей / Российская акад. наук, Институт археологии, Самарский обл. историко-краеведческий музей им. П.В. Алабина. Москва ; Самара, 2005. 96 с. ISBIN 5-94375-039-8.
11. *Потапов Л.П.* Очерки по истории алтайцев / Академия наук СССР, Институт этнографии им. Миклухо-Маклая. Москва ; Ленинград, 1953. 444 с.
12. *Радлов В.В.* Образцы народной литературы тюркских племен, живущих в Южной Сибири и Дзунгарской степи. Ч. 1. Поднаречия Алтая: алтайцев, телеутов, черновых и лебединских татар, шорцев и саянцев. Санкт-Петербург : Типография Императорской Академии наук, 1866. 453 с.
13. *Тощакова Е.М.* Традиционные черты народной культуры алтайцев (XIX – начало XX в.) // АН СССР. Сибирское отделение. Институт истории, филологии и философии. Новосибирск : Наука, 1978. 157 с.
14. *Горный Алтай на первых русских картах*. URL: https://www.gorno-altaisk.info/news/86164

References

1. *Morozova N.V.* Ispol'zovanie traditsiy narodnoy arkhitektury pri proektirovanii rekreatsionnykh kompleksov v Gornom Altae [Traditions of folk architecture of recreational complexes in the Altai Mountains]. *Polzunovskiy vestnik*. 2011. No. 1. Pp. 285–290. (rus)

2. *Khabarova S.A., Gerasimov A.P.* Natsional'nye osobennosti arkhitektury narodov Gornogo Altaya [National features of the architecture of the peoples of the Altai Mountains]. Izbrannye doklady 64-y universitetskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh Tomsk (*Selected Papers 64th Sci. Conf. of Students and Young Scientists*). 2018. Pp. 583–595. (rus)
3. *Tentiev Zh.* Yurta – svyashchennyy khram kochevoy tsivilizatsii [Yurt – a sacred temple of nomadic civilization]. *Vestnik KRSU*. 2018. V. 18. No. 10. Pp. 23–25. (rus)
4. *Bayyr-ool M.S.* Yurta v tuvinskoy traditsionnoy kul'ture [Yurt in the Tuvan traditional culture]. *Novye issledovaniya Tuvy*. 2013. No. 2. Pp. 67–79. (rus)
5. *Malibekuly Zh., Semenyuk O., Dyisebayev U., Kuc S.* Architecture of the yurt and its impact on teaching young architects. *World Transactions on Engineering and Technology Education*. 2020. No. 2 (18). Pp. 226–230.
6. *Guoqiang Xu, Hong Jin, Jian Kang*. Experimental study on the indoor thermo-hygrometric conditions of the Mongolian Yurt. *Sustainability*. 2019. No. 11 (3). P. 687.
7. *Verbitskiy V.I.* Altayskie inorodtsy [Altaic foreigners]. Moscow, 1893. 221 p. (rus)
8. *Nadelyaev V.M. (Ed.), et al.* Drevnetyurkskiy slovar' [Ancient Turkic Dictionary]. Leningrad: Nauka, 1969. 676 p. (rus)
9. *Il'ina O.P.* Istoki zodchestva Gornogo Altaya [The origins of the architecture of the Altai Mountains]. Gorno-Altaisk, 2012. 111 p. (rus)
10. *Kyzlyasov I.L.* Pratyurskie zhilishcha. Obsledovaniya sayano-altayskikh drevnostey [Pratyur houses. Surveys of Sayan-Altaic antiquities]. Moscow: Samara, 2005. 96 p. (rus)
11. *Potapov L.P.* Ocherki po istorii altaytsev [Essays on the history of the Altai people]. Moscow: Leningrad, 1953. 444 p. (rus)
12. *Radlov V.V.* Obraztsy narodnoy literatury tyurkskikh plemen, zhivushchikh v Yuzhnoy Sibiri i Dzungarskoy [Folk literature of Turkic tribes living in Southern Siberia and the Dzungarian Steppe]. Saint-Petersburg, 1866. 453 p. (rus)
13. *Toshchakova E.M.* Traditsionnye cherty narodnoy kul'tury altaytsev (XIX – nachalo XX v.) [Traditions of Altai folk culture (19–20th centuries]. Novosibirsk: Nauka, 1978. 157 p. (rus)
14. Gornyy Altay na pervykh russkikh kartakh [Gorny Altai on first Russian maps]. Available: www.gorno-altaisk.info/news/86164. (rus)

Сведенья об авторах

Ченчулаева Эмилия Витальевна, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, alice.li.7@mail.ru

Куликова Ирина Владимировна, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

Authors Details

Emilia V. Chenchulaeva, Undergraduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, 634003, alice.li.7@mail.ru

Irina V. Kulikova, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia.

УДК 69 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-51-64

И.О. ГУРОВ,
ООО «БАЗИС»

ВОЗДЕЙСТВИЕ РЕНОВАЦИИ ЗАВОДА «ПЕТМОЛ» НА СОЦИАЛЬНУЮ ИНФРАСТРУКТУРУ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

Статья посвящена изучению последствий реновации городской территории промышленного назначения под жилую застройку с коммерческими помещениями. В ней рассмотрены вопросы обеспечения населения социальными услугами: детскими садами, школами, поликлиниками и т. п., а также соответствия проекта градостроительным нормативам.

Собранные данные показывают, что нагрузки переложены на существующую структуру и приведут к ухудшению качества среды. Проверка результата данными городской статистики подтверждает, что рассматриваемый случай не является исключением из общей тенденции в развитии города.

Работа является продолжением исследования, начатого в статье «Количественные оценки реновации завода “Петмол” в Санкт-Петербурге»[1].

Ключевые слова: реновация; проект реновации; городская среда; радиус доступности; компактный город; обеспечение социальными услугами.

Для цитирования: Гуров И.О. Воздействие реновации завода «Петмол» на социальную инфраструктуру Санкт-Петербурга // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 51–64. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-51-64

I.O. GUROV,
OOO “BAZIS”

“PETMOL” PLANT RENOVATION AND SOCIAL INFRASTRUCTURE OF SAINT-PETERSBURG

The paper investigates the renovation consequences of the industrial urban area for the residential development with commercial premises. The paper studies social services such as kindergartens, schools, polyclinics in compliance with the urban planning standards. The collected data show that loads are shifted toward the existing structure which will lead to the deterioration of the quality of the environment. According to the data of the city statistics, the plant is not an exception to the general trend in the city development. The paper is a continuation of research started in the paper ‘Quantitative assessment of renovation of “Petmol” Plant in Saint-Petersburg”.

Keywords: renovation; renovation project; urban environment; accessibility radius; compact city; social services.

For citation: Gurov I.O. Vozdeistvie renovatsii zavoda “Petmol” na sotsial'nuyu infrastrukturu Sankt-Peterburga [“Petmol” plant renovation and social infrastructure of Saint-Petersburg]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-

[1] Гуров И.О. Количественные оценки реновации завода «Петмол» в Санкт-Петербурге // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 28−41. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-28-41

© Гуров И.О., 2022

stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 51–64.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-51-64

В 1821–1825 гг. В Петербурге по проекту И.И. Шарлеманя был построен скотопригонный двор, т. е. оптовый рынок скота с бойнями. Несмотря на сугубо утилитарную функцию, проект был выполнен на высоком художественном уровне и поэтому заслуженно попал в реестр памятников архитектуры. В 1932–1934 гг. бойни вывели за пределы города, а на территории расположили Ленинградский молочный завод № 1, впоследствии переименованный в «Петмол». В 2008–2009 гг. завод вывели на другую площадку, и с 2012 г. началась реновация территории под жилищно-деловую застройку. При этом охраняемые здания вдоль Московского проспекта и Обводного канала сохранили. Задача проследить качество проектных решений на знаковом месте представляется заманчивой, т. к. результаты исследования могут наглядно показать, в каком направлении развивается современная застройка.

По результатам предыдущей работы стало ясно, что новая застройка будет наносить больше вреда городу, чем крупный молочный завод. Теперь проверим, улучшилось ли качество жизни с точки зрения социального комфорта.

Сначала рассмотрим плотность застройки. Для сравнения обратимся к данным по типичному кварталу высокоплотной застройки в центре города (ул. Егорова, Советский пер., 5-я и 6-я Красноармейские улицы) в табл. 1[2].

Таблица 1

Адрес	Общая площадь, м^2	Жилая площадь, м^2	Нежилая площадь, м^2	Общедомовая площадь, м^2	Площадь участка, м^2
6-я Красноармейская, д. 15 л. А	3810,50	2890,27	464,62	455,61	442,00
6-я Красноармейская, д. 21 л. А	1047,70	841,22	42,58	163,90	458,00
6-я Красноармейская, д. 23 л. А	2178,00	1307,99	522,30	347,71	998,00
6-я Красноармейская, д. 23 л. Б	606,00	427,36	44,30	134,34	0,00
6-я Красноармейская, д. 25 л. А	1653,78	1273,12	84,89	295,77	350,00
6-я Красноармейская, д. 17 л. А	1292,40	1046,91	42,29	203,20	693,00
6-я Красноармейская, д. 19	984,30	419,60	189,60	–	973,00
6-я Красноармейская, д. 27	3791,10	2811,59	363,71	615,80	1731,00
5-я Красноармейская, д. 30	1860,90	879,71	642,49	338,70	853,00

[2] По данным сайта dom.mingkh.ru

Окончание табл. 1

Адрес	Общая площадь, м^2	Жилая площадь, м^2	Нежилая площадь, м^2	Общедомовая площадь, м^2	Площадь участка, м^2
5-я Красноармейская, д. 28	2046,70	1638,29	32,01	376,40	536,00
5-я Красноармейская, д. 26	1418,10	1021,10	82,80	314,20	572,00
5-я Красноармейская, д. 24	2009,40	1700,60	0,50	308,30	354,00
5-я Красноармейская, д. 22	2588,20	–	–	–	1728,00
5-я Красноармейская, д. 20	1502,00	1177,90	324,10	207,40	867,00
5-я Красноармейская, д. 18	1028,40	917,60	–	110,80	356,00
5-я Красноармейская, д. 16	630,30	558,30	0,00	72,00	190,00
Итого	28 447,78	18 911,56	2836,19	3944,13	11 101,00

Габариты выбранного квартала 60×220 м, что даёт общую площадь 1,32 га и плотность застройки 2,09[3] против 2,4[4] в новостройках. Мы видим, что, хотя плотность новой застройки больше, тем не менее, она лучше инсолируется и имеет более просторные дворы, чем традиционный центральный квартал с дворами-колодцами. Но следует задаться вопросом, как городская инфраструктура воспринимает эту увеличенную плотность? Норматив СП предписывает плотность 1,2[5], т. е. ровно в два раза меньше. Но это застройка «брутто», т. е. со всеми учреждениями обслуживания. Понятно, что, когда застройка ведется мелкими лотами, параметры больших территорий применить к ним невозможно. Но в таком случае повышенная плотность на одном участке должна компенсироваться низкой плотностью на другом, причем поблизости, т. к. по нашим нормам максимальный радиус доступности для детских садов – 300 м, а для общеобразовательных школ – 500 м.

В табл. 2 дан расчет основных потребностей домов на месте «Петмола» по городским нормативам[6]. Заметим, что государственная норма[7] предписывает в условиях высокоплотной застройки, к которой относится предмет нашего рассмотрения, сокращать радиусы на 30 % (т. е. не 300 и 500 м, а 210 и 350), поскольку при большой плотности в радиус попадает количество жителей, которое уже невозможно обслужить школами и садиками нормальной вместимости.

Попробуем отыскать эти удобства. Собственно, на участке будет функционировать только четыре филиала детских садов на 375 мест, пара спортивных площадок ничтожного размера, частная спортивная студия «YogiRoom», парковка под землей на 2074 места и открытые стоянки. Сколько их будет, указать точно мы не можем, т. к. планировок в свободном доступе обнару-

[3] Площадь подземной части не исключена из расчета, т. к. неизвестна. Реальный показатель будет несколько меньше (~ 15 %).
[4] Площадь подземной части исключена из расчета и принята 100 тыс. м^2.
[5] СП 42.13330.
[6] Нормативы градостроительного проектирования Санкт-Петербурга: Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 11.04.2017 № 257.
[7] СП 42.13330.2016, табл. 10.1, прим. 1.

жить не удалось. Но мы можем смело принять 415 шт., т. к. это минимальная норма по ПЗЗ, и обычная практика состоит в том, что эта норма никогда не перевыполняется. Возможно, в недостроенных домах появится еще какой-нибудь фитнес-центр, но это не повлияет на показатели решающим образом.

Таблица 2

Городские объекты	Норма на 1000 чел.	Итого для 13,15 тыс. чел.[8]	Радиус обслуживания
Дошкольные образовательные организации (детсады), мест	61,00	802	300 м
Общеобразовательные организации (школы), мест	120,00	1 578	500 м
Профессиональные образовательные организации (колледжи), мест	13,00	171	60 мин
Организации дополнительного образования детей, мест	60,00	789	60 мин
Стационары для взрослых и детей, коек	9,00	118	60 мин
Амбулаторно-поликлинические учреждения, посещений в смену	26,33	346	1000 м
Скорая медицинская помощь, автомобилей	0,11	1,45	15 мин
Плоскостные спортивные сооружения, м^2	2 000,00	26 300	500 м
Спортзалы	400,00	5 260	500 м
Бассейны, зеркало воды, м^2	50,00	658	30 мин
Места для стоянки (размещения) индивидуального автотранспорта, мест	420,00	5 523	–
Зеленые насаждения общего пользования, м^2	6000	7,89 га	400 м
Велосипедные дорожки, км	0,17	2,17	–

Проверить, какие учреждения имеются в 60-минутной доступности, можно, если составить баланс на весь город, и поэтому мы не будем их рассматривать.

Амбулаторно-поликлинических учреждений в радиусе доступности только два. Причем одно из них (отделение поликлиники № 48 на 300 посещений в смену) относится к Московскому району. Остаётся только детское отделение поликлиники № 24. Глубокая запущенность вопроса имела место

[8] Население новостроек принято в 13,500 чел., т. к. мы хотим проверить норматив, а норматив берет число горожан по данным Петростата. Надо полагать, что в нашем случае это правильно еще и потому, что приехавшие на заработки и не учтенные статистикой люди детей в школу не отправляют. Официальную численность населения мы разделили на площадь квартир в городе и получили 21,3 м^2 на чел.

еще до начала строительства. Так жители дома № 73 по Московскому проспекту (за границей нашего участка) должны ездить во взрослое отделение поликлиники № 24 более чем за два километра.

За последнее десятилетие количество бассейнов в городе увеличилось в два раза, но до норматива еще далеко. Доступные для населения бассейны строят в фитнес-центрах, т. е. коммерческих организациях, которые получают дотации, когда платежеспособность и, соответственно, спрос на их услуги падает. Проблема со спортивными залами не такая острая, т. к. при наличии спроса помещение для них найти не так сложно. Плоскостные спортивные сооружения в радиусе доступности отсутствуют. Самый крупный зеленый массив – это Новодевичье кладбище, которое местом для отдыха никак являться не может. Еще есть парк «Олимпия», пострадавший от застройки в конце 1990-х гг. Площадь его 2,4 га, и он расположен за пределами радиуса обслуживания. Он может обслуживать 4 тыс. жителей и окружен километрами старой жилой застройки.

Посмотрим подробнее на детские сады и школы. Это объекты повышенного внимания всего общества, и статистика по ним полнее. Нам не хватает 427 мест в детских садах (радиус 300 м) и 1578 мест в школах (радиус 500 м). С учетом типовой вместимости нам надо было построить с нуля 3 садика по 140 мест и 3 школы на 500 учеников. Но ничего подобного не случилось. Все новые ученики «уплотняют» существующие учреждения. Тут есть интересные различия. Так как среднее образование должны получить все, количество учащихся в СОШ – это достоверный показатель, обнаруживающий истинную потребность в этой услуге. При этом школа имеет мощные средства адаптации. В первую очередь это перевод на двухсменную работу, организация новых классов и увеличение учеников в классе. Намного менее гибкая структура – детский сад. Тут нельзя ввести вторую смену и серьезно нарастить численность групп. Поэтому когда с детским садом большие проблемы, то семья оставляет ребенка дома.

Способ «уплотнения» учреждений образования хорошо известен. Застройщик, разрабатывая жилой комплекс, дробит его на очереди и закладывает минимальную численность проживающих. Получается, что из одного нового дома в школу пойдет не так много детей, например 25. Школы на такое количество не строят, и застройщик должен получить справки из близлежащих учреждений о готовности принять дополнительных учеников. За выдачу справки застройщик делает что-то хорошее – ремонт актового зала, оборудование компьютерного класса и т. п. В радиусе доступности такие заведения для выдачи справок есть. Это детские сады № 104, 145, 154, частные «Сан скул» и «Бэби-клуб»; СОШ № 307, 317, 564; филиал лицея № 373 и гимназия «Северная Венеция» (частная). Детей же потом пристраивают, у кого куда получится. Хотя о радиусе доступности разговоров давно уже нет, понятно, что в первую очередь заполняют близлежащие учреждения.

Поэтому неудивительно, что в подпадающих под наше рассмотрение школах и садах в сезоне 2021/22 г. норма площади участка выдержана в среднем на 58 % в детских садах и на 21 % в школах. А норма площади зданий соответственно на 89 % у детских садов и 41 % у школ. Иначе гово-

ря, в зданиях школ учится в пять раз больше детей, чем должно быть по норме, а в детских садах малышей больше на 11 %. Мы видим, что это подтверждает слабую «сжимаемость» детских садов. Расчетные данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

Номер	Кол-во мест	Адрес	*S* уч., м^2	*S* уч. на 1 учащегося, м^2	% от нормы	*S* пом. общая, м^2	*S* пом. на 1 учащегося, м^2	% от нормы
ДОУ № 145 (филиал)	60	Московский пр., д. 75 л. А	0,00	0,00	0,00	696,60	11,61	64,21
ДОУ № 145 (филиал)	70	Наб. Обводного канала, д. 153 л. Г	2169,00	30,99	81,54	944,20	13,49	74,60
ДОУ № 145	130	Наб. Обводного канала, д. 108 л. А	1072,40	8,25	21,71	1907,00	14,67	81,14
ДОУ № 104 (филиал)	75	Московский пр., д. 73 к. 5 л. А	1113,00	14,84	39,05	1898,60	25,31	140,01
ДОУ № 104 (филиал)	75	Московский пр., д. 73 к. 5 л. А	1113,00	14,84	39,05	1898,60	25,31	140,01
ДОУ № 118	52	Измайловский пр., д. 18 л. В	2209,00	42,48	111,79	827,10	15,91	87,97
ДОУ № 154	145	Наб. Обводного канала, д. 125	4068,00	28,06	73,83	1803,80	12,44	68,81
ДОУ № 118	57	Измайловский пр., д. 18 л. В	2209,00	38,75	101,99	827,10	14,51	54,96
ДОУ № 112 (филиал)	95	Строится	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
Норма, м^2/чел				**38,00**			**18,08**	
СОШ № 317	292	Ул. Серпуховская, д. 39	3507,00	12,01	21,84	3704,00	12,68	48,05
СОШ № 564 (старшие классы)	545	Ул. Егорова, д. 24	3441,00	6,31	11,48	4095,50	7,51	28,46
СОШ № 564 (начальные классы)	236	Наб. Обводного канала, д. 143	2775,00	11,76	21,38	3860,80	16,36	61,97
СОШ № 307 (старшие классы)	575	Малодетскосельский пр., д. 23	3401,00	5,91	10,75	3765,30	6,55	24,80
СОШ № 307 (начальные классы)	425	Наб. Обводного канала, д. 123 л. Б	6338,10	14,91	27,11	3765,30	8,86	33,56

Окончание табл. 3

Номер	Кол-во мест	Адрес	*S* уч., м^2	*S* уч. на 1 учащегося, м^2	% от нормы	*S* пом. общая, м^2	*S* пом. на 1 учащегося, м^2	% от нормы
Лицей № 373 (начальная школа)	350	Московский пр., д. 96	6308,00	18,02	32,77	4313,70	12,32	46,69
Норма, м^2/чел				**55,00**			**26,40**	

Примечания:
1. Серым выделены ячейки с новыми объектами, построенными на участке.
2. Нормы площади зданий взяты по типовым проектам, рекомендованным Минстроем к повторному применению (32с/16-249 и 490-ПРМ-ОД[9]). Нормы площади участков взяты по СП 42.13330 прил. Д*.
3. По частным заведениям достоверных данных нет, поэтому в таблице они не показаны. В любом случае вместимость их невелика, и у них нет своих участков.
4. ПЗЗ допускает снижение нормы площади участка для садиков до 24 м^2 на ребенка. В этом случае соответствующий показатель увеличивается на 30 %.
5. Согласно проектным декларациям в новых садиках (филиалы ДОУ № 104) норма площади помещений завышена на 40 % , что странно.

Совокупно старые ДОУ в радиусе доступности дают нам 664 места, а СОШ всего 2423. Но они проектировались для обслуживания домов из старых кварталов. Напомним, что потребность новостройки – 802 места в ДОУ и 1578 в СОШ. Мы видим, что для дошкольников мест не хватает катастрофически. Нужно еще 150 мест, даже если во все эти учреждения брать детей только из нашего комплекса. Со школами ситуация выглядит несколько лучше, но они и уплотнены сильнее. Не будем также забывать, что строительство не закончено и пик загрузки еще не достигнут.

Какая территория нужна, если мы хотим выполнить нормативы? Для трех детских садов понадобится 1,2 га (по урезанной норме ПЗЗ 24 м^2 и с учетом 280 новых мест на участке); для двух школ (по 750 мест) нужно 7,1 га; для плоскостных спортивных сооружений – 2,6 га и под парки – 7,9 га. Всего 18,8 га (при площади участка 13,5 га), которые надо отыскать в радиусе до 500 м. Мы уже не упоминаем про 7,6 га под парковки (у нас остались непристроенными 3034 автомашины). Можно предположить, что их разместили под землей, т. к. и без этого допущения понятно, что это в принципе невыполнимая задача.

Но у нас высокоплотная застройка. Проиграем ситуацию от обратного и посмотрим, что получается при выполнении норматива. Тогда, имея 13,5 га, мы смогли бы возвести не более 162 тыс. м^2 в надземных этажах с учетом школ, детских садов, магазинов и т. п. (напомним, что сейчас достраивают ~ 419,5 тыс. м^2 общей площади).

[9] Реестр экономически эффективной проектной документации // Докипедия. URL: https://dokipedia.ru/document/5346600 (дата обращения: 23.09.2021).

Занятно также, что п. 7.7 ТСН 30-306-2002 «Реконструкция и застройка исторически сложившихся районов Санкт-Петербурга» допускает по согласованию с Комитетом по образованию и на основании заключений ЦГСЭН СПб делать реконструкцию существующих школ и ДДУ без собственных участков. Отсюда получается, что если застройщик пойдет на реконструкцию существующих учреждений поблизости от своего участка, то он останется с прибылью и в рамках закона. Но если он будет строить все эти учреждения на участке, он потеряет драгоценную землю.

То, что взятый для рассмотрения участок не является каким-то вопиющим исключением из обыденной городской практики, хорошо известно. Мы можем найти подтверждение этому, проанализировав статистические справочники[10].

График (рис. 1) показывает ежегодный общий прирост мест в детских садах и отдельно, сколько из них в течение этого года было построено. График (рис. 2) показывает ту же зависимость для школ.

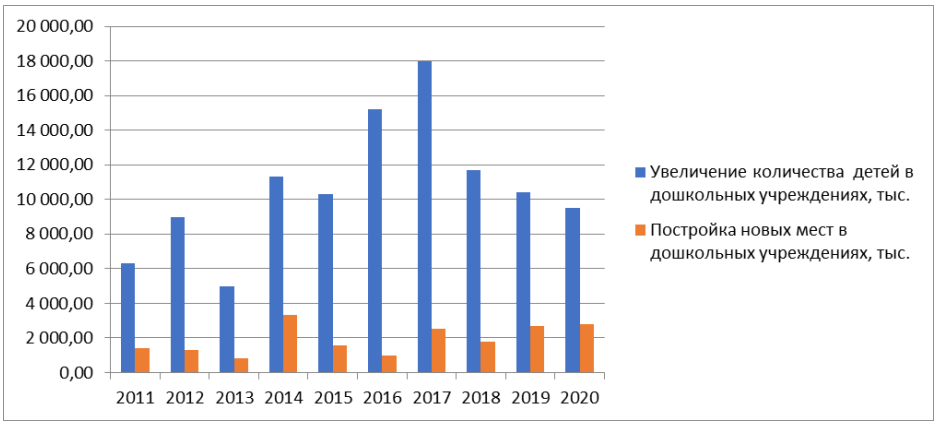


Рис. 1

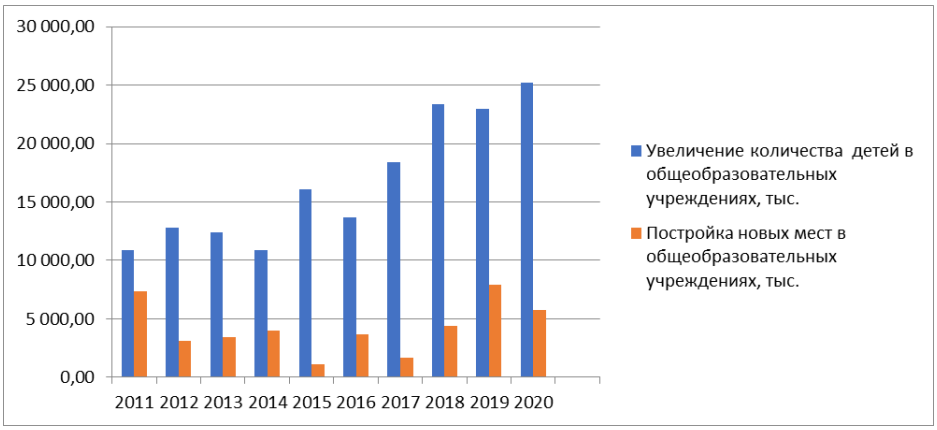


Рис. 2

[10] См. «Санкт-Петербург'2011. Статистический ежегодник» и последующие годы.

Мы видим, что с 2011 по 2020 г. количество построенных мест ни один год не обеспечивало хотя бы половину роста потребности. С 2011 г. количество детей в детских садах выросло на 117,4 тыс. мест, а построено из них было только 21,744. То есть 95 656 мест образовалось за счет уплотнения. По школам прирост учащихся составил 166,8 тыс. Для них было построено 42,443 тыс. мест, а 124,357 тыс. разместили в существующих школах.

Поэтому, когда руководство города говорит о нехватке около 30 тыс. мест в детских садах, не очень ясно, от какой базы оно отталкивается. Может быть, от числа неудовлетворенных запросов или от предполагаемого увеличения спроса? Это непростой вопрос. Неравномерная возрастная структура населения приводит к неравномерному спросу на места. Кроме этих демографических волн есть еще, в принципе, недостаточная рождаемость, которую нельзя вносить в норматив, ибо тогда она всегда будет недостаточной. По этой причине мы видим зазор между реальной численностью детей и расчетным количеством мест по нормативам. Для решения демографической проблемы надо подтягивать строительство к нормативу. Если считать именно так, то нам к 2021 г. не хватало только 108 тыс. мест. График (рис. 3) показывает сокращение отставания реального числа школьных мест от расчетного за последние 10 лет[11]. Это следствие роста рождаемости после 2000 г. Если сейчас рождаемость начинает падать, то через 7 лет мы увидим, как кривые опять расходятся.

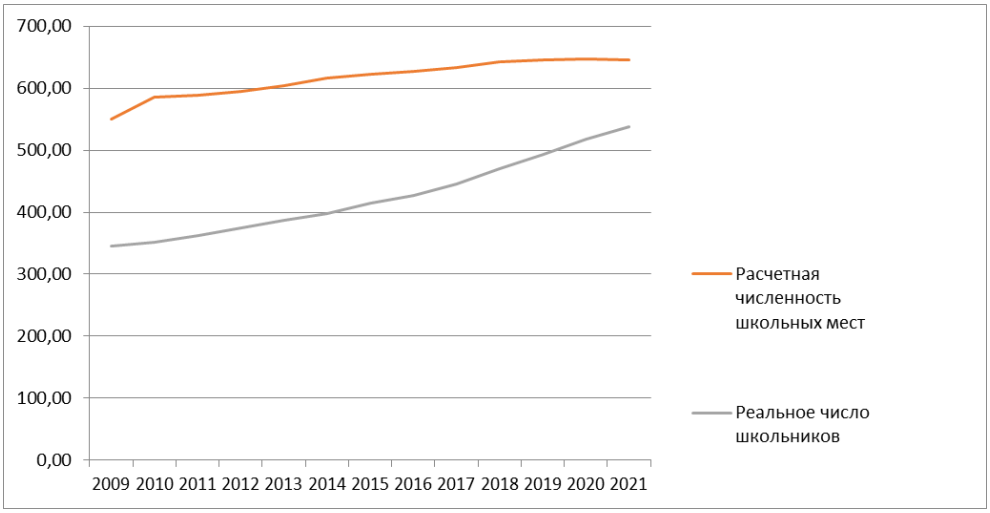


Рис. 3

Похожая ситуация и с емкостью больниц. В 2011 г. на 10 тыс. чел. было 95 койко-мест, в 2019 г. – уже 83,5.

Мы видим, что практика урбанизма за последние десятилетия уходила от «комфортного города» всё дальше. Земли заброшенных промпроизводств, активное освоение которых сейчас началось, – это прекрасный ресурс для

[11] Расчетное число мест взято от численности населения города по данным Петростата.

«починки» инфраструктурных проблем: тут можно строить недостающие школы и поликлиники. Но вопрос элементарного баланса территории в связи с этим даже не поднимается. Сохранение среды понимается как вопрос охраны памятников: сносить монументальный корпус промышленной архитектуры ради современного жилья или устроить в нём лофт-апартаменты и арт-пространство?

В заключение рассмотрим одно возможное возражение. Не завышены ли нормативы, если их можно так сильно нарушать? Возможно, школам и детским садам не нужны такие площади? Сомнения на этот счет встречаются даже в научных публикациях [1]. Доказательство простое: если объекты могут функционировать годами с такими вопиющими отклонениями, то это и доказывает ошибочность нормы.

На это можно заметить, что тут учреждения образования дают нам прекрасный урок коварной природы урбанизма. Логично предположить, что если нормы регламентируют детские сады и школы, то и нарушение этих норм должно сказываться на их работе. Отчасти так и есть. Все знают, что учителя разбегаются, не выдерживая повышенной нагрузки, городской омбудсмен просит узаконить вторую смену[12], а на просторах страны можно встретить школы с тремя сменами[13] и классами в коридорах[14]. Все это так, но качество образования зависит в первую очередь от учителя, а не от габаритов класса. Великий Аристотель преподавал во время прогулок, и это не помешало ему добиться блестящих результатов. Поэтому нет ничего странного в том, что многие переполненные школы имеют прекрасный рейтинг.

Если в школе не хватает площадей, то под сокращение в первую очередь попадут рекреации и спорт. А деньги, не вложенные в спорт сегодня, придётся завтра вложить в медицину. В педиатрии есть специальный термин – «школьные болезни». Из-за недостатка физической активности детский организм формируется неправильно [2]. Об этом свидетельствует печальная статистика заболеваний школьников, и, конечно, неправильное развитие даёт знать себя во взрослой жизни. Поэтому неудивительно, что параллельно с уплотнением школ происходит ухудшение здоровья детей. Ситуация носит катастрофический характер, но в исследования урбанистов эти данные не попадают. Их собирают и исследуют медики. Так в Санкт-Петербурге «...за 20 лет распространенность заболеваний у детей 0–14 лет увеличилась на 72,0 % при росте первичной заболеваемости на 70,4 %» [3]. Исследование 2013 г. показывает, что в Санкт-Петербурге детей с нормальным развитием (I группа здоровья) было только 13,2 %, выявлен достоверный рост количества детей II и III групп (то есть часто болеющие и имеющие хронические заболевания) [4]. Заостряя формулировку, можно сказать, что площади в школах нужны не столько для занятий, сколько для беготни на переменах. Количественный вклад недостатков школьного пространства в статистику заболеваний выявить невозможно, т. к. здоровье формируется многими дру-

[12] Фонтанка.ру. URL: https://www.fontanka.ru/2019/03/27/036/
[13] ТАСС. URL: https://tass.ru/obschestvo/12075477
[14] Lenta.ru. URL: https://lenta.ru/news/2021/08/31/klasss/

гими факторами как в самой школе (удобная мебель, питание, интенсивность нагрузки), так и за её пределами (условия проживания, климат, структура семьи и т. п.), но отрицать эту закономерность невозможно. При этом чем больше причин, по которым здоровье ухудшается, тем важнее обеспечить физическую активность. Иначе говоря, чем дольше дети «сидят в смартфонах», тем больше уроков физкультуры им необходимо для правильного формирования костно-мышечной системы. Важность пространственного фактора косвенно подтверждается меньшей заболеваемостью детей в малых городах и селах, где школы имеют достаточные площади и в принципе места для беготни намного больше. Результаты обширного исследования по всей стране таковы, что «среди детей в возрасте 0–14 лет максимальные уровни общей заболеваемости по обращаемости регистрируются в крупных городах… В малых городах они ниже в среднем на 28 %, в селе – на 34 %» [5]. А вот что пишет об этом член-корреспондент РАН Н.М. Римашевская: «…Здоровье городских детей, по оценкам врачей, хуже, чем в районах; доля детей с хроническими заболеваниями в городах в 2–4 раза выше; аналогичная ситуация отмечается применительно к оценке физического развития» [6].

Еще сложнее обстоит дело с радиусом доступности. К качеству работы учреждения он не имеет никакого отношения. Его главная задача – это экономия времени. «Золотой стандарт» достигнут, если дети с первого класса ходят в школу самостоятельно, а малышей из детского сада можно забрать, уйдя с работы в положенное время. Отказ от стремления к этому стандарту, дефакто уже случившийся, оказывает огромное негативное воздействие на демографию, экономику и всю городскую инфраструктуру. Описывать последствия детально мы не будем. Напомним про хорошо известную исходную точку: из-за невозможности устроить ребенка в детский сад близко к дому родители вынуждены сокращать время отдыха и время работы. Матери вынуждены брать отпуск по уходу, хотя из-за этого семья существенно теряет в доходах именно в то время, когда требуется их рост [7]. Поэтому неудивительно, что 61 % семей шаговую доступность детских садов считают главным критерием для выбора учреждения. При этом с каждым годом эта шаговая доступность становится меньше [8]. Так, в Москве в 2019 г. 24 % детей привозили в детский сад на личных автомобилях [9].

Эти тенденции проявляются в мегаполисах всего мира. Например, в Великобритании число детей, добирающихся до начальной школы пешком, упало с 86 % в 1971 году до 25 % в 2013 г. [10]. В ответ национальная стратегия развития пешеходного и велосипедного движения (CWIS)[15] ставит целью остановить эту тенденцию и к 2025 г. вернуться к 55 %. Во Франции обсуждается концепция «15-минутного города» [11, 12]. В ней школа превращается в главный планировочный элемент Парижа. Именно от неё следует отсчитывать те самые 15 мин. При этом школьные открытые площадки попробуют превратить в общественный парк. Обширные исследования в Канаде [13] изучают воздей-

[15] The government’s draft cycling and walking investment strategy (CWIS): Summary of the response from Cycling UK. URL: https://www.cyclinguk.org/sites/default/files/document/migrated/blog/1605_rg_draft-cwis-response-summary_con_0.pdf

ствие городской среды на пешеходную доступность школ, т. к. при более пристальном взгляде ясно, что сам по себе радиус доступности может не решить проблему. В нашем случае школа № 307 расположена достаточно близко, но кто решится послать в нее первоклассника без сопровождения, если надо пересечь Московский проспект и Обводный канал? Зато наличие игровых площадок по дороге в школу поощряет школьников преодолевать более длинные дистанции и увеличивает их физическую активность [14].

Мы видим, что радиус доступности помимо экономии времени может также превращаться в важный элемент физического развития детей, не менее важный, чем школьная спортплощадка. Программа «Walk to school» в Австралии именно укрепление здоровья рассматривает как главную выгоду от пешеходной доступности школы[16], а исследование выясняет, как на это влияет использование автомобилей родителями [15]. Разработка таких специальных вопросов позволяет найти резервы и разработать более гибкие подходы к планировке.

События, связанные с эпидемией, обозначили еще одну важную причину для соблюдения радиуса доступности: при использовании коротких маршрутов снижается скорость распространения инфекций. Это закономерно усилило концепции, в которых он играет важную роль, такие как «Умный город», «Компактный город», «Город без автомобиля» и т. п. [16–18].

Собранные показатели застройки и сравнение их с нормативной литературой и современными тенденциями в развитии городского планирования позволяют сделать следующее заключение. Реновацию нельзя признать успешной, т. к. по её завершении город получит перегруженную социальную инфраструктуру, рост трафика в «узком» месте и серьезное ухудшение экологии. Мы могли приблизиться к «комфортному городу», но вместо этого убежали от него. Такова цена градостроительной ошибки: одно непродуманное решение приводит к последствиям, которые скажутся на жизни тысяч людей. Для исправления же таких ошибок нужны годы работы и миллиардные вложения.

Библиографический список

1. *Матвеева А.А.* Проблемы формирования сети школьных образовательных учреждений и их территорий в структуре города Казани // Известия КГАСУ. 2015. № 4 (34). С. 143–152.
2. *Дрогомерецкий В.В., Третьяков А.А.* Низкая двигательная активность как фактор проявления отклонений в состоянии здоровья у детей дошкольного и школьного возраста // Дискурс. 2017. № 7 (9). С. 27–34.
3. *Суворова А.В., Якубова И.Ш., Чернякина Т.С.* Динамика показателей состояния здоровья детей и подростков Санкт-Петербурга за 20-летний период // Гигиена и санитария. 2017. № 96 (4). С. 332–338.
4. *Земляной Д.А., Львов С.Н.* О региональных особенностях состояния здоровья школьников Санкт-Петербурга // Педиатр. 2013. Т. IV. № 4. С. 65–68.
5. *Баранов А.А., Альбицкий В.Ю., Модестов А.А., Косова С.А., Бондарь В.И., Волков И.М.* Заболеваемость детского населения России (итоги комплексного медико-статистического исследования) // Здравоохранение Российской Федерации. 2012. № 5. С. 21–26.
6. *Римашевская Н.М.* Детское население в России: основные проблемы развития // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2011. Т. 14. № 1. С. 59–70.

[16] VicHealth. URL: https://www.vichealth.vic.gov.au/programs-and-projects/walk-to-school

7. *Опрос показал* отношение российских мужчин к женщинам в декрете // РИА. URL: https://ria.ru/20180730/1525558931.html (дата обращения: 23.09.2021).
8. *Филатова Л.М.* Доступность дошкольного образования // От универсальной доступности к современному качеству: дошкольное образование в России. Москва : Издательский дом Высшей школы экономики, 2019. С. 124, 129.
9. *Children's independence outside* the home has dramatically dropped over the last 40 years, report shows // road.cc. URL: https://road.cc/content/news/73654-childrens-independence-outside-home-has-dramatically-dropped-over-last-40-years (дата обращения: 23.09.2021).
10. *The 15-Minute City*. Putting people at the center of urban transformation // 15City. URL: https://www.15minutecity.com (дата обращения: 23.09.2021).
11. *Parisians will live* within a 15-minute radius // Eurocities. URL: Parisians will live within a 15-minute radius (дата обращения: 23.09.2021).
12. *Rothmanab L., Toa T., Buliungc R., Macarthura C., Howard A.* Influence of social and built environment features on children walking to school: An observational study // Preventive Medicine. 2014. V. 60. P. 10–15.
13. *Janssenab I., Kingb N.* Walkable school neighborhoods are not playable neighborhoods // Health & Place. 2015. V. 35. P. 66–69.
14. *Rissel C., Li Ming Wen, Merom D.* Factors associated with children being driven to school: Implications for walk to school programs // Health Education Research. 2008. № 23 (2). P. 325–334.
15. *Sharifi A., Khavarian-Garmsir A.R.* The COVID-19 pandemic: Impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management // Science of The Total Environment. 2020. V. 749.
16. *Post-COVID-19 Cities*: New Urban Models to Make Cities Healthier // ISGlobal. URL: https://www.isglobal.org/en/healthisglobal/-/custom-blog-portlet/post-covid-19-cities-new-urban-models-to-make-cities-healthier/4735173/0 (дата обращения: 23.09.2021).
17. *Moreno C., Allam Z., Chabaud D., Gall C., Pratlong F.* Introducing the «15-Minute City»: Sustainability, Resilience and Place Identity in Future Post-Pandemic Cities // Smart Cities. 2021. № 4. P. 93–111.

REFERENCES

1. *Matveeva A.A.* Problemy formirovaniya seti shkol'nykh obrazovatel'nykh uchrezhdenii i ikh territorii v strukture goroda Kazani [Network formation of schools and territories in the city of Kazan]. *Izvestiya KGASU*. 2015. No. 4 (34). Pp. 143–152. (rus)
2. *Drogomeretskii V.V., Tret'yakov A.A.* Nizkaya dvigatel'naya aktivnost' kak faktor proyavleniya otklonenii v sostoyanii zdorov'ya u detei doshkol'nogo i shkol'nogo vozrasta [Low motor activity as a factor of deviations in the state of health in preschool and school-age children]. *Diskurs*. 2017. No. 7 (9). Pp. 27–34. (rus)
3. *Suvorova A.V., Yakubova I.Sh., Chernyakina T.S.* Dinamika pokazatelei sostoyanie zdorov'ya detei i podrostkov Sankt-Peterburga za 20-letnii period [Dynamics of the state of health of children and adolescents in St.-Petersburg for a 20-year period]. *Gigiena i sanitariya*. 2017. No. 96 (4). Pp. 332–338. (rus)
4. *Zemlyanoi D.A., L'vov S.N.* O regional'nykh osobennostyakh sostoyaniya zdorov'ya shkol'nikov Sankt-Peterburga [Regional features of the state of health of schoolchildren in St.-Petersburg]. *Pediatr*. 2013. V. 4. No. 4. Pp. 65–68. (rus)
5. *Baranov A.A., Al'bitskii V.Yu., Modestov A.A., Kosova S.A., Bondar' V.I., Volkov I.M.* Zabolevaemost' detskogo naseleniya Rossii (itogi kompleksnogo mediko-statisticheskogo issledovaniya) [Morbidity of children's population in Russia (comprehensive medical and statistical study)]. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii*. 2012. No. 5. Pp. 21–26. (rus)
6. *Rimashevskaya N.M.* Detskoe naselenie v Rossii: osnovnye problemy razvitiya [Child population in Russia: Main problems of development]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*. 2011. V. 14. No. 1. Pp. 59–70. (rus)
7. Opros pokazal otnoshenie rossiiskikh muzhchin k zhenshchinam v dekrete [Survey showed the attitude of Russian men to women on maternity leave]. Available: https://ria.ru/20180730/1525558931.html (accessed September 23, 2021). (rus)

8. *Filatova L.M.* Dostupnost' doshkol'nogo obrazovaniya [Accessibility of preschool education]. In: Ot universal'noi dostupnosti k sovremennomu kachestvu: doshkol'noe obrazovanie v Rossii [From universal accessibility to modern quality: Preschool education in Russia]. Moscow, 2019. P. 124, 129. (rus)
9. Children's independence outside the home has dramatically dropped over the last 40 years, report shows. Available: https://road.cc/content/news/73654-childrens-independence-outside-home-has-dramatically-dropped-over-last-40-years (accessed September 23, 2021).
10. The 15-Minute City. Putting people at the center of urban transformation. Available: www.15minutecity.com (accessed September 23, 2021).
11. Parisians will live within a 15-minute radius. Eurocities. Available: Parisians will live within a 15-minute radius (accessed September 23, 2021).
12. *Rothmanab L., Toa T., Buliungc R., Macarthura C., Howard A.* Influence of social and built environment features on children walking to school: An observational study. *Preventive Medicine*. 2014. V. 60. Pp. 10–15.
13. *Janssenab I., Kingb N.* Walkable school neighborhoods are not playable neighborhoods. *Health & Place*. 2015. V. 35. Pp. 66–69.
14. *Rissel C., Li Ming Wen, Merom D.* Factors associated with children being driven to school: Implications for walk to school programs. *Health Education Research*. 2008. No. 23 (2). Pp. 325–334.
15. *Sharifi A., Khavarian-Garmsir A.R.* The COVID-19 pandemic: Impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management. *Science of The Total Environment*. 2020. V. 749.
16. Post-COVID-19 Cities: New urban models to make cities healthier. ISGlobal. Available: www.isglobal.org/en/healthisglobal/-/custom-blog-portlet/post-covid-19-cities-new-urban-models-to-make-cities-healthier/4735173/0 (accessed September 23, 2021).
17. *Moreno C., Allam Z., Chabaud D., Gall C., Pratlong F.* Introducing the “15-Minute City”: Sustainability, resilience and place identity in future post-pandemic cities. *Smart Cities*. 2021. No. 4. Pp. 93–111.

Сведения об авторе

Гуров Игорь Олегович, независимый исследователь, ООО «БАЗИС», 197183, г. Санкт-Петербург, ул. Сестрорецкая, 6, gurov-igor-2012@ya.ru

Author Details

Igor O. Gurov, Independent Researcher, OOO “BAZIS”, 6, Sestroretskaya Str., 197183, Saint-Petersburg, Russia, gurov-igor-2012@ya.ru

УДК 725.85 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-65-75

Ю.А. СКОБЛИЦКАЯ,
Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета

АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНОВЛЕНИЯ МНОГОУРОВНЕВЫХ СПОРТИВНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Представлены основные этапы становления и развития спортивных сооружений в России и за рубежом с выявлением характерных черт для каждого из этапов. Рассмотрена актуальность и потребность появления и внедрения такого рода многоуровневых спортивных комплексов в крупнейших городах России. Обоснованы предпосылки и необходимость возникновения и распространения многоуровневых спортивных комплексов в крупнейших городах.

На основе статистических данных выявлены основные виды спорта, для которых следует организовывать тренировочные пространства в структуре многоуровневых спортивных комплексов с рекомендациями размещения по уровням в структуре комплекса. Описаны особенности формирования структуры многоуровневого комплекса как многофункционального центра с широким спектром возможностей развития и полного погружения в тренировочной процесс.

Ключевые слова: многоуровневый спортивный комплекс; многофункциональный спортивный комплекс; спортивные сооружения; спортивный комплекс, спортивный зал.

Для цитирования: 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

Yu.A. SKOBLITSKAYA,
The Academy of Architecture and Arts, Southern Federal University

ARCHITECTURE AND PLANNING OF MULTILEVEL SPORTS COMPLEXES

Purpose: The aim of this work is to identify the main historical stages of multi-storey sports complex formation and structure. **Design:** The article presents the main stages of the formation and development of sports facilities in Russia and abroad with the characterization for each stage. The prerequisites and need are determined for the emergence and distribution of multi-level sports complexes in the largest cities. Based on the statistical data, training spaces can be organized in the structure of multi-level sports complexes; recommendations are given to the complex structure. The structure of the multilevel complex as multifunctional center is described with a wide range of possibilities in the training process. **Practical implications:** Identification of the main functional elements of multilevel sports complexes. **Originality/value:** Identification of the main historical stages preceding the formation of a new type of sports facilities.

Keywords: multilevel sports complex; multifunctional sports complex; sporting facilities; gym.

For citation: Skoblitskaya Yu.A. Arkhitekturno-planirovochnye osobennosti stanovleniya mnogourovnevykh sportivnykh kompleksov [Architecture and planning

© Скоблицкая Ю.А., 2022

of multilevel sports complexes]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 65–75.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-65-75

В настоящее время спорт является неотъемлемой частью жизни современного человека. Благодаря активной поддержке правительства все больше людей, независимо от возраста, вовлечены в занятия спортом как профессионально, так и на любительском уровне для поддержания физической формы. В связи с этим в значительной степени возрастает потребность в строительстве спортивных объектов, но при этом крупные города имеют дефицит и высокую стоимость городских земель. В результате данного фактора стал активно развиваться новый тип организации спортивных сооружений – многоуровневые спортивные комплексы.

Современный спортивный комплекс может сочетать в себе разного типа функциональные элементы. Стоит отметить, что многоуровневые спортивные комплексы целесообразно проектировать как место для проведения учебно-тренировочных и физкультурно-оздоровительных занятий.

Первые спортивные сооружения появились в VIII в. до н. э.: спортивные комплексы впервые начали возводиться в Древней Греции и включали в себя стадионы и ипподромы. Изначально физическая подготовка служила цели общего развития и приобретения навыков, необходимых для выживания. Люди овладевали приемами борьбы, метания и бега из поколения в поколение, обучаясь на открытых площадках и специальных сооружениях. Следует отметить, что спортивные игры во многом носили зрелищный характер, что подтолкнуло человечество к созданию специально оборудованных спортивных комплексов.

С развитием олимпийского движения система спортивных площадок усложнялась: программа соревнований дополнялась новыми видами состязаний, это требовало расширения и усовершенствования спортивных сооружений. Олимпийские игры послужили толчком для развития спорта, а как следствие, и городской структуры [1].

В Средние века спортивные сооружения практически не проектировались и не строились, лишь в начале XIX в. возрождение Олимпийских игр явилось мощным толчком к развитию спортивных зрелищных соревнований и центров для их проведения. Однако подобные мероприятия требовали как физической подготовки, так и экономической состоятельности (восстановление древнего афинского стадиона). В этот период спортивно-зрелищные центры возводились без учета дальнейшей рентабельности после проведения соревнований. Это в значительной степени влияло не только на развитие спортивной активности в столице Олимпийских игр, но и на структуру города, которая требовала совершенствования. Однако стоит отметить, что место проведения XXII Олимпийских игр в Москве смогло получить «жизнь после» благодаря большому количеству рекреационных и оздоровительных зон [2, 3].

Россия, начало XX в. До Октябрьской революции состояние отечественного спорта имело слабую базу для подготовки спортсменов: два трека, пять конных манежей, три яхт-клуба и универсальные залы в некоторых гимназиях – весь перечень спортивных сооружений на тот период (все объекты принадлежали клубам: «Сокол», «Богатырь», «Маяк») (рис. 1).

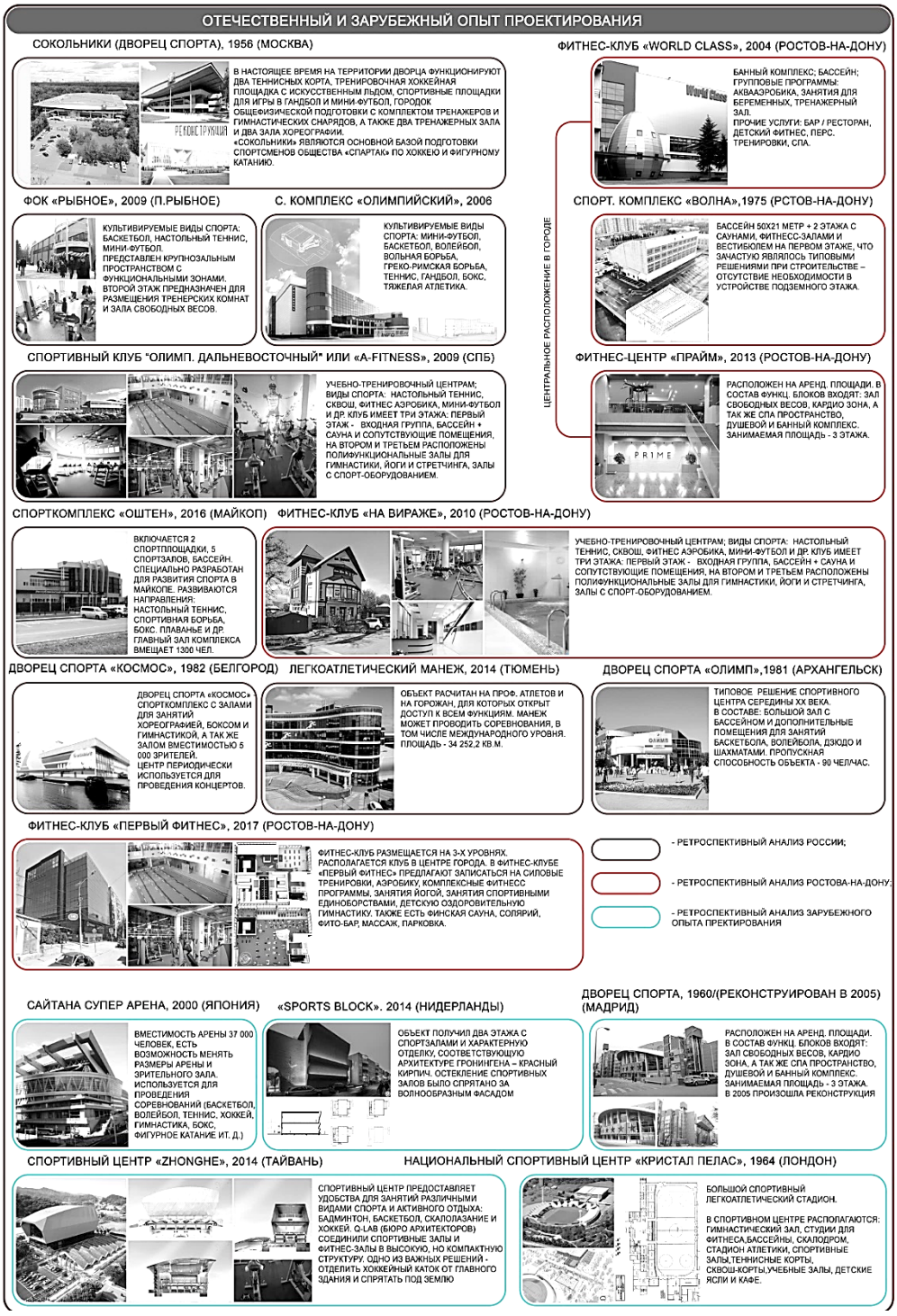


Рис. 1. Отечественный и зарубежный опыт проектирования многофункциональных спортивных комплексов

Первые годы существования СССР были ознаменованы большим вниманием власти к развитию спортивной культуры. Все началось с необходимости возведения простейших сооружений (площадок, футбольных полей) для быстроразвивающихся спортивных клубов.

История развития спортивных сооружений в СССР связана с историей формирования физической культуры, связанной с материальной базой в стране. Среди постановлений партии и правительства стоит выделить особенно те, которые направлены на строительство новых сооружений в городах и сельских районах. В период 1950–1955 гг. имело место основное направление строительства удешевленных баз без сложных конструкций, с трибунами малого объема зрительских мест.

Политика государства, направленная на развитие спортивного движения, способствовала быстрому росту количества спортсменов с высокими спортивными навыками. Развитие крупных спортивных комплексов благоприятно повлияло на исход многих соревнований в пользу Советского государства.

Начиная с 1950-х гг. в СССР начали появляться спортивные подготовительные и тренировочные базы для спортсменов, такие как, например, Дворец спорта «Сокольники» в Москве с максимальной вместимостью 5530 чел. Главным объемно-планировочным элементом здания являлся ледовый каток, использовавшийся для игр в хоккей и фигурного катания, также имелись пространства для занятий гандболом и мини-футболом [3].

Спецификой подобных объектов являлась многофункциональность: объекты строились и использовались главным образом для проведения соревнований, однако почти всегда имели помещения для тренировок.

Особенностью размещения функциональных зон являлось их взаиморасположение и объемно-планировочное решение: тренировочные площадки выносились из общего объема и всегда располагались за основным соревновательным корпусом.

Дворцы спорта Советского Союза имели схожие планировочные решения, как правило, они разделялись на отдельные объемы и не имели вертикального планировочного развития, что отражалось на габаритах занимаемой площади. К типовым решениям спортивных центров можно отнести и Дворец спорта «Олимп» в Архангельской области (г. Коряжма, 1981), в состав которого входили большой зал с бассейном и дополнительные помещения для занятий баскетболом, волейболом, дзюдо и шахматами. Пропускная способность таких объектов составляла около 90 чел./ч.

Спортивный комплекс «Волна» в Ростове-на-Дону (1975) включает бассейн 50×21 м + 2 этажа с саунами, фитнес-залами и вестибюлем на первом этаже, что часто являлось типовыми решениями при строительстве – отсутствие необходимости в устройстве подземного этажа.

В 2006 г. в эксплуатацию был сдан спортивный комплекс «Олимпийский» в Оренбургской области вместимостью около 3000 чел. Комплекс является соревновательным, но благодаря поэтажному расположению удалось достигнуть компактной компоновки на участке: на первом этаже расположены входная группа и залы мини-футбола, борьбы и тяжелой атлетики. Второй уровень включает остальные помещения групповых занятий и административный блок.

Современный спортивный комплекс (XXI в.). На данный момент спортивные комплексы Европы, США и России имеют достаточно большое разнообразие по направленности и по планировочным решениям, которое отражает роль спортивной деятельности в жизни страны. Также принципиальным отличием является и то, как спортивные комплексы проявляют себя в жизни государства. Индивидуальный путь развития российских спортивных баз сильно отличается от системы, принятой в США, но приближен к европейской в плане материальной поддержки государством.

В настоящее время все спортивные комплексы имеют большое разнообразие по функциональной структуре, направленности, а также доступности. Доступные для всех категорий населения спортклубы или фитнес-клубы сейчас отсутствуют, вместо этого существует огромный диапазон спортивных залов и фитнес-центров, принадлежащих отдельным физическим лицам, специализированным школам и клубам спортивных центров, система которых не всегда направлена на воспитание поступивших в юном возрасте спортсменов, последние чаще всего имеют поддержку государства.

Многоуровневые спортивные комплексы в России представлены в основном частными фитнес-клубами и спортцентрами, которые чаще всего сочетают в себе такие виды спорта, как плаванье, борьба, восточные единоборства и силовая подготовка. С каждым годом вариативность и спектр предоставляемых услуг изменяются, что говорит о высокой гибкости данного сектора [4].

Многоуровневый спортивный комплекс является уникальным архитектурным объектом, имеющим ряд характерных особенностей в композиционном, градостроительном и функциональном плане.

Современный спортивный комплекс выполняет следующие функции:

– тренировочную и соревновательную;

– развлекательную и досуговую;

– информационно-методическую;

– общение и обмен информацией;

– обучающую (воспитательную);

– физкультурно-оздоровительную.

Состав спортивных комплексов разнообразен, при этом модифицируется с течением времени, что обусловлено появлением новых видов спорта. Спектр оказываемых услуг и объемы этих услуг зависят от спроса, от времени и моды. В таких случаях крайне важен аспект мобильности и изменяемости зданий [5, 6].

При определении функционально-планировочной структуры многоуровневого спортивного комплекса в отдельную группу необходимо выносить следующие вопросы:

– идентификация объекта в существующей системе спортивных сооружений;

– уровень и виды проводимых мероприятий;

– виды физкультурно-оздоровительных и учебно-тренировочных занятий;

– клиентские группы;

– оснащение инженерным и спортивным оборудованием;

– возможность трансформации;

– МГН как занимающиеся ФКиС;

– персонал и обслуживание объекта, включая аутсорсинг.

В ходе исследования, изучения статистических данных, по всем округам РФ было выявлено, что из всех занимающихся спортом в РФ лишь 19 % населения занимаются на постоянной основе, т. е. не реже трех раз в неделю посещают спортивные залы, что составляет лишь треть от процента регулярно занимающегося спортом населения в западных странах (рис. 2).

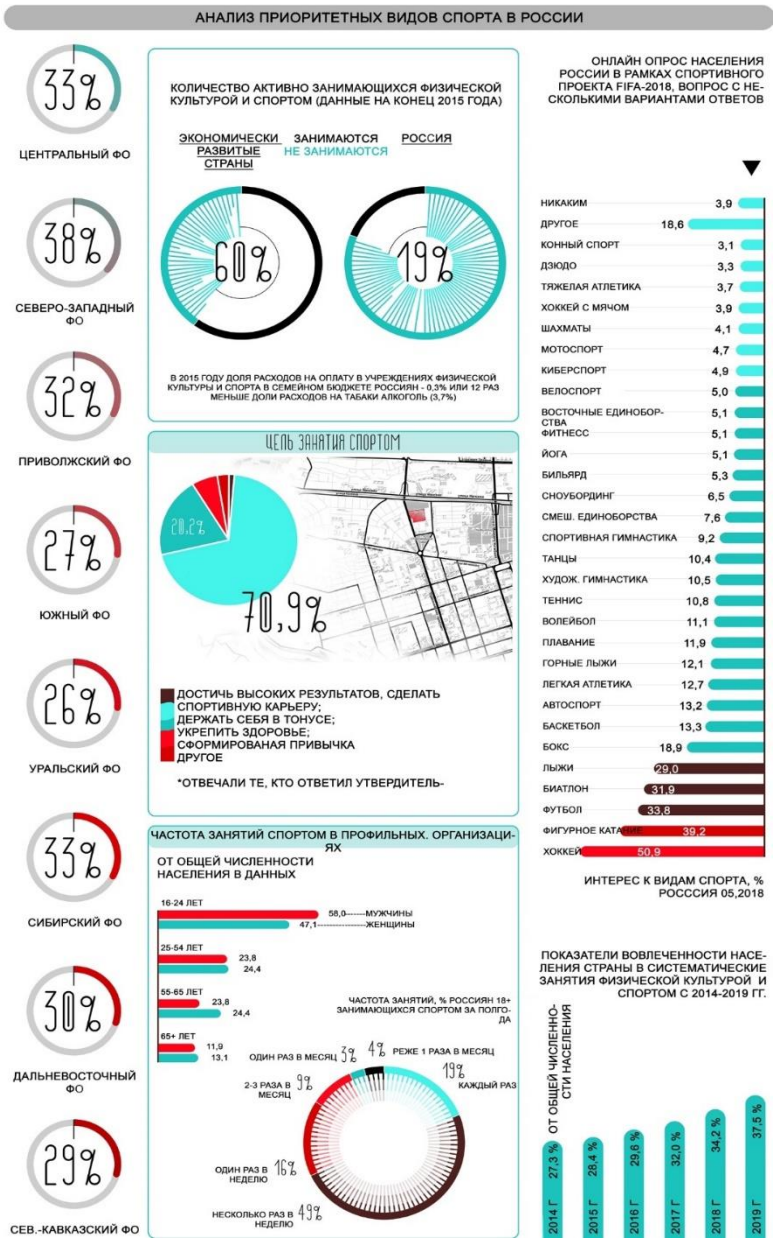


Рис. 2. Статистический анализ приоритетных видов спорта в России

В ходе исследования, изучения нормативной документации, статистических данных, анкетирования (выборка составила 489 анкет), было выявлено, что оптимальным расположением многоуровневого спортивного комплекса является центральный планировочный район крупнейшего города, что определено доступностью и равномерной отдаленностью от основных районов города [7–9].

Опираясь на статистику, представленную на рис. 2, стоит уделить внимание фактору вовлеченности потребителей в конкретные виды спорта: футбол, хоккей, фигурное катание, единоборства, легкая атлетика. Данные виды в настоящее время являются приоритетными для большей части занимающихся, а возможность их комбинирования дает шанс создать объект с большим потенциалом для привлечения дополнительного объема молодых спортсменов.

Данные мировой статистики заинтересованности населения также дали дополнительные сведения, которые подтверждают обоснованность многоуровневого спортивного комплекса с широким диапазоном функций и развития сценариев для популяризации спорта. Из анализа мирового опыта можно выделить основную функциональную «наполненность» многоуровневого спортивного комплекса. Лидирующие позиции занимают:

– футбол (53 %) – Россия, Мексика, Бразилия;
– хоккей (32 %) – Канада, Финляндия, Швеция, Чехия;
– американский футбол (35 %) – США, Австралия, Бразилия, Бельгия;
– бейсбол (14 %) – США, Венесуэла, Китай, Япония.

В европейских странах лидируют:

– футбол (45 %);
– зимние виды спорта (19 %);
– легкая атлетика (13 %);
– большой теннис (11 %);
– единоборства (7 %);
– гольф (5 %) (рис. 3) [10].

По планировочной структуре целесообразно следующее размещение по уровням:

– первый уровень: вестибюльная группа, помещения административно-хозяйственного назначения, помещения, имеющие зрелищную и торгово-развлекательную направленность, залы, предназначенные для борьбы, различных единоборств, тяжелой атлетики (если есть возможность организации собственных фундаментов для помостов), а также доступ к зрительским трибунам;

– второй уровень: плавательный бассейн с сопутствующими помещениями, если позволяет площадь, возможно размещение универсального игрового зала;

– верхние уровни: спортивные объекты, размещаемые на верхних уровнях, не имеют жесткой регламентации по размещению по вертикали объекта. На верхних уровнях могут размещаться: ледовая арена, легкоатлетический зал, универсальные и специализированные залы для игровых видов спорта, танцевальные залы, залы индивидуальной силовой подготовки, СПА зона и пр.

По вертикали многоуровневые спортивные комплексы желательно ограничить 5–6 уровнями, что связано с рядом экономических факторов, эвакуацией занимающихся, а также удобством доступа [11].

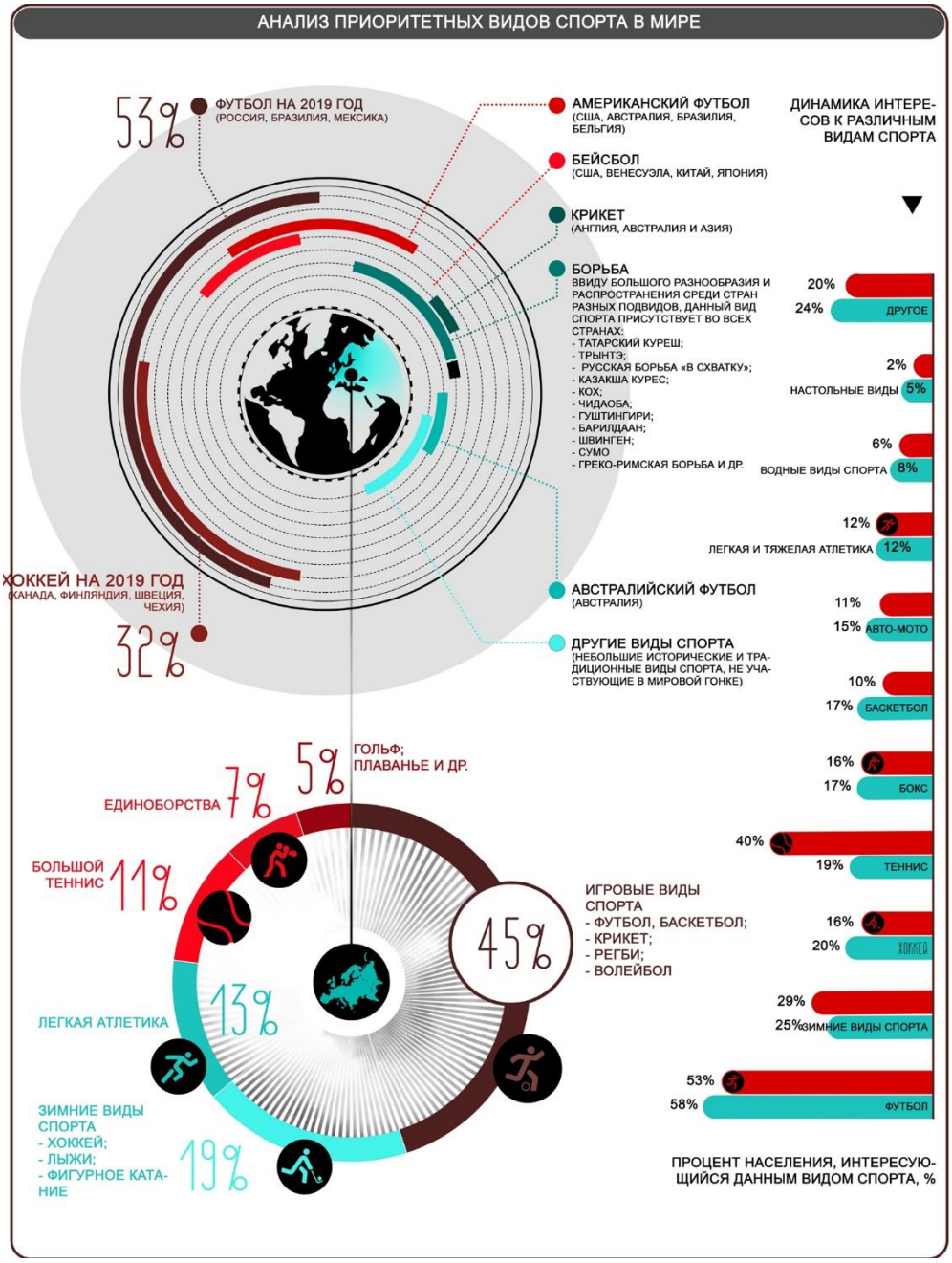


Рис. 3. Статистический анализ приоритетных видов спорта в мире

Многоуровневый спортивный комплекс предназначается для круглогодичного обслуживания населения.

Наиболее приемлемая схема размещения функциональных элементов по уровням (рис. 4):

– подземный уровень: парковка, размещение помещений инженерного и технического назначения, подсобные и складские помещения;

– первый уровень: вестибюльная группа с учреждениями общественного питания, торговли и проката; административные помещения; размещение объекта для водного вида спорта и ледовая арена с сопутствующими функциональными элементами;

– второй уровень: залы для игровых видов спорта (волейбол, баскетбол/гандбол), сопутствующие помещения и помещения хозяйственного назначения;

– третий-четвертый уровни: универсальные спортивные залы с зонами индивидуальной силовой подготовки, теннисные корты с сопутствующими функциональными элементами и административно-хозяйственными помещениями.

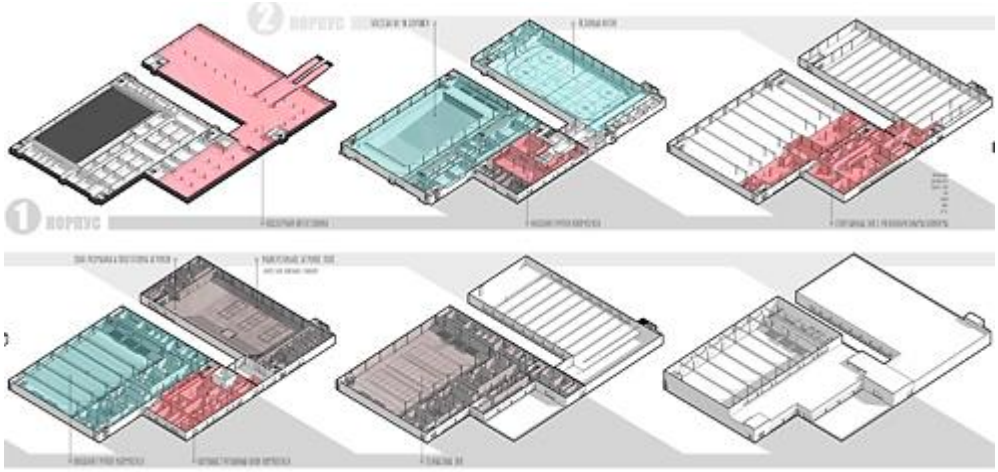


Рис. 4. Схема планировочной организации по вертикали многоуровневого спортивного комплекса

Заключение

Разработка и внедрение многоуровневых спортивных комплексов в инфраструктуру крупнейших городов позволят в значительной степени повысить доступность спортивных объектов для населения.

Многоуровневые спортивные комплексы помогают увеличить количество видов спорта для занимающихся в едином объекте, что позволит повысить и экономическую эффективность подобного рода объектов.

Библиографический список

1. *Шипилов Р.В.* История возникновения и развития спортивных сооружений // Известия КазГАСУ. 2009. № 2 (12). С. 36–42.
2. *Каратаев О.Р., Каратаева Е.С., Кузнецов А.С.* Спортивные сооружения. Казань : Поволжская ГАФКСиТ, 2011. 274 с.
3. *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.

4. *Хуснутдинов К.С.* Массовый спорт в Российской Федерации как объект социального регулирования : диссертация на соискание ученой степени кандидата социологических наук. Казань, 2004. 233 с.
5. *Бурлаков И.Р.* Специализированные сооружения для игровых видов спорта. Москва : СпортАкадемПресс, 2001. 116 с.
6. *Димитров И.Л., Починкин А.В., Вишейко С.В., Козуб Н.* Студенческий спортивный клуб: взаимодействие с заинтересованными сторонами // Проблемы и инновации спортивного менеджмента, рекреации и спортивно-оздоровительного туризма : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2017. С. 71–74.
7. *Аристова Л.В.* Физкультурно-спортивные сооружения. Москва : СпортАкадемПресс, 1999. 536 с.
8. *Колеватых Д.А.* Макрофактурные элементы городского архитектурно-пространственного полотна // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 6. С. 88–96.
9. *Валяева Н.А., Карелин Д.В.* Развитие застроенных территорий. Основные аспекты реализации // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4. С. 19–27.
10. *Статистика спорта*. URL: https://vawilon.ru/statistika-sporta/ (дата обращения: 19.08.2021).
11. *Аристова Л.В., Бойко В.В.* Физкультурно-оздоровительные и спортивные сооружения. Правила, рекомендации, нормы по ремонту, реконструкции и техническому обслуживанию. Москва : Советский спорт, 1998. 399 с.

REFERENCES

1. *Shipilov R.V.* Istoriya vozniknoveniya i razvitiya sportivnykh sooruzhenii [History of emergence and development of sporting facilities]. *Izvestiya KazGASU*. 2009. No. 2 (12). Pp. 36–42. (rus)
2. *Karataev O.R., Karataeva E.S., Kuznetsov A.S.* Sportivnye sooruzheniya [Sporting facilities]. Kazan: Povolzhskaya GAFKSiT, 2011. 274 p. (rus)
3. *Gaikova L.V., Babadzhanova A.I.* Osobennosti istoriko-arkhitekturnogo razvitiya fizkul'turno-ozdorovitel'nykh zdanii i kompleksov [Historical and architectural development of sports and recreation buildings and complexes]. *Architecture and Modern Information Technologies*. 2020. No. 1 (50). Pp. 136–153. (rus)
4. *Khusnutdinov K.S.* Massovyi sport v Rossiiskoi Federatsii kak ob"ekt sotsial'nogo regulirovaniya: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata sotsiologicheskikh nauk [Mass sports in the Russian Federation as social regulation. PhD Thesis]. Kazan', 2004. 233 p. (rus)
5. *Burlakov I.R.* Spetsializirovannye sooruzheniya dlya igrovykh vidov sporta [Specialized facilities for game sports]. Moscow: SportAkademPress, 2001. 116 p. (rus)
6. *Dimitrov I.L., Pochinkin A.V., Visheiko S.V., Kozub N.* Studencheskii sportivnyi klub: vzaimodeistvie s zainteresovannymi storonami [Student sports club: Interaction with stakeholders]. Problemy i innovatsii sportivnogo menedzhmenta, rekreatsii i sportivno-ozdorovitel'nogo turizma: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (*Proc. All-Russian Conf. 'Problems and Innovations of Sports Management, Recreation Tourism'*). 2017. Pp. 71–74. (rus)
7. *Aristova L.V.* Fizkul'turno-sportivnye sooruzheniya [Physical culture and sporting facilities]. Moscow: SportAkadem-Press, 1999. 536 p. (rus)
8. *Kolevatykh D.A.* Makrofakturnye elementy gorodskogo arkhitekturno-prostranstvennogo polotna [Macrotextural elements of urban architecture and environment]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 6. Pp. 88–96. (rus)
9. *Valyaeva N.A., Karelin D.V.* Razvitie zastroennykh territorii. Osnovnye aspekty realizatsii [The development of built-up areas. Main aspects]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 4. Pp. 19–27. (rus)
10. Statistika sporta [Sports statistics]. Available: https://vawilon.ru/statistika-sporta/ (accessed August 19, 2021). (rus)
11. *Aristova L.V., Boiko V.V.* Fizkul'turno-ozdorovitel'nye i sportivnye sooruzheniya. Pravila, rekomendatsii, normy po remontu, rekonstruktsii i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu [Fitness and

sporting facilities. Rules, recommendations on repair, reconstruction and maintenance]. Moscow: Sovetskii sport, 1998. 399 p. (rus)

Сведения об авторе

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

Author Details

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

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.045.04 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-76-86

Г.И. ГРЕБЕНЮК[1], В.И. МАКСАК[1], М.С. ВЕШКИН[2],
[1]Томский государственный архитектурно-строительный университет,
[2]Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЗАДАЧЕ ОПТИМИЗАЦИИ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

Выполнен сравнительный анализ трудоёмкости задачи оптимизации многоэлементной стержневой системы, нагруженной статической и импульсной нагрузками, при переменном числе параметров проектирования.

Показано, что конструктивный принцип обобщения переменных проектирования позволяет значительно понизить трудоемкость решения задачи оптимизация, но существенно снижает качество оптимального решения.

Предложены подходы к обобщению многомерного вектора параметров проектирования к двумерному случаю при активных ограничениях по максимальному эквивалентному напряжению и перемещению. Решен пример оптимизации рамной конструкции, иллюстрирующий эффективность предложенных подходов.

Ключевые слова: стержневая система; импульсные нагрузки; расчет; оптимизация; параметры проектирования; направленное обобщение.

Для цитирования: Гребенюк Г.И., Максак В.И., Вешкин М.С. Оценка эффективности использования обобщенных переменных проектирования в задаче оптимизации стержневых систем при импульсном нагружении // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 76–86.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-76-86

G.I. GREBENYUK[1], V.I. MAKSAK[1], M.S. VESHKIN[2],
[1]Tomsk State University of Architecture and Building,
[2]Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering

GENERALIZED DESIGN VARIABLES IN ROD SYSTEM OPTIMIZATION UNDER PULSE LOAD

The paper presents the comparative analysis of optimization of the multi-element rod system under static and pulse loads at a variable number of design parameters. It is shown that the

© Гребенюк Г.И., Максак В.И., Вешкин М.С., 2022

design concept of generalization of design variables can significantly reduce not only the complexity of solving the optimization problem, but also the quality of the optimum solution. Approaches are proposed for generalizing the multidimensional design parameters for the two-dimensional case at the restrictions of the maximum equivalent stress and strain. The proposed optimization of the frame structure proves the effectiveness of these approaches.

Keywords: rod system; pulse load; design calculation; optimization, design parameters, generalization.

For citation: Grebenyuk G.I., Maksak V.I., Veshkin M.S. Otsenka effektivnosti ispol'zovaniya obobshchennykh peremennykh proektirovaniya v zadache optimizatsii sterzhnevykh sistem pri impul'snom nagruzhenii [Generalized design variables in rod system optimization under pulse loading]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 76–86.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-76-86

Введение

В большинстве первых работ в области оптимального проектирования конструкций задачи оптимизации конструкций (задачи ОК) ставились при статическом нагружении и решались на основе алгоритма прочностного перерасчета [1–3]. В дальнейшем появилось множество работ, в которых задачи ОК ставились и решались как задачи математического программирования (задачи МП) как при статическом, так и при динамическом нагружениях [4–8 и многие другие].

По-видимому, в силу того, что постановка и разработка алгоритмов решения задач ОК при динамическом нагружении значительно сложнее, чем постановка и решение аналогичных задач при статическом нагружении, число исследований в этом направлении сравнительно невелико. Попытки использования хорошо разработанных алгоритмов оптимизации статически нагруженных систем в задачах ОК при динамическом воздействии часто приводили к неудачам в силу разных причин, в том числе в силу накопления ошибок счёта. Во многих работах по проблемам ОК при динамическом нагружении основное внимание было уделено разработке алгоритмов, позволяющих избежать в оптимальной конструкции резонанса с заданными вибрационными нагрузками [9–11]. Значительно меньше внимания в исследованиях уделено рассмотрению задач ОК при нестационарных динамических нагрузках (в том числе импульсных). Здесь можно отметить более ранние работы [6, 7], а также недавние работы [12–14] авторов настоящей статьи и, например, статью [15].

Основным недостатком алгоритмов оптимизации динамических нагруженных систем, в случае постановки задач ОК как задач МП, является их высокая трудоемкость при большом числе варьируемых параметров и ограничений, что характерно для сложных многоэлементных систем. Это связано с повышенной трудоемкостью динамического расчёта по сравнению со статическим, а также необходимостью построения аппроксимаций параметров состояния системы в рамках итерационного процесса оптимизации [7]. При использовании процесса ОК без построения аппроксимаций параметров состояния системы, в рамках выбранного метода решения условно экстремальной задачи МП (что

используется в данной работе), трудоемкость решения значительно повышается при большом числе варьируемых параметров.

К наиболее эффективным приёмам снижения трудоёмкости задач ОК относится направленное обобщение переменных проектирования с использованием каких-либо критериев (конструктивных либо физических), а также рациональная декомпозиция исходной задачи ОК путём разделения её на этапы, с наиболее эффективным выполнением отдельных этапов в итерационном процессе поиска оптимального решения.

Вопросы рациональной декомпозиции исходных задач оптимизации, поставленных как задачи МП при статическом нагружении, рассматривались в [16, 17]. Целью настоящей работы является рассмотрение актуальных вопросов понижения трудоёмкости задач оптимизации многопараметрических динамически загруженных систем (в частности, при импульсном нагружении) путем введения обобщенных параметров проектирования и рационального сочетания методики перерасчёта с решением формируемых задач МП в пространстве обобщённых переменных проектирования.

1. Общая структура поэтапного итерационного процесса ОК при динамическом нагружении

Предлагаемая структура итерационного процесса оптимизации динамически нагруженных систем показана на рис. 1. Как следует из рис. 1, весь процесс ОК на итерации разделён на два этапа.

На этапе 1 поэлементной оптимизации проводится первый перерасчет динамически нагруженной системы при заданных исходных значениях $X_i^{0,k}$ на итерации k. Далее, при фиксированных значениях параметров состояния $P\left(X^{0,k}\right)$ либо переопределяются геометрические параметры элементов системы при заданной форме сечения путем подбора их из условия прочности, либо, если этих параметров сечений несколько, они определяются на этапе 1 путем решения задач МП для каждой группы ОЭ при условно фиксированных параметрах состояния системы $P\left(X\right)=P\left(X^{0,k}\right)$.

В результате определяется новый вектор варьируемых параметров $\overline{X}^{0,k}$ на этапе 1 итерации k и проводится перерасчёт системы при $X=\overline{X}^{0,k}$. На заключительном шаге 2b этапа 1 проводится разделение групп ОЭ, а следовательно, и варьируемых параметров групп ОЭ на обобщённые группы.

На этапе 2 оптимизации всей системы проводится формирование и решение условно экстремальной задачи ОК при варьировании обобщенных параметров Y_1, Y_2 на итерации k. При этом аппроксимации зависимостей для составляющих вектора параметров состояния $\overline{P}^k\left(Y_1,Y_2\right)$ не проводятся, а задача МП для всей системы решается в рамках выбранных методов поиска решения условно экстремальной задачи, когда при каждом необходимом изменении вектора $\left\{Y_1,Y_2\right\}^T$ в процессе поиска проводится перерасчёт динамически нагруженной системы.

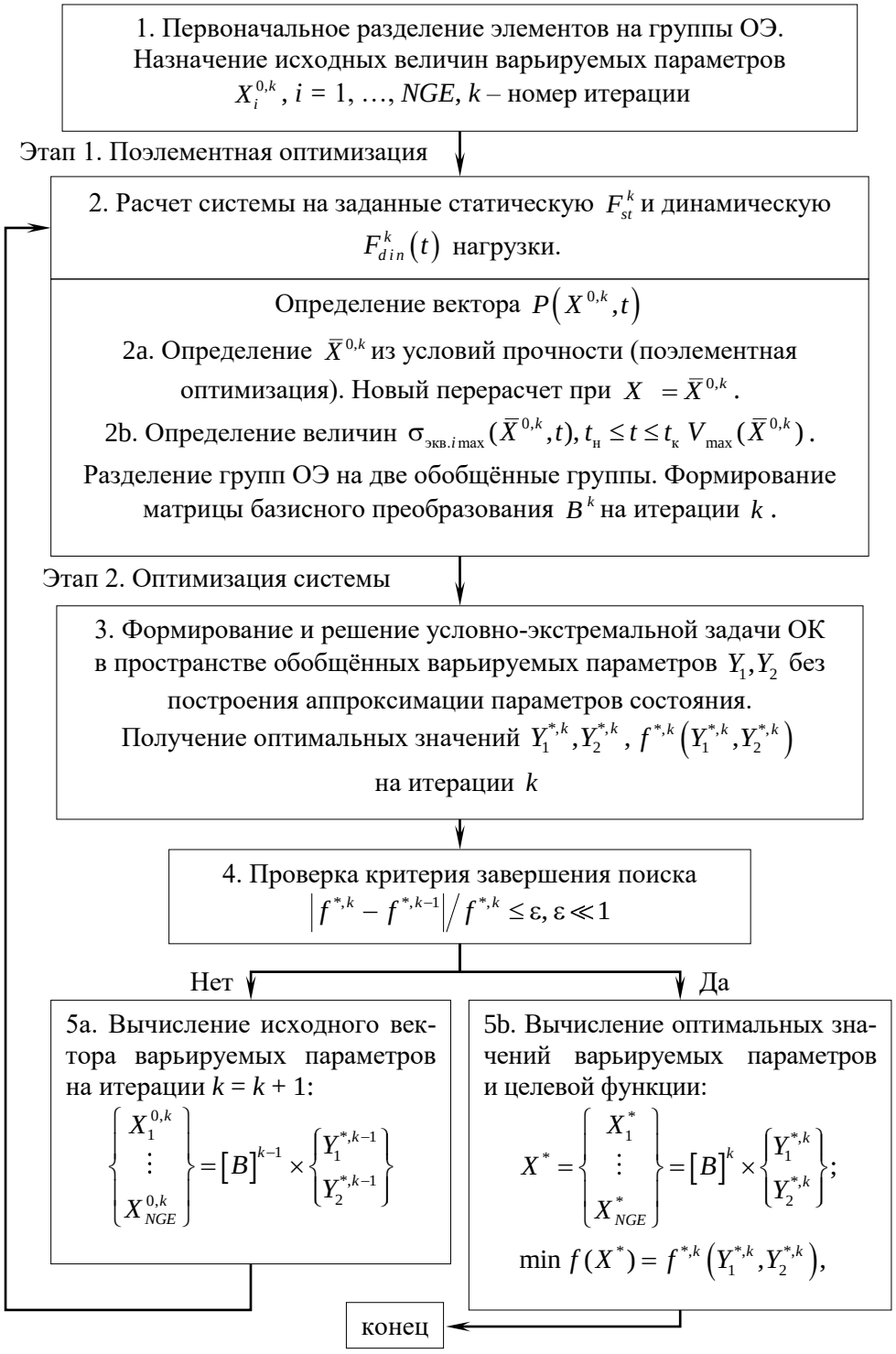


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оптимизации

2. Приёмы обобщения переменных проектирования

2.1. Конструктивное обобщение

Этот приём рационально применять при наличии многоэлементных групп унификации. В настоящей работе при рассмотрении примера оптимизации плоской рамной системы использовалось конструктивное разделение всех несущих элементов каркаса на две группы (колонны, ригели), а также поэтажное разделение колонн и ригелей каркаса на 15 групп ОЭ (см. пример расчёта).

2.2. Направленное разделение групп ОЭ на обобщённые группы с использованием принятых физических критериев

С формальной точки зрения процедура обобщения переменных проектирования на итерации k состоит в определении соотношения

$$X^k = B^k \cdot Y, \qquad (1)$$

где $X^k \in E^n$ – исходный вектор переменных проектирования; $Y \in E^r$ – вектор обобщенных параметров проектирования; $r \ll n$; B^k – матрица базисного преобразования на итерации k.

Нетрудно заметить, что наиболее эффективным с точки зрения трудоемкости решения задачи МП на этапе оптимизации системы (см. рис. 1) будет случай, когда $r = 2$, т. е. все группы ОЭ разделяются на две обобщенные группы. Ниже предлагаются подходы для подобного разделения с использованием физически обоснованных критериев.

Пусть на итерации k активным является ограничение по прочности. С учетом найденных значений составляющих вектора параметров состояния $P\left(\bar{X}^{0,k}, t\right)$ (усилий в сечениях элементов групп) в циклах по элементам групп при расчетном сочетании нагрузок и в заданном интервале действия динамической нагрузки находятся величины максимальных эквивалентных напряжений в группах ОЭ согласно выбранной теории прочности:

$$\max \sigma_{\text{экв}.i}(\bar{X}^{0,k}, t), \;\; i = 1, \; \ldots, \; \bar{n}; \; t_{\text{н}} \le t \le t_{\text{к}}, \qquad (2)$$

где $\bar{n}$ – число групп ОЭ; $\left[t_{\text{н}}, t_{\text{к}}\right]$ – интервал времени, на котором анализируется работа динамически нагруженной системы.

Далее находится среднее значение:

$$\sigma_{\text{экв}.m}(\bar{X}^{0,k}) = \frac{1}{\bar{n}} \sum_{i=1}^{\bar{n}} \max \sigma_{\text{экв}.i}(\bar{X}^{0,k}, t). \qquad (3)$$

Разделение групп ОЭ на обобщенные группы проводится согласно соотношениям:

если $\max \sigma_{\text{экв}.i}(\bar{X}^{0,k}, t) > \sigma_{\text{экв}.m}(\bar{X}^{0,k}), i \in I_1; \; t_{\text{н}} \le t \le t_{\text{к}}, \qquad (4)$

если $\max \sigma_{\text{экв}.i}(\bar{X}^{0,k}, t) < \sigma_{\text{экв}.m}(\bar{X}^{0,k}), i \in I_2; \; t_{\text{н}} \le t \le t_{\text{к}}, \qquad (5)$

где I_1, I_2 – множества номеров более или менее нагруженных групп ОЭ.

В таком случае матрица базисного преобразования на итерации *k* имеет вид

$$B = \begin{bmatrix} b_{1,1}^k & b_{1,2}^k \\ \vdots & \\ b_{\bar{n},1}^k & b_{\bar{n},2}^k \end{bmatrix}, \qquad (6)$$

где $b_{i,1}^k = \bar{X}_i^{0,k}$; $b_{i,2}^k = 0$, если $i \in I_1$, $b_{i,1}^k = 0$; $b_{i,2}^k = \bar{X}_i^{0,k}$, если $i \in I_2$.

Описанный подход соответствует разделению варьируемых параметров групп ОЭ на две обобщенные группы, т. е. наиболее оптимальному случаю обобщения исходных переменных проектирования.

При активном ограничении на перемещение δ_r критерием разделения групп ОЭ на обобщенные группы могут служить удельные величины $u_i\left(\bar{X}^{0,k}\right)$ вкладов в активное перемещение, связанные с деформированием групп ОЭ. Используя метод Мора и считая нагрузку на стержневую систему узловой, получим

$$u_i\left(\bar{X}^{0,k}\right) = \frac{\sum\limits_{j \in I_1} \bar{\delta}^T\left(\bar{X}^{0,k}\right) a^{(j)T} \cdot S^{(j)}\left(\bar{X}^{0,k}, t_{\text{ОП}}^{r,k}\right)}{G_i\left(\bar{X}^{0,k}\right)}, \qquad (7)$$

где $\bar{\delta}^T\left(\bar{X}^{0,k}\right)$ – вектор перемещений узлов стержневой системы от единичного воздействия в направлении активного перемещения; $S^{(j)}\left(\bar{X}^{0,k}, t_{\text{ОП}}^{r,k}\right)$ – вектор концевых усилий j-го элемента i-й группы, вычисляемый на основе динамического расчёта в опасный (по величине активного перемещения δ_r) момент времени $t_{\text{ОП}}^{r,k}$; $a^{(j)T}$ – матрица, на основе которой учитываются жесткостные характеристики j-го элемента; $G_i\left(\bar{X}^{0,k}\right)$ – суммарный объём элементов i-й группы ОЭ.

В дальнейшем процедура разделения на обобщенные группы аналогична (1) – (6).

Интересен случай, когда ограничения по прочности и жесткости одновременно близки к активным. В этом случае также можно разделить группы ОЭ на две обобщенные группы согласно нижеследующему алгоритму.

1. Определяются массивы номеров групп ОЭ более и менее нагруженных и удельно-деформированных $I_{1\sigma}, I_{2\sigma}$; $I_{1\varepsilon}, I_{2\varepsilon}$.

2. Проводится разделение на две обобщенные группы, формируется матрица B базисного преобразования при соблюдении следующих условий:

если $i \in I_{1\sigma}, I_{1\varepsilon}$, $b_{i,1}^k = \bar{X}_i^{0,k}$; $b_{i,2}^k = 0$; (8)

если $i \in I_{2\sigma}, I_{2\varepsilon}$, $b_{i,1}^k = 0$; $b_{i,2}^k = \bar{X}_i^{0,k}$; (9)

если $i \in I_{1\sigma}, I_{2\varepsilon}$ или $i \in I_{2\sigma}, I_{1\varepsilon}$, $b_{i,1}^k = b_{i,2}^k = \frac{1}{2}\bar{X}_i^{0,k}$. (10)

3. Анализ результатов решения тестовой задачи. Основные выводы

В качестве тестовой использована ранее рассмотренная задача расчета и оптимизации пятиэтажной двухпролетной плоской рамы [14]. Схема рамы, форма сечений элементов, а также форма импульсной нагрузки во времени приведены на рис. 2–4.

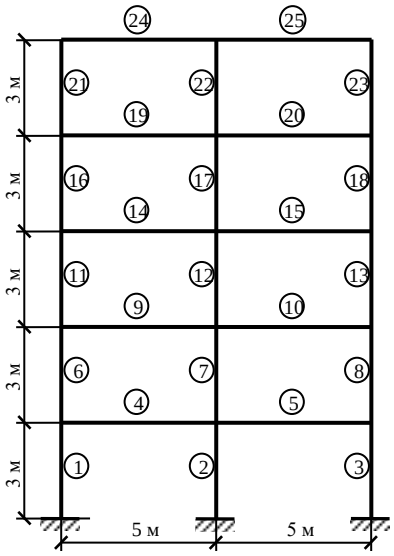


Рис. 2. Схема рамы

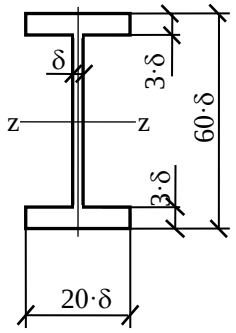


Рис. 3. Форма сечения

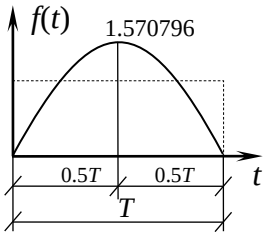


Рис. 4. Форма импульса

В качестве целевой функции принят объём элементов рамы. Так как форма сечений всех элементов рамы одинакова, варьируемыми являются параметры $x_i = \delta_i$, $i = 1,\ldots,\overline{n}$. Учитываются ограничения по прочности и жесткости.

Условия прочности имеют вид: $\max \sigma_{\text{экв}.i} \le 200$ МПа, $i = 1, \ldots, 25$.

Условие жёсткости наложено на максимальное горизонтальное перемещение верхних узлов рамы (не должно превышать величины $1/500H$ = 0,03 м либо $1/1000H$ = 0,015 м, H =15 м – высота рамы).

Рассмотрены проекты при следующих вариантах обобщения групп ОЭ:

1. Конструктивное обобщение на две группы (колонны, ригели).

2. Обобщение по нагруженности при 25 исходных группах ОЭ (каждый элемент – отдельная группа ОЭ).

3. Комбинированное обобщение при 15 конструктивных группах ОЭ (на каждом из пяти этажей по три группы ОЭ – 2 крайние колонны, одна средняя колонна, 2 ригеля). В данном случае комбинируются конструктивное обобщение и обобщение по нагруженности конструктивных групп ОЭ.

В таблице представлены результаты решения задачи оптимизации объема элементов рамы без использования и с использованием обобщения групп ОЭ по нагруженности.

Результаты решения задачи оптимизации объёма элементов рамы

Число групп унификации	Результаты без использования обобщения по нагруженности		Результаты с использованием обобщения по нагруженности		Расхождение результатов
	Значение целевой функции, $м^3$	Значения параметров X_i, мм	Значение целевой функции, $м^3$	Значения параметров X_i, мм	
2	0,7486	7,38; 6,08	–	–	–
15	0,5733	5,12–7,51	0,5636	4,20–7,41	1,69 %
25	0,5713	5,16–7,48	0,5605	4,18–7,42	1,89 %

Как показали результаты расчётов, конструктивное разделение элементов рамы на две группы (колонны, ригели), выгодное с позиции трудоемкости возведения каркаса рамы, при заданной целевой функции (минимум объёма элементов рамы) приводит к перерасходу материала элементов рамы примерно на 22,9 % по сравнению с оптимальными проектами, использующими обобщёние групп ОЭ по нагруженности.

Проект, найденный без использования обобщения по нагруженности при 15 конструктивных группах ОЭ, и проект без конструктивного обобщения и обобщения по нагруженности (в пространстве исходных переменных $x \in E^{25}$) оказались весьма близки по значениям целевой функции. При этом проект, соответствующий большему числу групп ОЭ ($NGE = 25$), несколько лучше, что подтверждает постулат теории оптимизации. Однако условная трудоёмкость получения оптимальных решений без использования обобщения по нагруженности оказалась весьма значительной (8000–10 000 перерасчетов динамически нагруженной системы).

Сравнивая оптимальные проекты, полученные без обобщения и с обобщением пространства проектирования по нагруженности групп ОЭ, можно отметить, что по значению целевой функции они очень близки. Расхождение результатов оптимизации для случая $NGE = 15$ составляет 1,69 %, а для случая $NGE = 25$ – 1,89 %. Это говорит о высокой эффективности данного физического критерия обобщения. При этом условная трудоёмкость получения оптимального решения с использованием обобщения по нагруженности оказалась весьма незначительной и составила в данном тестовом примере 76–100 перерасчетов динамически нагруженной системы.

Менее значительным, но также весьма существенным (с позиции трудоёмкости решения задачи оптимизации) ожидается эффект использования приёма обобщения групп ОЭ по удельной деформированности при активном ограничении по жёсткости системы.

Это прогнозируется в связи с усложнением процедуры обобщения, необходимостью проведения дополнительных статических расчётов системы и вычисления значений удельной деформированности групп ОЭ при динамическом нагружении.

Обобщая всё вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Предложены эффективные приёмы направленного обобщения переменных проектирования в задачах оптимизации упругих стержневых систем при произвольном (в том числе импульсном) динамическом нагружении.

2. Приведённый пример оптимизации рамной стержневой системы, нагруженной статической и импульсной нагрузками, свидетельствует о высокой эффективности предложенных приёмов декомпозиции динамически нагруженных систем.

3. Выполненная теоретическая разработка и программная реализация расчёта и оптимизации могут служить для расширения и углубления теоретических исследований по вопросам развития методов многопараметрической оптимизации упругих стержневых систем при динамическом (в том числе импульсном) нагружении.

Библиографический список

1. *Сергеев Н.Д., Богатырев А.Н.* Проблемы оптимального проектирования конструкций. Москва : Стройиздат, 1971. 136 с.
2. *Рейтман М.И., Шапиро Г.С.* Методы оптимального проектирования деформируемых тел. Москва : Наука, 1976.
3. *Belsare S.V., Arora J.S.* An algorithm for Engeneering design Optimization // Int. jornal for Numer. Meth in Engeneer. 1983. V. 19. P. 841–858.
4. *Schmit L.A.* Stuctural Optimization. Some Key Ideas and Insights // New Directions in Optimum structures Design / Ed. Atreck et Al. Cichester : Wiley, 1984. P. 1–45.
5. *Баничук Н.В.* Введение в оптимизацию. Москва : Наука, 1986. 302 с.
6. *Feng T.T., Arora J.S., Hang E.J.* Optimum Structural Design Under Dynamic Loads // Jnt. j. Numerical Methods in Ing. 1977. V. 11. № 1. P. 39–52.
7. *Хог Э., Арора Я.* Прикладное и оптимальное проектирование. Механические системы и конструкции. Москва : Мир, 1983. 478 с.
8. *Лазарев И.Б.* Основы оптимального проектирования конструкций. Задачи и методы. Новосибирск : СГУПС, 1995. 295 с.
9. *Ляхович Л.С., Малиновский А.П.* Оптимизация по несущей способности и частоте колебаний // Проектирование конструкций в Красноярском крае. 1979. № 12. С. 103–113.
10. *Ляхович Л.С., Платохин А.Н.* Оптимизация жесткостей упругих связей при ограничении на величину первой частоты собственных колебаний // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1986. № 7. С. 26–29.
11. *Гербер Ю.А., Себешев В.Г.* Особенности расчета надежности динамически нагруженных систем с учетом эффекта нелинейности амплитудно-частотных характеристик в резонансных зонах // Изв. вузов. Строительство. 2017. № 5. С. 5–16.
12. *Гребенюк Г.И., Роев В.И., Вешкин М.С.* Оптимизация стержневых систем при действии импульсных нагрузок // Проблемы оптимального проектирования сооружений : доклады IV Всероссийского семинара. Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2002. С. 108–118.
13. *Гребенюк Г.И., Вешкин М.С.* Дискретные модели расчета и оптимизации стержневых конструкций при импульсном нагружении // Известия Алтайского ГУ. 2012. № 1 1 (73). С. 36–38.
14. *Гребенюк Г.И., Вешкин М.С.* Разработка алгоритмов численного расчёта и оптимизации стержневых систем при действии импульсных нагрузок // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 4 (45). С. 106–116.
15. *Соболев В.И, Нгуен Фу Туан.* Обеспечение минимального значения амплитуд собственных колебаний упругих систем при воздействии мгновенного импульса // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 3 (19). С. 34–38.

16. *Гребенюк Г.И.* Преобразование исходной задачи конечномерной оптимизации при проектировании конструкций // Прочность и устойчивость инженерных сооружений. Барнаул : АПИ, 1987. С. 15–22.
17. *Гребенюк Г.И.* Эффективный метод декомпозиции задач оптимизации конструкций // Проблемы фундаментальных наук : труды II Межд. конф. Москва, 1994.

REFERENCES

1. *Sergeev N.D., Bogatyrev A.N.* Problemy optimal'nogo proektirovaniya konstrukcij [Optimum structural design problems]. Moscow: Stroiizdat, 1971. 136 p. (rus)
2. *Rejtman M.I., Shapiro G.S.* Metody optimal'nogo proektirovaniya deformiruemyh tel [Optimum design solutions for deformable bodies]. Moscow: Nauka, 1976. (rus)
3. *Belsare S.V., Arora J.S.* An algorithm for Engineering design Optimization. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 1983, V. 19. Pp. 841–858.
4. *Schmit L.A.* Structural optimization some key ideas and insights. In: New Directions in Optimum Structural Design. E. Atrek et al., eds, Chichester: Wiley, 1984. Pp. 1–45.
5. *Banichuk N.V.* Vvedenie v optimizaciyu [Introduction to optimization]. Moscow: Nauka, 1986. 302 p. (rus)
6. *Feng T.T., Arora J.S., Haug E.J.* Optimal structural design under dynamic loads. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 1977. V. 11. No. 1. Pp. 39–52.
7. *Hog E.J., Arora J.* Prikladnoe i optimal'noe proektirovanie. Mekhanicheskie sistemy i konstrukcii [Applied and optimal design: Mechanical systems and structures]. Moscow: Mir, 1983, 478 p. (transl. from Engl.)
8. *Lazarev I.B.* Osnovy optimal'nogo proektirovaniya konstruktsii. Zadachi i metody [Bases of optimum design. Tasks and methods]. Novosibirsk, 1995. 295 p. (rus)
9. *Lyakhovich L.S., Malinovskii A.P.* Optimizatsiya nesushchei sposobnosti po ustoichivosti i chastote kolebanii [Optimization of bearing capacity of stability and frequency]. In: Proektirovanie konstruktsii v Krasnoyarskom krae [Spatial structures in the Krasnoyarsk Krai]. 1979. No. 12. Pp. 103–113. (rus)
10. *Lyakhovich L.S., Plakhotin A.N.* Kriterii optimal'nosti svyazei v zadachakh ustoichivosti i sobstvennykh kolebanii uprugikh sistem [Optimum junction criteria of stability and eigen-frequency of elastic systems]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1986. No. 7. Pp. 26–29. (rus)
11. *Gerber Yu.A., Sebeshev V.G.* Osobennosti rascheta nadezhnosti dinamicheski nagruzhennyh sistem s uchetom effekta nelinejnosti amplitudno-chastotnyh harakteristik v rezonansnyh zonah [Strength analysis of dynamically loaded systems with non-linearity effect of frequency-response curves in resonance zones]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2017. No. 5. Pp. 5–16. (rus)
12. *Grebenyuk G.I., Roev V.I., Veshkin M.S.* Optimizaciya sterzhnevyh sistem pri dejstvii impul'snyh nagruzok. [Optimization of rod systems under pulse loads]. In: Problemy optimal'nogo proektirovaniya sooruzhenii: doklady IV-go Vserossiiskogo seminara (*Proc. 4th All-Russ. Sem. 'Problems of Optimum Design of Structures'*). Novosibirsk, 2002. Pp. 108–118. (rus)
13. *Grebenyuk G.I., Veshkin M.S.* Diskretnye modeli rascheta i optimizatsii sterzhnevykh konstruktsii pri impul'snom nagruzhenii [Discrete models of rod design calculation and optimization under pulse load]. *Izvestiya Altaiskogo GU*. 2012. No. 1. Pp. 36–38. (rus)
14. *Grebenyuk G.I., Veshkin M.S.* Razrabotka algoritmov chislennogo raschyota i optimizacii sterzhnevyh sistem pri dejstvii impul'snyh nagruzok [Logical design of numerical calculation and optimization of bar systems under dynamic loads]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 4 (45). Pp. 106–116. (rus)
15. *Sobolev V.I., Nguen Fu Tuan*. Obespechenie minimal'nogo znacheniya amplitud sobstvennyh kolebanij uprugih sistem pri vozdejstvii mgnovennogo impul'sa [Ensuring the minimum value of peak eigen-frequency of elastic systems under instantaneous pulse load]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2013. No. 3 (19). Pp. 34–38. (rus)
16. *Grebenyuk G.I.* Preobrazovanie iskhodnoj zadachi konechnomernoj optimizacii pri proektirovanii konstrukcij [Transformation of initial finite-dimensional optimization problem in structural design]. In: Prochnost' i ustojchivost' inzhenernyh sooruzhenij [Strength and stability of engineering structures]. Barnaul: API, 1987. Pp. 15–22. (rus)

17. *Grebenyuk G.I.* Effektivnyi metod dekompozicii zadach optimizacii konstrukcii [Effective method of decomposition of structural optimization problems]. In: Problemy fundamental'nykh nauk: trudy II Mezhd. konf (*Proc. 2nd Int. Sci. Conf. 'Problems of Basic Research'*). Moscow, 1994. (rus)

Сведения об авторах

Гребенюк Григорий Иванович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, greb@sibstrin.ru

Максак Виталий Иванович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

Вешкин Максим Сергеевич, ст. преподаватель, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, max.vs@list.ru1

Authors Details

Grigori I. Grebenyuk, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solanaya Str., 634002, Tomsk, Russia greb@sibstrin.ru

Vitali I. Maksak, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solanaya Str., 634002, Tomsk, Russia.

Maksim S. Veshkin, Senior Lecturer, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, max.vs@list.ru

УДК 624.012.3/.4 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-87-94

Е.П. ГЕРАСИМОВ,
Новосибирский государственный университет
архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крячкова

НОРМИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПО ДЕФОРМАЦИЯМ ИСХОДЯ ИЗ ЭСТЕТИКО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

В настоящее время расчеты всех строительных конструкций выполняются по методу предельных состояний. Выполнение всех требований по прочности, жесткости, трещиностойкости и т. д. обеспечивает конструкции необходимую надежность. Но определить численное значение надежности методом предельных состояний не представляется возможным.

Это можно сделать, только применив вероятностные методы расчета, получившие большое развитие во второй половине XX в. Внедрению их в практику препятствует ряд факторов, среди которых – отсутствие обоснованных значений нормативной надежности. Это, в свою очередь, связано с учетом последствий отказа, т. к. некоторые последствия не поддаются какой-либо численной оценке, например социальные последствия.

Определение нормативной надежности конструкций по пригодности к нормальной эксплуатации: деформаций, колебаний и т. д. – также вызывает определенные трудности. Отказы конструкций в этом случае имеют как экономические, так и социальные последствия. Работ, рассматривающих данный вопрос, очень мало.

Настоящая статья посвящена вопросу определения нормативной надежности по деформациям строительных конструкций исходя из эстетико-психологических требований. Предложен метод определения нормативной надежности, основанный на зависимости впечатлений от прогиба, который, в свою очередь, зависит от действующей нагрузки и жесткости конструкции.

Ключевые слова: изгибаемые строительные конструкции; нормативная надежность; вероятностные методы расчета строительных конструкций; деформация.

Для цитирования: Герасимов Е.П. Нормирование надежности строительных конструкций по деформациям исходя из эстетико-психологических требований // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 87–94.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-87-94

E.P. GERASIMOV,
Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts

BUILDING RELIABILITY SPECIFICATION BY DEFORMATION BASED ON AESTHETIC AND PSYCHOLOGICAL REQUIREMENTS

The structural analysis is currently based on the limit state method. Meeting the strength, rigidity, crack resistance requirements ensures the required structural reliability. But the limit state method does not allow to determine the numerical value of reliability. This can be done only by applying probabilistic methods that are greatly developed in the late 20th century.

© Герасимов Е.П., 2022

Their practical use is hindered by a number of factors, among which is the lack of reasonable values of the reliability specification. The reliability specification of structures is determined by their normal operation including deformation and vibrations causing certain difficulties. Structural failures in this case have both economic and social consequences. There are very few works considering this problem. This is most likely due to the fact that the calculation of suitability for normal operation plays a secondary role. Violation of serviceability conditions does not lead to large economic, environmental and social consequences. But it is still necessary to consider the reliability specification in this area.

This article determines the reliability specification by structure deformations based on aesthetic and psychological requirements. The proposed method for determining the reliability specification is based on deflection, which, in turn, depend on the effective load and structural rigidity.

Keywords: bending structures; reliability specification; probabilistic method; deformation.

For citation: Gerasimov E.P. Normirovanie nadezhnosti stroitel'nykh konstruktsii po deformatsiyam, iskhodya iz estetiko-psikhologicheskikh trebovanii [Building reliability specification by deformation based on aesthetic and psychological requirements]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 87–94.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-87-94

Назначение нормативных значений вероятности безотказной работы есть неотъемлемая часть развития вероятностного метода расчета строительных конструкций. Первоначально данные значения назначались интуитивно, на основе накопленного опыта проектирования и эксплуатации строительных конструкций. С развитием вероятностно-оптимизационного метода расчета появилась возможность обоснованно рассчитывать и назначать оптимальную вероятность безотказной работы, численное значение которой можно отождествить с нормативной надежностью. Сами численные значения нормативной надежности варьируются в пределах от 0,9 до 0,9999 и выше [1–6] в зависимости от последствий отказа. Причем данные последствия, как правило, экономически исчисляемые. Что касается определения значения нормативной надежности с учетом экономически неисчисляемых (социальных) потерь, то в данном случае возникают определенные трудности. Имеется ряд работ [7–9], посвященных данной проблеме, где авторы предлагают способы учета социальных потерь при определении нормативной надежности строительных конструкций. Но в данных работах определение нормативной надежности осуществляется с точки зрения несущей способности, что вполне верно. Работ, где обсуждается вопрос о назначении (или расчете) нормативной надежности по пригодности к нормальной эксплуатации, очень мало [3]. Нарушение данной пригодности хотя и не влечет за собой больших экономических и социальных последствий, но все равно требует правильного обоснования значения нормативной надежности.

Пожалуй, самым распространенным расчетом по пригодности к нормальной эксплуатации является расчет по деформациям. Данный расчет выполняется, прежде всего, для изгибаемых элементов. Согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», предельные значения прогибов назначаются из следующих требований:

– конструктивных;
– технологических;
– физиологических;
– эстетико-психологических.

Нарушение первых двух требований влечет за собой экономические последствия. Нарушение физиологических или эстетико-психологических требований – социальные последствия. В настоящей статье рассматривается вопрос о назначении нормативной надежности строительных конструкций по деформациям только исходя из эстетико-психологических требований.

Социальные последствия невозможно оценить в привычных единицах. Поэтому данные последствия предлагается выразить в условных единицах – баллах. Сами последствия отражают впечатления от прогиба конструкции. В случае достижения прогиба конструкции своего предельного значения впечатления будут максимально негативные. И численное значение таких впечатлений предлагается принять раным единице. При этом зависимость впечатлений от прогиба конструкции предполагается линейной (рис. 1).

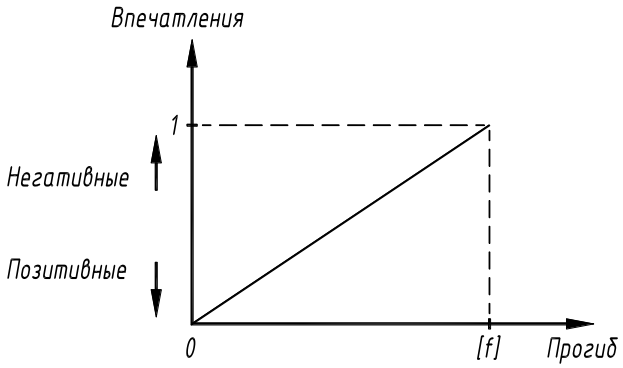


Рис. 1. Зависимость меры впечатления от прогиба

Для определения нормативной надежности предлагается использовать вероятностно-оптимизационную модель [10]:

$$C = C_0 + C_f \cdot Q_f \rightarrow \min. \qquad (1)$$

Вместо экономических показателей (C_0 и C_f) предлагается применить баллы, характеризующие впечатления от прогиба.

C_0 – впечатления от прогиба конструкции при условии, что прогиб не достиг предельного значения.

C_f – наиболее негативные впечатления от прогиба конструкции в случае достижения им предельного значения (т. е. $C_f = 1$).

Впечатления зависят от величины прогиба, которая, в свою очередь, зависит от действующей нагрузки и жесткости конструкций.

Рассмотрим наиболее распространенную расчетную схему изгибаемых строительных конструкций – двухшарнирную балку, загруженную равномерно распределенной нагрузкой (рис. 2).

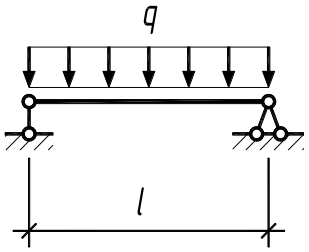


Рис. 2. Расчетная схема

Величина прогиба по такой схеме определяется по формуле

$$f = \frac{5}{384}\frac{q}{E \cdot I} l^4. \qquad (2)$$

Соотношение действующей нагрузки к жесткости конструкции – $\frac{q}{E \cdot I}$ является величиной случайной. Обозначим данное соотношение как $\tilde{z} = \frac{\tilde{q}}{\tilde{E} \cdot \tilde{I}}$. При достижении прогиба конструкции своего допустимого значения, т. е. при f = [f], данное соотношение будет иметь конкретное, причем максимальное значение: $[z] = \frac{q}{E \cdot I}$. Соответственно, при любом случайном значении прогиба конструкции меньше предельно допустимого имеем: $\frac{\tilde{z}}{[z]} < 1$. При $\tilde{z} = [z]$ прогиб конструкции достигает своего предельного значения, и впечатления будут максимально негативными, а чем $\tilde{z}$ меньше [z], наоборот, – прогиб будет небольшим, и впечатления будут более положительными. Формулу (1) в таком случае можно преобразить и представить в следующем виде:

$$C = 1 - \frac{\tilde{z}}{[z]} + Q_f \to \min. \qquad (3)$$

Выражение $1 - \frac{\tilde{z}}{[z]}$ отражает впечатления от прогиба, учитывая при этом значение действующей нагрузки и жесткости конструкции.

Численное значение [z] вычисляется в зависимости от предельного прогиба и пролета конструкции. Так, при пролете l = 6 м допускаемый прогиб [f] составляет 0,03 м, тогда

$$[f] = \frac{5}{384}\frac{q}{E \cdot I} l^4 \Rightarrow 0{,}03 = \frac{5}{384}\frac{q}{E \cdot I} 6^4 \Rightarrow 0{,}03 = \frac{5}{384}[z] \cdot 6^4, \quad [z] = \frac{2}{1125}\ \text{м}^{-3}. \qquad (4)$$

Случайное значение прогиба при этом определяется по выражению

$$\tilde{f} = \frac{5}{384}\frac{\tilde{q}}{\tilde{E} \cdot \tilde{I}} l^4 \Rightarrow \tilde{f} = \frac{5}{384}\tilde{z} \cdot 6^4 \Rightarrow \tilde{f} = \frac{135}{8}\tilde{z}. \qquad (5)$$

Вероятность отказа Q_f – это вероятность того, что прогиб конструкции превысит допускаемую величину. Вероятность отказа определятся в зависимости от закона распределения, так при нормальном законе вероятность отказа определяется через индекс надежности [10]:

$$\beta = \frac{[f] - \overline{f}}{\sqrt{s^2_{\overline{[f]}} + s^2_{\overline{f}}}}. \qquad (6)$$

Допускаемый прогиб имеет конкретное значение, и это величина постоянная, $s^2_{[\bar{f}]} = 0$, и, следовательно:

$$\beta = \frac{[f] - \bar{f}}{s_f} \text{ или } \beta = \frac{[f] - \bar{f}}{\bar{f} \cdot v_f}. \quad (7)$$

Коэффициент вариации прогиба v_f определим при помощи метода линеаризации:

$$\frac{\partial f}{\partial q} = \frac{5}{384}\frac{l^4}{E \cdot I}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial f}{\partial E} = -\frac{5}{384}\frac{q \cdot l^4}{E^2 \cdot I}, \quad (9)$$

$$\frac{\partial f}{\partial I} = -\frac{5}{384}\frac{q \cdot l^4}{E \cdot I^2}, \quad (10)$$

$$s_f = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial q}\right)^2 s_q^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial E}\right)^2 s_E^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial I}\right)^2 s_I^2}. \quad (11)$$

После преобразования получаем

$$s_f = \frac{5}{384}\frac{q \cdot l^4}{E \cdot I}\sqrt{v_q^2 + v_E^2 + v_I^2} \text{ или } v_f = \frac{s_f}{\bar{f}} = \sqrt{v_q^2 + v_E^2 + v_I^2}. \quad (12)$$

Ввиду малой изменчивости геометрических размеров поперечного сечения можно принять, что $v_I \approx 0$, и тогда

$$v_f = \sqrt{v_q^2 + v_E^2}. \quad (13)$$

Таким образом, общий порядок определения нормативной надежности по деформациям исходя из эстетико-психологических требований предлагается следующий:

1. Исходя из пролета конструкции и допускаемого прогиба, определяем максимальное значение отношения действующей нагрузки к жесткости конструкции: $[z] = \frac{q}{E \cdot I}$. Например, при l = 6 м и $[f]$ = 0,03 м $[z] = \frac{2}{1125}$ м$^{-3}$.

2. Определяем коэффициент вариации значения прогиба, формула (13).

3. При определенном значении $\bar{z}$ ($\bar{z} < [z]$) определяется:

– соотношение $\frac{\bar{z}}{[z]}$;

– среднее значение прогиба. Например, при l = 6 м $\bar{f} = \frac{135}{8}\bar{z}$ м;

– вероятность отказа Q_f:

$$\beta = \frac{[f] - \bar{f}}{\bar{f} \cdot v_f}, \quad Q_f = 0{,}5 - \Phi(\beta); \quad (14)$$

– значение целевой функции, формула (3).

Таким образом, варьируя значение $\bar{z}$, можно добиться такого состояния, при котором значение целевой функции в формуле (3) C = min. По вероятности отказа Q_f при C = min определяется нормативная надежность:

$$\left[P_f\right] = 1 - Q_f . \qquad (15)$$

Таким образом, была вычислена нормативная надежность для конструкции, расчетная схема которой представлена на рис. 2, в зависимости от коэффициентов вариации нагрузок и модуля упругости. Нагрузки имеют большую изменчивость, и при расчете было принято три варианта: v_q = 0,1; v_q = 0,2 и v_q = 0,35 [7]. Изменчивость модуля упругости, как правило, небольшая, постоянная и принята v_E = 0,1 [Там же]. Результаты расчета в виде графика представлены на рис. 3.

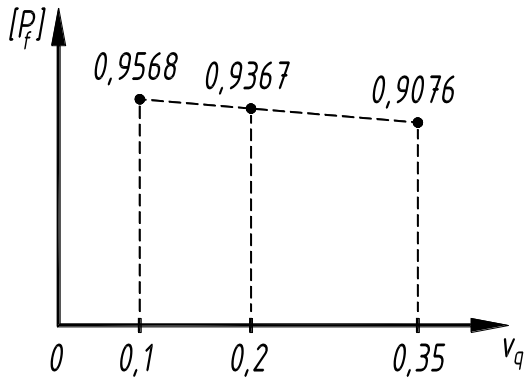


Рис. 3. Значения нормативной надежности в зависимости от изменчивости нагрузки

По вышеприведенному порядку были вычислены значения нормативной надежности для балок пролетом 3 и 24 м (расчетная схема балок – см. рис. 2).

Для данных балок приняты следующие параметры:

– пролет 3 м: [f] = 0,02 м, $[z] = \frac{64}{3375}$ м$^{-3}$, $\bar{f} = \frac{135}{128}\bar{z}$ м;

– пролет 24 м: [f] = 0,096, $[z] = \frac{1}{45000}$ м$^{-3}$, $\bar{f} = 4320 \cdot \bar{z}$ м.

Результаты расчета оказались такими же, как и для балки пролетом 6 м (см. рис. 3).

Временные нагрузки не всегда описываются нормальным законом распределения. Есть предложение описывать их двойным экспоненциальным законом. При учете данного закона немного математически меняется формула определения отказа. Поэтому были дополнительно определены значения нормативной надежности при комбинации нормального и двойного экспоненциального законов. Результаты, в виде графика, приведены на рис. 4.

Как видно, эти результаты не сильно отличаются от результатов, полученных ранее, разница в пределах 1 %.

Исходя из результатов расчета, можно сделать следующие выводы:

1. При использовании вероятностного метода расчета строительных конструкций значение нормативной надежности по прогибам, исходя из эстетико-психологических факторов, предлагается назначить в пределах от 0,9 до 0,95.

2. Значение нормативной надежности зависит главным образом от изменчивости действующей нагрузки. Чем меньше изменчивость нагрузки, тем выше численное значение нормативной надежности.

3. Использование при расчете наиболее распространенных законов распределения (нормального или комбинация нормального и двойного экспоненциального) приводит практически к одним и тем же результатам.

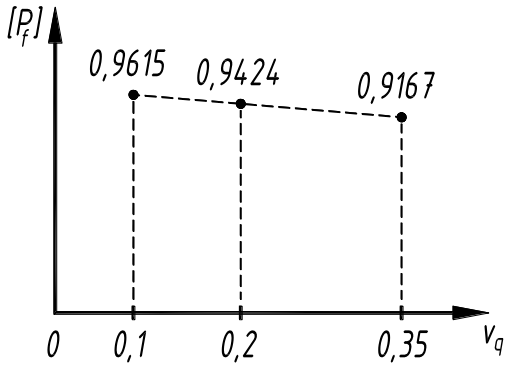


Рис. 4. Значения нормативной надежности в зависимости от изменчивости нагрузки (комбинация нормального и двойного экспоненциального законов)

Предложенная в статье методика определения нормативной надежности изгибаемых элементов исходя из эстетико-психологических требований не лишена недостатков, но позволяет приблизиться к обоснованию нормативных значений вероятности безотказной работы строительных конструкций. И это очень важно для дальнейшего развития вероятностного метода расчета.

Библиографический список

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. *Тамарзян 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. *Ржаницын А.Р.* Теория расчета строительных конструкций на надежность. Москва : Стройиздат, 1978. 239 с.

REFERENCES

1. *Shpete G.* Nadezhnost' nesushchikh stroitel'nykh konstruktsii [Reliability of load-bearing structures]. Moscow: Stroiizdat, 1994. 288 p. (rus)
2. *Tal' K.E.* Voprosy nadezhnosti zhelezobetonnykh sooruzhenii za rubezhom [Reliability of reinforced concrete structures abroad]. *Beton i zhelezobeton*. 1973. No. 11. Pp. 42–43. (rus)
3. *Gromatskii V.A.* Otsenka nadezhnosti zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov po deformatsiyam [Reliability assessment of reinforced concrete bending elements by deformations]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 2007. No. 2. Pp. 35–40. (rus)
4. *Tamarzyan A.G.* K otsenke opredeleniya urovnya riska ChS po osnovnym priznakam ego proyavleniya na sooruzhenie [Assessing the emergency risk level by the main signs]. *Beton i zhelezobeton*. 2001. No. 5. Pp. 8–10. (rus)
5. *Raizer V.D.* Analiz nadezhnosti konstruktsii pri iznose nesushchikh elementov [Strength analysis of wear and tear of load-bearing elements]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 2013. No. 6. Pp. 16–20. (rus)
6. *Peremul'ter A.V.* Izbrannye problemy nadezhnosti i bezopasnosti stroitel'nykh konstruktsii [Selected problems of reliability and safety of buildings]. Moscow: ASV, 2007. 256 p. (rus)
7. *Lychev A.S.* Nadezhnost' stroitel'nykh konstruktsii [Structural reliability]. Moscow: ASV, 2008. 184 p. (rus)
8. *Raizer V.D.* Raschet i normirovanie nadezhnosti stroitelnih konstrukciy [Structural analysis and reliability specification]. Moscow: Stroyizdat, 1995. 352 p. (rus)
9. *Raizer V.D.* Optimizazia nadezhnosti konstrukziy I bezopasnost cheloveka [Optimisation of structural reliability and human safety]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 2009. No. 6. Pp. 54–58. (rus)
10. *Rzhanitsyn A.R.* Teoriya rascheta stroitel'nykh konstruktsii na nadezhnost' [The theory of structural reliability]. Moscow: Stroiizdat, 1978. 239 p. (rus)

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, Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts, 38, Krasnyi Ave., 630099, Novosibirsk, Russia, GerasimovEP@mail.ru

УДК 693.5 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-95-105

В.А. ОНКАЕВ, Н.С. СЕРПОКРЫЛОВ, А.Н. БАДРУДИНОВА,
Т.Б. ДЖАЛЬЧИНОВА, О.Ш. КЕДЕЕВА,
Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ КАЛМЫКИЯ

Актуальность исследования обусловлена тем, что из-за сложной ситуации в мировом сообществе, а также особых климатообразующих факторов Республики Калмыкия, правительство уделяет повышенное внимание надежности зданий. Целью исследования является изучение и анализ влияния климатических условий на строительство зданий и сооружений. Методологическая база исследования основывается на сочетании различных общенаучных методов познания. В настоящем исследовании использовались методы анализа и синтеза информации, сравнительный метод, а также метод индукции и дедукции.

В процессе исследования было определено, что разрушение верхнего слоя литосферы, приводящее к образованию небольших частиц кварца, песка, содействует формированию пыли, что нужно учитывать при строительстве индустриальных и гражданских объектов. Особое внимание следует направить на небольшие проемы и места, где эти частицы могут оседать. Более тщательная подготовка здания, его гидроизоляция и пылеизоляция приводят к повышению стоимости здания. Подъем грунтовых вод, их засоление также оказывают влияние на ремонтные работы и капиталовложения в строительство и жилищно-коммунальное хозяйство области.

Практическая ценность представленной работы обусловлена тем, что она может быть основой для изучения проблемы влияния климатических условий на строительство зданий и сооружений. Исследование может быть использовано как практиками, так и теоретиками, занимающимися этой проблемой.

***Ключевые слова*:** железобетонная конструкция; оконные блоки; пылеизоляция; бетон; эксплуатация зданий.

Для цитирования: Онкаев В.А., Серпокрылов Н.С., Бадрудинова А.Н., Джальчинова Т.Б., Кедеева О.Ш. Влияние климатических условий на проектирование и строительство зданий и сооружений в Республике Калмыкия // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 95–105.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-95-105

V.A. ONKAEV, N.S. SERPOKRYLOV. A.N. BADRUDINOVA,
T.B. DZHALCHINOVA, O.Sh. KEDEEVA,
Kalmyk State University

CLIMATIC CONDITION EFFECT ON BUILDING CONSTRUCTION IN THE REPUBLIC OF KALMYKIA

Purpose: The aim of the paper is to study and analyze the influence of climatic conditions on the building construction in the territory of the Republic of Kalmykia. **Methodology/approach:** A combination of different research methods, including the data analysis and synthesis, comparative method, method of induction and deduction; the related literature review. **Research find-**

© Онкаев В.А., Серпокрылов Н.С., Бадрудинова А.Н., Джальчинова Т.Б., Кедеева О.Ш., 2022

ings: It is shown that difficult geological factors such as destruction of the upper layer of the lithosphere immersed in the formation of small particles of quartz, sand, contribute to the formation of dust, which must be considered in the construction of industrial and civil objects. Particular attention is paid to small openings and areas where these particles can pass. A thorough preparation of a building, its waterproofing and dust insulation leads to an increase in the building cost, which affects the economic indicators in the region. Groundwater and salinization also affect the repair and investment in construction and housing and communal services in the region. **Practical implications:** The research results can be used in theoretical studies and practice of the influence of climatic conditions on the building construction.

Keywords: reinforced concrete structure; window unit; dust; concrete; building maintenance.

For citation: Onkaev V.A., Serpokrylov N.S., Badrudinova A.N., Dzhal'chinova T.B., Kedeeva O.Sh. Vliyanie klimaticheskikh uslovii na proektirovanie i stroitel'stvo zdanii i sooruzhenii v Respublike Kalmykiya [Climatic condition effect on building construction in the Republic of Kalmykia]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 95–105.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-95-105

Введение

Из-за сложных ситуаций в мировом сообществе, активных климатических изменений и т. д. правительство Республики Калмыкия уделяет повышенное внимание надежности зданий [1]. В регионе с каждым годом наращиваются объемы строительной промышленности. В какой-то мере это говорит о финансовом благополучии общества. Начал развиваться частный сектор, увеличилась доля в кредитно-ипотечной системе. Также возросли объемы использования молодыми семьями материнского капитала. На Прикаспийской равнине в разные годы жили многие кочевые народы. Почти за две тысячи лет проживания там они оставили свой след, который отражается в верхней части литосферы. Кочевые племена не строили больших поселков, у них были небольшие поселения, в которых жили пастухи и коневоды. Для более обширного понимания проблем региона исследователями было изучено геологическое прошлое района [2]. По этой проблеме опубликовано достаточно много работ. Такие параметры, как надежность и долговечность, которые в конечном итоге влияют на финансово-экономические показатели региона, зависят от физико-механических и химических свойств грунта, особенно при выборе участков под фундамент и дальнейшей эксплуатации зданий и сооружений. При этом необходимо учитывать особенности геологии и климата региона [3].

Земли Республики Калмыкия расположены в пустынно-полупустынной зоне, только центральная и северо-западная части региона образованы степью. Нередкие пыльные бури, суховеи, исключительно высокие температуры, приводящие к жаре, отрицательно воздействуют на окружающую среду и самочувствие человека. Геоэкологические последствия хозяйственной деятельности общества грозят экологическими катастрофами. Все это приводит к общераспространенным респираторным заболеваниям людей и животных. В случае сильных пыльных бурь вся территория республики оказывается под покровом пыли. Эта пыль, особенно в сельской местности, просачивается

в жилые помещения. В 2021 г. пыль достигла столицы Республики Калмыкия. Современные окна и двери не могут справиться с данной проблемой [4]. Исследования по этому вопросу в г. Элисте, столице Республики Калмыкия, ведутся давно, учеными была создана база данных и геоинформационная система, было выполнено экологическое зонирование Элисты, а также рассмотрены вопросы воздействия автотранспорта на окружающую среду. Для оценки экологической проблемы исследователи рассмотрели работы, посвященные изучению образования песков, пустынь и общих геологических факторов, их воздействию на здоровье населения, а также на состояние растений и животных. Экологическое равновесие степного населенного пункта во многом зависит от состояния окружающей среды в этом районе [5].

Также важно рассмотреть энергетический сектор, т. к. энергия в республику поступает в основном из соседних регионов. Для выполнения данной задачи в последние годы было решено приступить к созданию восстанавливаемых источников энергии. В настоящее время в Республике Калмыкия строится несколько солнечных и ветряных электростанций для выработки дополнительной энергии. Солнечные батареи и ветряные генераторы начали применяться на отдельных фермах и в пастбищных поселках. Рассматривается вопрос применения солнечных модулей для откачки воды из колодцев с дальнейшей ее очисткой. Это становится главным вопросом в строительной промышленности, т. к. необходимо строить небольшие очистные сооружения. Кроме того, в настоящее время готовится программа применения солнечных модулей при постройке школ, а также других строений и сооружений. При проектировании, строительстве, а в дальнейшем в процессе эксплуатации важно применять знания, полученные учеными строительной отрасли [6].

Целью исследования является изучение и анализ влияния климатических условий на строительство зданий и сооружений на территории Республики Калмыкия.

Материалы и методы

Методологическая база исследования основывается на сочетании различных общенаучных методов познания. В статье выполнен обзор имеющихся публикаций по рассматриваемым вопросам. Методами синтеза и анализа информации было определено, что такое геологический фактор, как разрушение верхнего слоя литосферы приводит к образованию небольших частиц кварца, песка. Было выявлено, что образованные частицы содействуют формированию пыли, что важно учитывать при строительстве промышленных и гражданских объектов.

Основная цель при анализе литературных источников заключалась в том, чтобы собрать научные данные по исследуемой теме, рассмотреть перспективы исследования и сформулировать рабочую гипотезу. В процессе анализа литературы, в частности, было определено, что подъем грунтовых вод, их засоление оказывают существенное влияние на объем ремонтных работ и, соответственно, на капиталовложения в строительство и жилищно-коммунальное хозяйство области. Также определено, что для фактической оценки

влияния транспорта на экологию города необходимо брать пробы воздуха и грунтов с федеральных трасс, проходящих по окраинам города.

Результаты и обсуждение

Доля строительства в валовом региональном продукте (ВРП) области в 2021 г. составила 4,8 %, а среднегодовая численность занятых в региональной экономике – 7,4 %. По состоянию на 1 января 2021 г. в отрасли работала 391 строительная компания. По объему строительства республика значительно выросла с 2008 г. и «поднялась» с 81-го места в 2008 г. до 59-го в 2021 г. С 2012 по 2021 г. ввод зданий увеличился в 1,5 раза. В период с 2008 по 2021 г. организациями всех форм собственности введено в эксплуатацию 10 454 квартиры общей площадью 841,0 тыс. м^2. В структуре введенного жилья в 2008 г. более 58 % приходилось на индивидуальное жилищное строительство. С 2016 г. строительство многоквартирных домов ведется девелоперами. Установлено, что за последние три года доля строительства многоквартирных домов в общем объеме заказанного жилья превышает 69 % [7]. Далее приведены основные мероприятия, которые необходимо выполнить при обследовании и испытании зданий и сооружений в суровых климатических условиях. Основными видами деятельности являются ежедневный осмотр с ежедневным обслуживанием; регулярное обслуживание; нерегулярное обслуживание. В республике, и особенно в ее столице Элисте, необходим многофункциональный центр управления. Он должен контролировать гигиеническую зону и зону охраны природы, дорожные полосы, водоохранные зоны, зоны затопления, а также зоны особо охраняемых и культурных территорий, так же как и уровень застройки [8].

Исследователи приводят данные по выявлению основных природно-климатических факторов. Они связаны со строительными процессами на различных этапах строительства и эксплуатации зданий и сооружений. Это такие параметры, как сильный ветер со скоростью более 20 м/с, приводящий к сносу временных строительных конструкций (строительных лесов). Пыль проходит практически через все конструкции и появляется в помещениях жилых домов и сооружений. Это особенно важных фактор в эксплуатации дошкольных и образовательных учреждений. Для решения данной проблемы были изучены вопросы геологии и географии территории Республики Калмыкия, а также проанализированы территории с выделением зон вредного воздействия окружающей среды и деятельности человека на окружающую среду. Из минералов в регионе в основном наблюдаются глины, кварц (песок), известняк и песчаник. Глины и супеси встречаются повсюду [9]. Также следует отметить, что на востоке от Республики Калмыкия находится завод по производству конденсатного газа (в г. Астрахани), выбросы которого за счет ветра (в основном с востока) достигают ее территории. Исследователи считают, что для качественной оценки влияния транспорта на экологию нужно брать пробы с федеральных трасс, которые проходят по окраинам города. При этом, учитывая вышесказанное, можно выделить одну особую зону, которая входит в другие зоны, а именно зону дорожного движения. Необходимо производить мониторинг зданий и сооружений на предмет наличия пыли [10].

В период строительных работ, а также при капитальном ремонте следует строго соблюдать технику безопасности, проводить уборку территорий. Ключевым фактором, воздействующим на процесс строительства, являются инженерно-геологические характеристики местности, на которой ведется строительство или планируется в будущем. Пустыни, образовавшиеся на востоке и юго-востоке Калмыкии, являются проблемой для народного хозяйства республики. Особое внимание стоит уделить строительству в данном районе. В основном это связано с поиском пресной воды, бурением скважин, обрабатыванием колодцев и бассейнов. Причина в том, что большинство поверхностных вод в республике обладают соленостью более чем 20–40 мг/л, поэтому нужно предусматривать систему очищения воды от соли и иных примесей. Скудные осадки летом и осенью приводят к засухе и отмиранию растительного слоя. Например, в 2020 г. практически на всей территории республики не было дождя. Это привело к засухе, в результате часть скота была переселена в западные регионы [8].

В работе [1] рассматривается вопрос геолого-географических характеристик Республики Калмыкия и объектов недвижимости, влияющих на экологическую обстановку при проведении строительно-монтажных работ и дальнейшей эксплуатации жилого и нежилого фонда. Калмыкия находится в сложной климатической зоне с сильными ветрами, суховеями и пыльными бурями, которые доходят до столицы республики и оставляют свой негативный след в ее северных районах. Для решения вопроса были проведены экологические исследования территорий и рассмотрены данные за последние пять лет. Сильные ветры, засухи, высокие температуры летом негативно сказываются на процессе строительства и увеличивают затраты на электроэнергию. Определены участки с зонами риска для строительства.

Геологически территория Калмыцкой Республики относится к зоне степей, полупустынь и пустынь. Сильный ветер, пыльные бури, недостаток влажности приводят к неблагоприятным показателям комфорта. В работе [11] дана оценка современных геологических и экологических параметров, влияющих на строительную отрасль региона и здоровье человека. Были использованы материалы, полученные в результате экспедиции в регионы республики, исследованы образцы керна, пробы воды, климатические данные и ветровые нагрузки. Собраны видео- и фотоматериалы.

Многослойные конструктивные решения покрытий (железобетонные плиты с теплоизоляционными материалами) широко используются на практике во всем мире. В работе [12] анализируется теплопередача в кровельном покрытии из многослойных конструкций в климатических условиях Ханоя (Вьетнам) с помощью метода конечных элементов с компьютерным моделированием. Предметом исследования является изоляционная способность многослойных железобетонных покрытий под влиянием изменения температуры наружной поверхности кровельной конструкции зданий. Методы исследования основаны на численном моделировании теплообмена с внешней поверхности крыши здания на внутреннюю. Полученные результаты показывают, что многослойная железобетонная плита имеет больше преимуществ по срав-

нению с традиционным строительным решением, и эти преимущества доступны при использовании изоляционного материала из полистиролбетона.

Изменение климата и наличие общих экологических факторов, таких как экстремальные засухи, скудная растительность и поглощение воды корнями деревьев, могут оказать существенное влияние на устойчивость гражданских и инженерных сооружений. В статье [13] исследуется влияние этих факторов на структурное поведение жилых домов, построенных на ненасыщенных экспансивных глинах в полевом масштабе. С 2011 г. на юго-западе Франции ведется наблюдение за поврежденным жилым домом, построенным из термоусадочной глины, подверженной поглощению корневой воды деревьев, а также влиянию различных климатических условий с течением времени. Открытие трещин на разных сторонах здания отслеживалось с помощью датчиков перемещения. Содержание влаги в почве и всасывание контролировалось под двумя разными углами (север и юг) здания, близко к деревьям и зданию. Результаты мониторинга показывают, что поглощение корневой воды сильнее влияет на северную часть здания. Разница между раскрытием трещин в разных частях здания является результатом разницы между наложенными условиями окружающей среды.

Статья [14] посвящена изучению взаимосвязи климатических условий строительства, ремонта и эксплуатации промышленных технических систем со структурой и свойствами сварных соединений конструкционных сталей. Установлено, что основным технологическим фактором, влияющим на кристаллизацию металла шва из расплава, является подвод тепла, передаваемого источником нагрева, т. е. электрической дугой при сварке на всех интервалах образования неразъемных соединений. Результаты исследований позволили обосновать условия, при которых происходит образование неразъемных соединений. Определены частотные диапазоны регулируемого тепловложения, обеспечивающие заданный набор механических свойств сварных соединений.

Для снижения эксплуатационных расходов необходимо на этапе проектирования здания обеспечить применение энергосберегающих технологий. Это позволит эффективно использовать материальные и энергетические ресурсы, минимизируя затраты на проектирование и строительство зданий и сооружений. Одной из самых распространенных энергосберегающих технологий в строительстве является использование вентилируемых фасадных систем. Их применение в суровых климатических условиях многих регионов России требует совершенствования и уточнения существующих методик расчета влияния термических напряжений в элементах на прочностные характеристики системы, методов учета эффекта воздухообмена в воздушном зазоре.

Целью работы [15] было определение расхода воздуха в зазоре вентилируемого фасада с различной шириной зазора, высотой здания и климатическими условиями с помощью метода CFD (Computational Fluid Dynamics), моделирования конвективного теплового потока.

Одной из проблем современного строительства является небольшой срок службы железобетонных конструкций, особенно в суровых климатических условиях и грунтах, насыщенных морской или соленой водой. Проблема не только в обеспечении высокой морозостойкости бетона, но и в том, чтобы

найти способ ее контролировать, что обычно занимает довольно много времени. Разрушение бетона при циклическом замораживании происходит не только из-за образования льда в порах бетона, но и из-за термического напряжения бетона льдом, а также выщелачивания портландита и старения цементного геля – основной структуры, элемента из затвердевшего цементного теста. Это означает, что прочность бетона может быть обеспечена за счет сохранения тонкой структуры затвердевшего цементного теста, предотвращения кристаллизации геля от внешних воздействий или повышения его щелочности. В работе [16] был предложен метод оценки характеристик цементного теста и влияния его на долговечность и морозостойкость бетона.

Факторы окружающей среды существенно влияют на состояние бетона. Цель исследования статьи [17] – поиск и определение технических решений для увеличения долговечности бетона, подверженного воздействию факторов климата и окружающей среды, путем оценки реакции бетонных поверхностей на солнечный свет, высокие температуры и влажные погодные условия. Результаты исследования в теплых и тропических регионах показывают, что колебания температуры приводят к расширению и сжатию бетона, особенно в зданиях с плохой теплоизоляцией. Другой областью исследования являлся анализ роли таких факторов окружающей среды, как соленость, влажность, температура, которые оказывают значительное влияние на бетонные поверхности, особенно во влажных и прибрежных районах.

Высокая водопроницаемость бетонных поверхностей увеличивает проникновение в конструкцию воды, что может привести к коррозии железных компонентов, арматуры и накоплению солей в порах. Поэтому предлагается использовать бетон с высокой плотностью и низкой пористостью для предотвращения диффузии воды в бетонные поверхности [Там же].

Долговечность железобетонных конструкций зависит от характера их взаимодействия с различными факторами окружающей среды, что описывается с помощью общих моделей внешних воздействий, таких как действие различных нагрузок, климат, влияние агрессивной среды и другие воздействия и их сочетания. В статье [18] был приведен пример расчета долговечности на основе коррозии бетона и арматуры. Выбранный защитный слой и диаметр арматуры проверяли на предмет общей коррозии. Среднее значение срока службы в годах определяли, исходя из карбонизации защитного слоя бетона и образования в нем трещин. Проанализированы методы прогнозирования ресурса железобетонных конструкций. Срок службы конструкции определяется с учетом оценки технического состояния конструкции по внешним признакам. Теоретически показано влияние различных факторов путем введения многофакторной меры ущерба. Проанализированы расчеты для прогнозирования срока службы конструкций и определения долговечности.

В последние десятилетия новые оконные конструкции нашли широкое применение в России. Современные оконные конструкции обычно изготавливаются из комбинаций материалов с разными теплофизическими свойствами. Большинство из них рассчитано на европейские климатические условия. Эксплуатация в России может привести к значительным термическим деформациям оконных элементов. При этом следует учитывать, что термические дефор-

мации различных оконных элементов (рамы, створки, стойки) могут привести к изменению основных рабочих параметров конструкции. Эти параметры в настоящее время не стандартизованы действующим законодательством. В работе [19] проведено большое количество экспериментальных исследований оконных блоков из поливинилхлорида, алюминиевых сплавов и других материалов с целью оценки влияния термической деформации на свойства оконных блоков. На основании проведенных исследований зафиксировано существенное влияние термической деформации конструкций на теплотехнические характеристики, минимальную температуру на внутренней поверхности, изменение воздухопроницаемости оконных блоков и снижение их теплоизоляции. Выявленный таким образом физический процесс напрямую влияет на поддержание комфорта, микроклимата в помещении, затраты на отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха в зданиях. С учетом разнообразных климатических регионов России необходимы: комплексная оценка основных эксплуатационных характеристик оконных блоков, разработка мероприятий по снижению влияния термической деформации на свойства оконных блоков и выбор оптимальных технических решений для конкретного региона.

Колебания температуры и усадка бетона влияют на поведение конструкции, снижают прочность материалов и изменяют их долю в термической деформации. Эта проблема в основном касается неутепленных зданий, которые имеют большие горизонтальные размеры и чувствительны к нагреванию и усадке. В работе [20] проведено исследование деформаций значительного по длине здания. Эти деформации вызваны климатическими температурными изменениями и эффектами усадки, что вызывает структурные напряжения и приводит к структурной нестабильности. Для обеспечения безопасности протяженных зданий разработана модель трехэтажного каркаса и проанализирована картина деформации внутри с использованием метода распределения напряжений. Теоретические предсказания согласуются с экспериментальными измерениями.

Выводы

В связи с активизацией информационных, миграционных, экономических и технологических потоков проблемы в отраслях промышленности и строительства становятся особенно явными. В этих условиях Республика Калмыкия стала одной из ключевых областей геополитической зоны Каспийского моря и Северного Кавказа.

Проанализировав работы исследователей, можно сделать следующий вывод: Республика Калмыкия находится в регионе с непростыми климатическими условиями. Сильные ветры, пылевые бури, нестабильные значения температуры и влажности, засухи и засоленность почвы – все это негативно влияет на строительные конструкции, ведет к уменьшению долговечности этих конструкций и зданий в целом, а также отражается на стоимостных показателях зданий и сооружений как при строительстве, так и при их эксплуатации. Поэтому при проектировании и строительстве зданий сооружений на территории Республика Калмыкия необходимо тщательно учитывать все природно-климатические факторы, присущие этому региону.

Библиографический список

1. *Sangadzhiev M.M., Arashaev A.V., Ochirov V.A., Araev N.G., Badmaev D.E.* Influence of climatic factors on the construction industry of Kalmykia // Innovation and Investment. 2020. V. 11. P. 246–248.
2. *Verkhovsky A.A., Zimin A.N., Potapov S.S.* The applicability of modern translucent walling for climatic regions of Russia // Housing Construction. 2015. V. 6. P. 16–19.
3. *Tamrazyan A.G.* The assessment of reliability of punching reinforced concrete beamless slabs under the influence of a concentrated force at high temperatures // Procedia Engineering. 2016. V. 153. P. 715–720.
4. *Verkhovskiy A., Umniakova N.* Application features external curtain walls in cold climate conditions // Construction of Optimized Energy Potential. 2017. V. 20. № 2. P. 129–134.
5. *Maj M., Ubysz A., Tamrazyan A.* Durability of polyurethane – cement floors // MATEC Web of Conferences. 2018. V. 251. № 5. Article number: 02026.
6. *Tamrazyan A.G.* Calculation of reinforced concrete plates with hole at long-term loading // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. V. 365. № 5. Article number: 052021.
7. *Al-Nasrawi A.K.M., Hamylton S.M., Jones B.G.* An assessment of anthropogenic and climatic stressors on estuaries using a spatio-temporal GIS-modelling approach for sustainability: Towamba estuary, southeastern Australia // Environmental Monitoring and Assessment. 2018. V. 190. № 7. Article number: 375.
8. *Min'ko N.I., Dobrinskaya O.A., Bulgakov A.S.* Technological features of using secondary products in the production of silicate materials // Glass Physics and Chemistry. 2018. V. 44. № 3. P. 238–243.
9. *An M., Wang Y., Yu Z.* Damage mechanisms of ultra-high-performance concrete under freeze – thaw cycling in salt solution considering the effect of rehydration // Construction and Building Materials. 2019. V. 198. P. 546–552.
10. *Gartner E., Maruyama I., Chen J.* A new model for the C-S-H phase formed during the hydration of Portland cements // Cement and Concrete Research. 2017. V. 97. P. 95–106.
11. *Badrudinova A.N., Muchkinova L.I., Khulkhachieva S.D., Mantusov A.B., Dorzhinova Z.B.* Geological and environmental factors in industrial and civil construction and their impact on the economy of the region (Republic of Kalmykia) // Innovation and Investment. 2020. V. 9. P. 230–233.
12. *Vu D.T., Korol E., Hoang N.H.* Analysis of the effectiveness of thermal insulation of a multilayer reinforced concrete slab using layer of concrete with low thermal conductivity under the climatic conditions of Vietnam // MATEC Web of Conferences. 2018. V. 251. № 5. Article number: 04026.
13. *Assadollahi H., Nowamooz H.* The effect of environmental factors on the stability of residential buildings built on expansive clays // Recent Advancements on Expansive Soils / Edited by J.S. McCartney, L.R. Hoyos. Cham : Springer, 2019. P. 132–147.
14. *Saraev Y.N., Golikov N.I., Maksimova E.M., Sidorov M.M.* Influence of low temperature on structure and impact strength of structural steels welded joints // Journal of Physics: Conference Series. 2020. V. 1546. Article number: 012068.
15. *Petritchenko M.R., Kotov E.V., Nemova D.V., Tarasova D.S., Sergeev V.V.* Numerical simulation of ventilated facades under extreme climate conditions // Magazine of Civil Engineering. 2018. V. 77. № 1. P. 130–140.
16. *Shuldyakov K., Trofimov B., Kramar L.* Stable microstructure of hardened cement paste – A guarantee of the durability of concrete // Case Studies in Construction Materials. 2020. V. 12. Article number: e00351.
17. *Alshammari M.M.H., Al-Nasrawi A.K.M., Abdullah A.J.* Sustainable solutions for exposed concrete surfaces to climatic influences – Within various regions: An industrial-geographic letter to civil-constructors // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. V. 10. № 1. P. 242–254.
18. *Tamrazyan A.G., Koroteev D.D.* Assessment of the durability of corrosion-damaged prefabricated reinforced concrete structures // Journal of Physics: Conference Series. 2020. V. 1687. № 124. Article number: 012009.

19. *Verkhovskiy A., Bryzgalin V., Lyubakova E.* Thermal deformation of window for climatic conditions of Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. V. 463. Article number: 032048.
20. *Dang Y., Liu Y.* Deformation of overlong isolated buildings caused by thermal and concrete shrinkage. URL: https://www.hindawi.com/journals/mpe/2013/139159/ (date of application: 22.11.2021).

REFERENCES

1. *Sangadzhiev M.M., Arashaev A.V., Ochirov V.A., Araev N.G., Badmaev D.E.* Influence of climatic factors on the construction industry of Kalmykia. *Innovation and Investment*. 2020. V. 11. Pp. 246–248.
2. *Verkhovsky A.A., Zimin A.N., Potapov S.S.* The applicability of modern translucent walling for climatic regions of Russia. *Housing Construction*. 2015. V. 6. Pp. 16–19.
3. *Tamrazyan A.G.* The assessment of reliability of punching reinforced concrete beamless slabs under the influence of a concentrated force at high temperatures. *Procedia Engineering*. 2016. V. 153. Pp. 715–720.
4. *Verkhovskiy A., Umniakova N.* Application features external curtain walls in cold climate conditions. *Construction of Optimized Energy Potential*. 2017. V. 20. No. 2. Pp. 129–134.
5. *Maj M., Ubysz A., Tamrazyan A.* Durability of polyurethane – cement floors. *MATEC Web of Conferences*. 2018. V. 251. No. 5. Article number: 02026.
6. *Tamrazyan A.G.* Calculation of reinforced concrete plates with hole at long-term loading. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. V. 365. No. 5. Article number: 052021.
7. *Al-Nasrawi A.K.M., Hamylton S.M., Jones B.G.* An assessment of anthropogenic and climatic stressors on estuaries using a spatio-temporal GIS-modelling approach for sustainability: Towamba estuary, southeastern Australia. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018. V. 190. No. 7. Article number: 375.
8. *Min'ko N.I., Dobrinskaya O.A., Bulgakov A.S.* Technological features of using secondary products in the production of silicate materials. *Glass Physics and Chemistry*. 2018. V. 44. No. 3. Pp. 238–243.
9. *An M., Wang Y., Yu Z.* Damage mechanisms of ultra-high-performance concrete under freeze–thaw cycling in salt solution considering the effect of rehydration. *Construction and Building Materials*. 2019. V. 198. Pp. 546–552.
10. *Gartner E., Maruyama I., Chen J.* A new model for the C-S-H phase formed during the hydration of Portland cements. *Cement and Concrete Research*. 2017. V. 97. Pp. 95–106.
11. *Badrudinova A.N., Muchkinova L.I., Khulkhachieva S.D., Mantusov A.B., Dorzhinova Z.B.* Geological and environmental factors in industrial and civil construction and their impact on the economy of the region (Republic of Kalmykia). *Innovation and Investment*. 2020. V. 9. Pp. 230–233.
12. *Vu D.T., Korol E., Hoang N.H.* Analysis of the effectiveness of thermal insulation of a multi-layer reinforced concrete slab using layer of concrete with low thermal conductivity under the climatic conditions of Vietnam. *MATEC Web of Conferences*. 2018. V. 251. No. 5. Article number: 04026.
13. *Assadollahi H., Nowamooz H.* The effect of environmental factors on the stability of residential buildings built on expansive clays. In: Recent Advancements on Expansive Soils, J.S. McCartney, L.R. Hoyos, eds., Cham: Springer, 2019. Pp. 132–147.
14. *Saraev Y.N., Golikov N.I., Maksimova E.M., Sidorov M.M.* Influence of low temperature on structure and impact strength of structural steels welded joints. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. V. 1546. Article number: 012068.
15. *Petritchenko M.R., Kotov E.V., Nemova D.V., Tarasova D.S., Sergeev V.V.* Numerical simulation of ventilated facades under extreme climate conditions. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. V. 77. No. 1. Pp. 130–140.
16. *Shuldyakov K., Trofimov B., Kramar L.* Stable microstructure of hardened cement paste – A guarantee of the durability of concrete. *Case Studies in Construction Materials*. 2020. V. 12. Article number: e00351.

17. *Alshammari M.M.H., Al-Nasrawi A.K.M., Abdullah A.J.* Sustainable solutions for exposed concrete surfaces to climatic influences – Within various regions: An industrial-geographic letter to civil-constructors. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2019. V. 10. No. 1. Pp. 242–254.
18. *Tamrazyan A.G., Koroteev D.D.* Assessment of the durability of corrosion-damaged prefabricated reinforced concrete structures. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. V. 1687. No. 124. Article number: 012009.
19. *Verkhovskiy A., Bryzgalin V., Lyubakova E.* Thermal deformation of window for climatic conditions of Russia. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. V. 463. Article number: 032048.
20. *Dang Y., Liu Y.* Deformation of overlong isolated buildings caused by thermal and concrete shrinkage. 2013. Available: www.hindawi.com/journals/mpe/2013/139159/. (accessed November 22, 2021).

Сведения об авторах

Онкаев Виктор Аджиевич, канд. техн. наук, доцент, Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 358009, г. Элиста, ул. Пушкина, 11, onkaev7978-1@murdoch.in

Серпокрылов Николай Сергеевич, докт. техн. наук, профессор, Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 358009, г. Элиста, ул. Пушкина, 11.

Бадрудинова Амина Нажмудиновна, канд. техн. наук, доцент, Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 358009, г. Элиста, ул. Пушкина, 11.

Джальчинова Тамара Борисовна, канд. техн. наук, доцент, Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 358009, г. Элиста, ул. Пушкина, 11.

Кедеева Ольга Шавшиновна, канд. с.-х. наук, доцент, Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, 358009, г. Элиста, ул. Пушкина, 11.

Authors Details

Viktor A. Onkaev, PhD, A/Professor, Kalmyk State University, 11, Pushkin Str., 358009, Elista, Kalmykia, onkaev7978-1@murdoch.in

Nikolai S. Serpokrylov, DSc, Professor, Kalmyk State University, 11, Pushkin Str., 358009, Elista, Kalmykia.

Amina N. Badrudinova, PhD, A/Professor, Kalmyk State University, 11, Pushkin Str., 358009, Elista, Kalmykia.

Tamara B. Dzhalchinova, PhD, A/Professor, Kalmyk State University, 11, Pushkin Str., 358009, Elista, Kalmykia.

Olga Sh. Kedeeva, PhD, A/Professor, Kalmyk State University, 11, Pushkin Str., 358009, Elista, Kalmykia.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.421.24 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-106-113

М.А. СЕМЕНОВЫХ, Н.К. СКРИПНИКОВА, В.В. ШЕХОВЦОВ,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩЕГО ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АНОРТИТОВОЙ КЕРАМИКИ*

В работе представлен опыт применения кальцийсодержащих техногенных отходов в качестве сырья для получения керамического строительного материала с образованием в фазовом составе анортита.

Изучены компонентные составы керамической шихты с использованием техногенного сырья в количестве 10–80 масс. % с точки зрения образования фазы анортита. Изготовлены лабораторные образцы и изучены их физико-механические характеристики, максимальные показатели которых составили 43,4, 41,2 и 36,2 МПа соответственно для шлама газоочистки, шлама доменного и шлака конверторного.

Установлено, что с увеличением содержания в шихте шлама газоочистки и шлама доменного увеличивается количество образующейся анортитовой фазы.

***Ключевые слова*:** керамика; техногенный отход; шлак; шлам; структура; прочность; рентгенофазовый анализ.

Для цитирования: Семеновых М.А., Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В. Использование кальцийсодержащего техногенного сырья для получения анортитовой керамики // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 106–113.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-106-113

M.A. SEMENOVYKH, N.K. SKRIPNIKOVA, V.V. SHEKHOVTSOV,
Tomsk State University of Architecture and Building

CALCIUM-CONTAINING INDUSTRIAL WASTE FOR ANORTHITE CERAMICS PRODUCTION

The paper describes the application of calcium-containing industrial waste for the ceramics production with the anorthite formation in the phase composition. The ceramic mixture compositions are studied using industrial waste in the amount of 10–80 wt.% for the formation of

* Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ FEMN-2020-0004 и гранта Президента РФ МК-66.2022.4.

© Семеновых М.А., Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В., 2022

the anorthite phase. The physical and mechanical properties of the laboratory samples are studied, their maximum mechanical strength being 43.4, 41.2 and 36.2 MPa for gas treatment residue, blast furnace sludge and converter slag, respectively. It is found that the anorthite phase content grows with increasing content of gas treatment residue and blast furnace sludge.

Keywords: ceramics; industrial waste; slag; sludge; structure; strength; X-ray phase analysis.

For citation: Semenovykh M.A., Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V. Ispol'zovanie kal'tsiisoderzhashchego tekhnogennogo syr'ya dlya polucheniya anortitovoi keramiki [Calcium-containing industrial waste for anorthite ceramics production]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 106–113.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-106-113

В настоящее время большое внимание уделяется исследованиям по разработке новых составов и технологий производства стеновых керамических материалов с использованием природного и техногенного сырья, целью которых является формирование многофункциональных керамических анортитсодержащих изделий с развитыми структурными матрицами. Перспективным путем получения строительных керамических изделий является замещение глинистой части на нетрадиционные материалы техногенного происхождения. Проведен ряд экспериментальных работ, направленных на исследования образования анортитовой фазы и влияния её на физико-механические характеристики в керамическом каркасе материала [1–9] при использовании различного класса сырья. Большинство авторов утверждают, что наличие анортитовой фазы приводит к увеличению прочности при сжатии от 10 до 40 % за счет ее характерной структуры, отмечая при этом, что рост пористости составляет 10–20 %. Баланс «прочность-пористость» приводит к снижению плотности и теплопроводности.

Одним из сырьевых материалов для получения керамики с повышенным содержанием анортитовой ($CaAl_2Si_2O_8$) фазы являются кальцийсодержащие техногенные отходы. Наличие анортитовой фазы в структурной матрице готовых изделий приводит к повышению эксплуатационных свойств относительно материалов, полученных классическим методом. Повышение прочностных характеристик объясняется тем, что анортит имеет игольчатую структуру и благоприятно влияет на связку основного алюмосиликатного каркаса материала, выполняя функцию армирования. По своему строению анортит имеет триклинную кристаллическую структуру с теоретической плотностью 2,76 г/см^3. В работах [10, 11] показано, что кристаллы анортита могут существовать в виде идиоморфных и таблитчатых зерен.

Таким образом, целью настоящей работы является использование кальцийсодержащих техногенных отходов в качестве сырья для получения керамического строительного материала с анортитовой фазой.

В соответствии с поставленной целью в работе необходимо провести ряд теоретических и экспериментальных исследований по установлению граничных условий и определению соотношения компонентного состава, позволяющего реализовать рациональный рост кристаллов анортитовой фазы с учетом достижения керамического каркаса максимальной прочности.

В качестве базового материала использовалось глинистое сырье Верхового месторождения Томской области, вспомогательного компонента – кальцийсодержащий отход металлургического производства. В работе рассмотрено три вида техногенного отхода: шлам газоочистки, шлам доменный, шлак конверторный. Данные материалы отобраны исходя из содержания оксида кальция по химическому составу (3 < CaO < 20 масс. %). В таблице представлен химический состав используемых материалов, полученный с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра XRF-1800.

Химический состав исследуемых материалов

Материал	Массовое содержание, масс. %						
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO	Fe_2O_3	Δm
Глинистое сырье	64,05	12,10	3,08	2,97	–	4,53	13,27
Шлам газоочистки	28,34	16,55	19,19	1,97	14,72	–	19,23
Шлам доменный	41,25	14,36	11,24	1,87	12,59	–	18,69
Шлак конверторный	49,98	12,31	3,12	2,03	13,44	–	19,12

При определении вероятности образования анортитовой фазы целесообразно использовать диаграмму состояния SiO_2-Al_2O_3-CaO. Представленные в таблице сырьевые компоненты обладают необходимым для образования анортита набором оксидов (CaO – 20,1 %; Al_2O_3 – 36,7 %; SiO_2 – 43,2 %) согласно диаграмме состояния этой системы. Использование шлама газоочистки и шлама доменного позволит обеспечить близкие к эталонным соотношения оксидов. Шлак конверторный относительно глинистого сырья отличается более высоким содержанием оксида железа, что позволит продемонстрировать разницу в показателях между контрольным образцом и экспериментальным.

Повышенные показатели потери массы при прокаливании (Δm ~ от 18,69 до 19,23 масс. %) обусловлены наличием органической составляющей, в основном представленной углеродсодержащими соединениями. Это связано с природой образования данных отходов [11]. Такое содержание органических соединений позволяет прогнозировать снижение плотности, благодаря образованию пор вследствие их выгорания в процессе обжига при температурах, близких к 700 °С.

На рис. 1 представлена часть диаграммы, на которой отмечена вероятность образования анортита за счет замещения глины на кальцийсодержащий отход в диапазоне от 0 до 100 масс. %. Маркировка линий: красная линия – шлам газоочистки, зеленная – шлам доменный, синяя – шлак конверторный.

Из рис. 1 следует, что составы с использованием шлама газоочистки и шлама доменного стремятся в область образования анортита, в то время как состав с использованием шлака конверторного попадает в область образования муллита. Линия состава с использованием шлака конверторного пересекается 2 конодами 1600 и 1700 °С, а точка эвтектики для данных составов приходится на 1345 °С; составы с шламом доменным и шламом газоочистки находятся в области кристаллизации анортита и пересекаются конодами 1400

и 1500 °С. Глинистые включения при обжиге, взаимодействуя с техногенным сырьем, образуют алюмокремнийкислородные комплексы. Они представляют собой группу природных и синтетических силикатов, комплексные анионы которых содержат кремний и алюминий. Комплексными анионами выступают $AlSiO_4$, $AlSi_4O_{10}$, $Al_2Si_3O_{12}$. Катионами являются Ca^{2+}, Mg^{2+}. Немаловажную роль в процессе обжига играет наличие оксида железа (FeO ~ от 12,59 до 14,72 масс. %), который является плавнем и обеспечивает образование жидкого расплава при более низких температурах. Обжиг образцов при 1050 °С приведет к твердофазовому спеканию и повышению вероятности образования анортитовой фазы. Составы с содержанием шлама газоочистки и доменного, имеющих количество CaO от 11,24 до 19,14 масс. %, являются более перспективными сырьевыми материалами для получения анортитовой фазы.

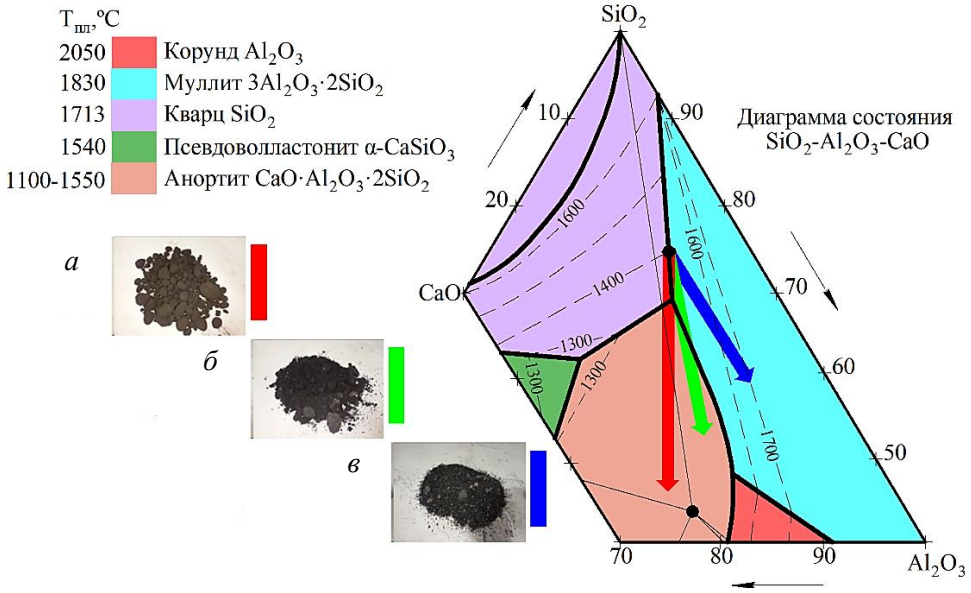


Рис. 1. Графическое представление составов компонентой шихты на части диаграммы состояний системы SiO_2-CaO-Al_2O_3:
а – шлам газоочистки; *б* – шлам доменный; *в* – шлак конверторный

Таким образом, керамические образцы с использованием шлака конверторного с меньшей вероятностью будут обладать анортитовой фазой в связи с выпадением из области его образования и высокой температурой плавления составов в отличие от составов с содержанием шлама газоочистки и шлама доменного.

Опираясь на данные, представленные на рис. 1, с целью изучения влияния на образуемые в процессе обжига фазы будут использованы компонентные составы шихт с различным содержанием (10–80 масс. %) техногенного сырьевого материала. Для формирования керамических образцов применялся полусухой метод [9] с температурой обжига 1050 °С. Обожженные образцы были подвергнуты физико-механическим исследованиям (прочность при сжатии, плотность), результаты представлены на рис. 2.

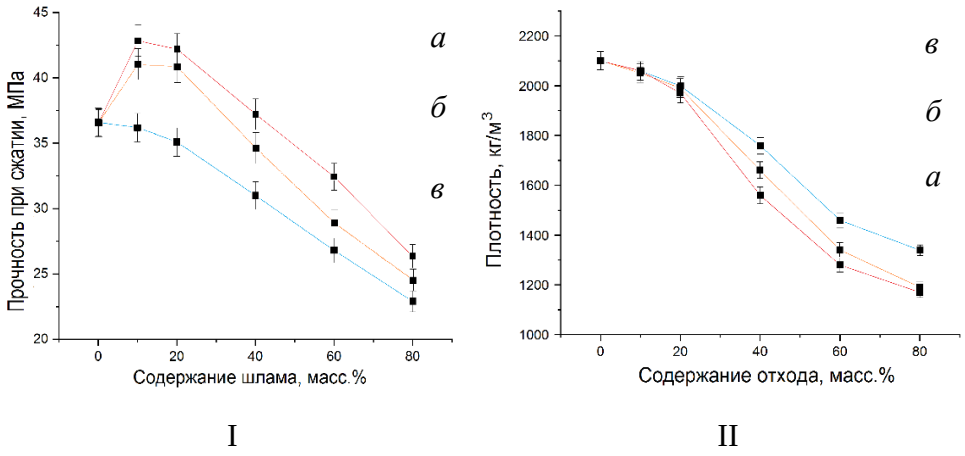


Рис. 2. Физико-механические показатели полученных керамических образцов: I – прочность при сжатии; II – плотность; *а* – шлам газоочистки; *б* – шлам доменный; *в* – шлак конверторный

Максимальное значение прочности при сжатии наблюдается у состава с содержанием шлама газоочистки 10 масс. % – 43,4 МПа. Величины прочности изделий с содержанием доменного шлама, представленные графически, имеют схожий график (максимум – 42,1 МПа), что говорит об одинаковой природе их образования и поведения при обжиге. Использование шлака конверторного приводит к снижению прочности при сжатии, и максимальное значение составляет 36,2 МПа. Плотность образцов в пределах введения до 20 масс. % отходов снижается приблизительно на 5 % (~2000 кг/м^3) от контрольного образца. Показатели изделий с содержанием 80 масс. % шлама газоочистки составляют 1170 кг/м^3, с содержанием шлама доменного – 1190 кг/м^3, а с содержанием шлака конверторного – 1340 кг/м^3, что связано с образованием большого количества пор при выгорании углеродистой части.

Для объяснения увеличения прочностных показателей полученных изделий был проведен рентгенофазовый анализ различных составов. Для исследования выбраны составы с использованием трех проб техногенного сырья с количеством 20 масс. % и контрольный образец для сравнения данных. Результаты рентгенофазового анализа керамических образцов представлены на рис. 3.

Изучение фазового состава представленных на рис. 3 керамических изделий показало, что у образцов с содержанием шлама газоочистки 20 масс. % фазовый состав представлен в основном анортитовой фазой (63 %) и кварцсодержащими соединениями (37 %); у образцов с содержанием доменного шлама 20 масс. % – кварцсодержащими соединениями (44 %) и анортитом (56 %); а у образцов с использованием шлака конверторного 20 масс. % – кварцсодержащими (51 %), муллитоподобными фазами (20 %) и анортитом (28 %).

Таким образом, комплекс проведенных исследований показал возможность использования кальцийсодержащего техногенного сырья для получения керамических строительных материалов с увеличенным количеством анортитовой фазы.

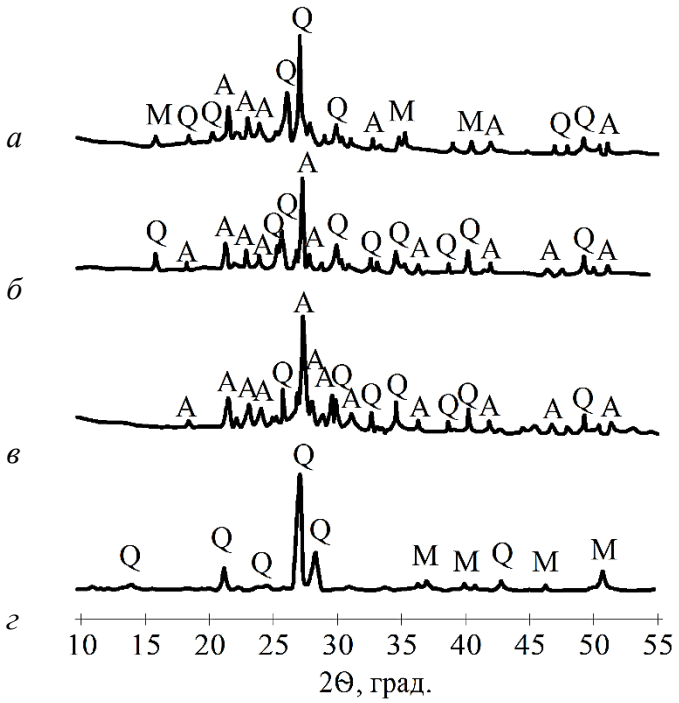


Рис. 3. Рентгенограмма исследуемых образцов керамического кирпича:
а – шлак конверторный; *б* – шлам доменный; *в* – шлам газоочистки; *г* – контрольный: Q – кварц; M – муллитоподобные; A – анортит

Наибольшие прочностные показатели были достигнуты при использовании в составе шихты 10–20 масс. % отхода газоочистки доменного производства – 43,4–42,7 МПа. Шлам доменный позволил получить изделия с прочностью при сжатии 41,2–41,0 МПа при содержании 10–20 масс. %. Конверторный шлак имеет показатели в 36,2– 35,1 МПа при аналогичном содержании в компонентной шихте. Исследования подтверждают гипотезу о том, что кальцийсодержащие отходы способствуют образованию анортитовой фазы в составе керамических материалов и увеличению прочности при сжатии до 24 %.

Библиографический список

1. *Tian Y., Qiu Y., Chai Y., Bai P. Gong C.* The effect of sintering temperature on the structure and properties of calcium hexaluminate/anorthite ceramics // Science of Sintering. 2013. V. 45. P. 141–147.
2. *Tian K.V., Mahmoud M.Z., Cozza P., et al.* Periodic vs. molecular cluster approaches to resolving glass structure and properties: Anorthite a case study // Journal of Non-Crystalline Solids. 2016. V. 451. P. 138–145.
3. *Shanjun K., Xiaosu Ch., Yanmin W., Qianghong W.* Dolomite, wollastonite and calcite as different CaO sources in anorthite-based porcelain // Ceramics International. 2013. V. 39 (5). P. 4953–4960.
4. *Yao R., Liao S., Dai C. et al.* Dual functions of novel glass-ceramic floor tile design and preparation // Ceramics International. 2014. V. 40 (6). P. 8667–8675.

5. *Сидикова Т.Д.* Строительные материалы из отходов производства // Современное строительство и архитектура. 2016. № 1 (01). С. 50–52.
6. *Кайракбаев А.К., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З.* Влияние различных отходов углеобогащения на физико-механические показатели и фазовый состав теплоизоляционных материалов // Стекло и керамика. 2017. № 2. С. 23–28.
7. *Шахов С.А., Николаев Н.Ю.* Особенности формирования фазового состава и структуры керамики из зологлиняной шихты, модифицированной золем силикатного состава // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019. № 8 (728). С. 19–27.
8. *Власов В.А., Семеновых М.А., Скрипникова Н.К., Шеховцов В.В.* Особенности использования некондиционных видов сырья для получения анортитовой керамики // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 122–128.
9. *Шеховцов В.В., Скрипникова Н.К., Семеновых М.А., Волокитин О.Г.* Анортитсодержащая строительная керамика с использованием шламовых отходов металлургического производства // Стекло и керамика. 2021. № 6. С. 29–35.
10. *Wang S., Li X., Wang C., et al.* Anorthite-based transparent glass-ceramic glaze for ceramic tiles: Preparation and crystallization mechanism // Journal of the European Ceramic Society. 2022. V. 42 (3). P. 1132−1140.
11. *Pei D., Li Y., Hua S., et al.* In situ XRD study on function mechanism of pyroxene and anorthite in Si-Ca ceramics from ferronickel slag // Materials Letters. 2021. V. 305. № 130839.

REFERENCES

1. *Tian Y., Qiu Y., Chai Y., Bai P. Gong C.* The effect of sintering temperature on the structure and properties of calcium hexaluminate/anorthite ceramics. *Science of Sintering*. 2013. V. 45. Pp. 141–147.
2. *Tian K.V., Mahmoud M.Z., Cozza P., et al.* Periodic vs. molecular cluster approaches to resolving glass structure and properties: Anorthite a case study. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2016. V. 451. Pp. 138–145.
3. *Shanjun K., Xiaosu Ch., Yanmin W., Qianghong W.* Dolomite, wollastonite and calcite as different CaO sources in anorthite-based porcelain. Ceramics International. 2013. V. 39 (5). Pp. 4953–4960.
4. *Yao R., Liao S., Dai C. et al.* Dual functions of novel glass-ceramic floor tile design and preparation. *Ceramics International*. 2014. V. 40 (6). Pp. 8667–8675.
5. *Sidikova T.D.* Stroitel'nyye materialy iz otkhodov proizvodstva [Building materials made of industrial waste]. *Sovremennoye stroitel'stvo i arkhitektura*. 2016. V. 1 (01). Pp. 50–52. (rus)
6. *Kayrakbayev A.K., Abdrakhimova Ye.S., Abdrakhimov V.Z.* Vliyaniye razlichnykh otkhodov ugleobogashcheniya na fiziko-mekhanicheskiye pokazateli i fazovyy sostav teploizolyatsionnykh materialov [Influence of coal enrichment wastes on physical and mechanical properties and phase composition of heat-insulating materials]. *Steklo i keramika*. 2017. V. 2. Pp. 23–28. (rus)
7. *Shakhov S.A., Nikolayev N.Yu.* Osobennosti formirovaniya fazovogo sostava i struktury keramiki iz zologlinyanoy shikhty, modifitsirovannoy zolem silikatnogo sostava [Formation of phase composition and structure of ceramics from ash-clay mixture modified by silicate sol]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2019. No. 8 (728). Pp. 19–27. (rus)
8. *Vlasov V.A., Semenovykh M.A. Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V.* Osobennosti ispol"zovaniya nekonditsionnykh vidov syr"ya dlya polucheniya anortitovoi keramiki [Non-standard raw materials for anorthite ceramics production]. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 122–128. (rus)
9. *Shekhovtsov V.V., Skripnikova N.K., Semenovykh M.A., Volokitin O.G.* Anortitsoderzhashchaya stroitel'naya keramika s ispol'zovaniyem shlamovykh otkhodov metallurgicheskogo proizvodstva [Anorthite-containing building ceramics using slag waste from metallurgical industry]. *Steklo i keramika*. 2021. V. 6. Pp. 29–35. (rus)

10. *Wang S., Li X., Wang C., et al.* Anorthite-based transparent glass-ceramic glaze for ceramic tiles: Preparation and crystallization mechanism. *Journal of the European Ceramic Society*. 2022. V. 42 (3). Pp. 1132–1140.
11. *Pei D., Li Y., Hua S., et al.* In situ XRD study on function mechanism of pyroxene and anorthite in Si-Ca ceramics from ferronickel slag. *Materials Letters*. 2021. V. 305. No. 130839.

Сведения об авторах

Семеновых Марк Андреевич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, semenovykh-mark@gmail.com

Скрипникова Нелли Карповна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, nks2003@mail.ru

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

Authors Details

Mark A. Semenovykh, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, semenovykhmark@gmail.com

Nelli K. Skripnikova, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, nks2003@mail.ru

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

УДК 691.542 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-114-124

О.В. ДЕМЬЯНЕНКО, Н.О. КОПАНИЦА,
А.А. КУЛИКОВА, А.М. УСТИНОВ,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВОВ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ

Проведен анализ существующих методов проектирования состава мелкозернистого бетона.

С помощью цифровых технологий разработан алгоритм проектирования состава мелкозернистого бетона, максимально учитывающий характеристики исходных, в том числе и высокодисперсных компонентов, и обеспечивающий получение однородной, плотной структуры мелкозернистого бетона с высокими эксплуатационными свойствами.

Апробирована разработанная методика проектирования состава мелкозернистого бетона с полифункциональной добавкой. Представлены результаты исследования по влиянию полифункциональной добавки на эксплуатационные характеристики мелкозернистого бетона.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон; проектирование состава бетона; полифункциональные добавки; моделирование; эксплуатационные характеристики бетона.

Для цитирования: Демьяненко О.В., Копаница Н.О., Куликова А.А., Устинов А.М. Особенности проектирования составов многокомпонентных мелкозернистых бетонов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 114–124.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-114-124

O.V. DEM'YANENKO, N.O. KOPANITSA, A.A. KULIKOVA, A.M. USTINOV,
Tomsk State University of Architecture and Building

COMPOSITION DEVELOPMENT OF MULTICOMPONENT FINE CONCRETE

The paper presents the analysis of the composition development of fine concrete. The design algorithm is proposed for the fine concrete composition with respect to its initial properties, including finely-dispersed components providing a homogeneous dense concrete structure with high performance properties. The proposed method is tested for the concrete composition with the multifunctional additive. The results concern the effect of this additive on the performance of fine concrete.

Keywords: fine concrete; concrete composition; modifying additive; modeling; performance characteristics.

For citation: Dem'yanenko O.V., Kopanitsa N.O., Kulikova A.A., Ustinov A.M. Osobennosti proektirovaniya sostavov mnogokomponentnykh melkozernistykh betonov [Composition development of multicomponent fine concrete]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 114–124.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-114-124.

© Демьяненко О.В., Копаница Н.О., Куликова А.А., Устинов А.М., 2022

Введение

Одним из важных направлений для обеспечения технического прогресса в строительной отрасли является применение мелкозернистых высококачественных цементобетонов, обеспечивающих стабильные физико-механические характеристики и долговечность зданий и сооружений. Широкие возможности в совершенствовании технологии мелкозернистых бетонов открывает применение разнообразных модифицирующих добавок, в том числе и нанообъектов, эффективно влияющих на свойства и структуру композиционного материала. В Томском государственном архитектурно-строительном университете разработаны комплексные полифункциональные добавки, содержащие микро- и нанодисперсные компоненты, значительно улучшающие физико-механические характеристики цемента и бетона [1].

В технологии производства мелкозернистых бетонов остаются недостаточно изученными вопросы, связанные с проектированием их составов, максимально учитывающие характеристики исходных, в том числе и высокодисперсных компонентов, особенности формирования структуры и свойств композиционного материала. Совокупность указанных проблем подтверждает актуальность проведения комплексного исследования по разработке составов и методов проектирования модифицированных мелкозернистых бетонов, максимально учитывающих свойства дисперсных компонентов.

Целью работы является разработка алгоритма проектирования состава мелкозернистого бетона с высокими эксплуатационными свойствами.

Выбор эффективного способа проектирования рациональных составов композиционных строительных материалов, в том числе бетонных смесей, является важным технологическим параметром, влияющим на формирование требуемых структуры и свойств готового продукта.

Вопросы оптимизации плотности упаковки зерен заполнителей обсуждаются во многих монографиях, посвященных технологии производства бетона (K.P. Chong, E.J. Garboczi, А.И. Кудяков, В.В. Белов и др.). Чем выше плотность упаковки заполнителей для мелкозернистого, песчаного и других видов бетонов, тем выше будет качество бетона: прочность, однородность и другие показатели. Простейшей моделью плотности упаковки является модель «Аполлона»: полидисперсная система представляется в виде совокупности модельных шариков различного диаметра. При этом шарики меньшего диаметра свободно (без изменения положения крупных шаров) размещаются в сформированных крупными шарами пустотах. Данная модель не в полной мере соответствует реальности производства бетонной смеси и не отвечает на вопрос, какой будет плотность упаковки готового конгломерата, если размер мелких шаров будет больше размеров пустот между крупными зернами [2].

Помимо модели «Аполлона», в конце XIX – начале XX в. были предложены варианты различных «идеальных» кривых рассева заполнителей, например кривая Фуллера, Функа – Дингера и др. [3]. Предполагалось, что заполнители, гранулометрия которых соответствует некоторой «идеальной» кривой, обеспечат более высокое качество бетона. Однако производственные задачи формулируются иначе: в каком соотношении смешать мелкий запол-

нитель (песок) с крупным (щебнем или гравием), чтобы получить смесь, например, с наименьшей пустотностью, или в каком соотношении смешать заполнители с разными характеристиками с аналогичной целью.

Новый виток развития в вопросах обеспечения плотности упаковки материалов с разной дисперсностью пришелся на 70–80-е гг. прошлого века, когда параллельно сформировались два направления исследования гранулометрических систем: разработка метода дискретного элемента и линейная модель плотности упаковки [4–7]. В первом случае используется компьютерное представление частиц, задаются силы поверхностного взаимодействия и далее исследуется поведение системы на основе законов Ньютона. Во втором случае вводится понятие доминирующего класса, виртуальной плотности упаковки, а взаимодействие частиц приводит к их раздвижке и разрыхлению. Первый метод ограничен небольшим количеством используемых в расчете фракций заполнителей. Второй метод позволяет получить аналитические уравнения для плотности упаковки зерен различных фракций заполнителей, что делает его привлекательным для применения в решении производственных задач [5, 6].

По нашему мнению, наиболее удачной для решения задач, связанных с оптимизацией состава, является модель линейной плотности упаковки. Предложенная авторами линейная модель позволяет оценить значение плотности упаковки по заданной гранулометрической кривой компонентов смеси. Однако, как показывает сравнение теоретических и экспериментальных данных, линейная модель не способна учесть процесс формирования структуры бетона и значения плотности упаковки частиц. Например, в линейной модели плотности упаковки нельзя учесть отличие виброуплотнения и вибропрессования бетонных изделий, хотя на практике эти режимы приводят к различным значениям пустотности смеси. В цикле работ зарубежных ученых [2] область применения модели линейной плотности упаковки была значительно расширена путем введения в нее так называемого «индекса компактности», эмпирически определяемого параметра, зависящего от процесса упаковки смеси. Получившуюся модель авторы назвали «модель упаковки с уплотнением» (Compressible Packing Model, CPM). Данная модель представляет интерес с практической точки зрения, потому что позволяет описать эффект «разрыхления» крупной фракции заполнителя мелкими частицами и эффект «упорядочивания в пограничном слое» мелкой фракции вокруг крупных частиц. Суть эффектов «разрыхления» и «упорядочивания» представлена на рис. 1. Частицы мелкой фракции, вклиниваясь между крупными частицами, приводят к увеличению пустотности конечной смеси, «разрыхляя» исходную смесь (без мелкой фракции). При добавлении крупной частицы в область, занимаемую мелкой фракцией, мелкие частицы упорядочиваются вблизи поверхности крупной, что также может привести к увеличению пустотности дисперсных частиц.

Таким образом, достижение рационального соотношения заполнителей в мелкозернистом бетоне – это существенная предпосылка для получения композиционного материала со стабильными характеристиками качества. А модернизация аналитического метода расчета состава бетонной смеси с возможностью учета в ней соотношения дисперсных материалов до нескольких фракций, а также возможность дополнения модели CPM исходными

данными, учитывающими в том числе толщину обмазки зерен дисперсных материалов, позволит с большей точностью и достоверностью оценивать особенности формирования структуры бетона.

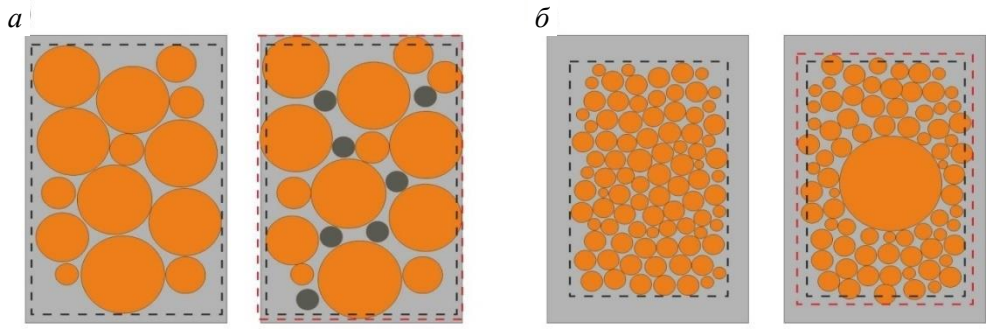


Рис. 1. Эффект разрыхления крупной фракции мелкими частицами (*а*); эффект упорядочивания мелкой фракции вблизи поверхности крупной частицы (*б*). Черной пунктирной линией показан объем смеси до введения мелких частиц в случае (*а*) и крупной частицы в случае (*б*), красной пунктирной линией показан конечный объем [4–6]

С этой целью, совместно со специалистами из инновационного центра «Сколково» [5], было предложено использовать модернизированную модель плотности упаковки компонентов бетона CPM, учитывающую: индекс компактности дисперсных материалов *K*, полидисперсность системы, коэффициенты взаимодействия дисперсных частиц (функции α, функция β) и критический диаметр раздвижки зерен x_0. На рис. 2 схематично представлено взаимодействие зерен заполнителей. Состав бетонной смеси проектируется исходя из заданной прочности бетона.

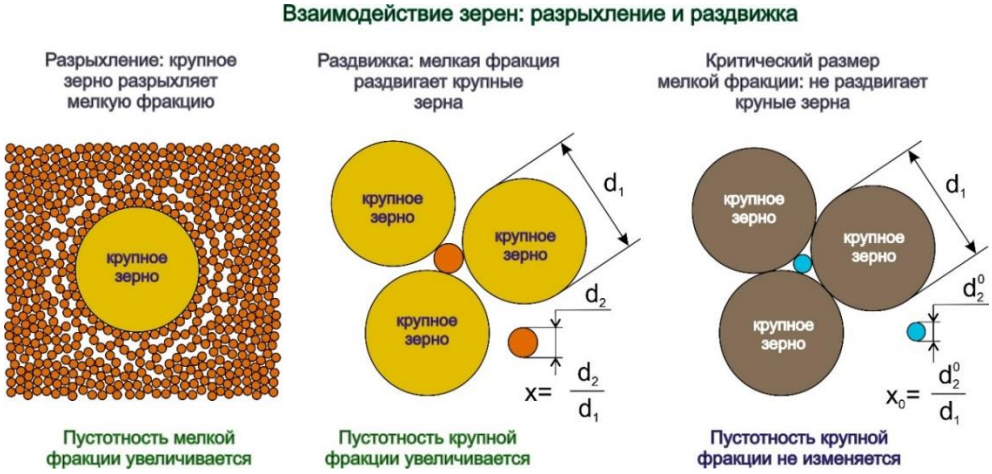


Рис. 2. Эффект разрыхления мелкой фракции крупной частицей (*слева*), эффект раздвижки крупных зерен мелкой частицей (*середина*) и определение критического диаметра раздвижки (*справа*) [6]

В работе был использован алгоритм калибровки модели CPM, применимый для любого сыпучего материала, на основе экспериментальных данных по насыпной и истинной плотностям. Основная задача предложенного алгоритма состоит в том, чтобы однозначно сопоставить любой многокомпонентный материал и эквивалентный набор модельных бидисперсных материалов с определенными коэффициентами взаимодействия и единой виртуальной плотностью упаковки, что позволит обеспечить сходимость параметров модели CPM.

Схема расчета состава бетона с гарантированной сходимостью параметров модели представлена на рис. 3. Используя информационные технологии моделирования для расчета плотности упаковки смеси сыпучих материалов – мелкого заполнителя (отсев и песок), можно предложить расчетно-экспериментальную методику определения состава бетона, позволяющую эффективно использовать данные по гранулометрическому составу заполнителей как технологический параметр, регулирующий свойства бетонной смеси. С этой целью необходимо проектируемую бетонную смесь представить в виде двух составляющих: цементное тесто + заполнители.

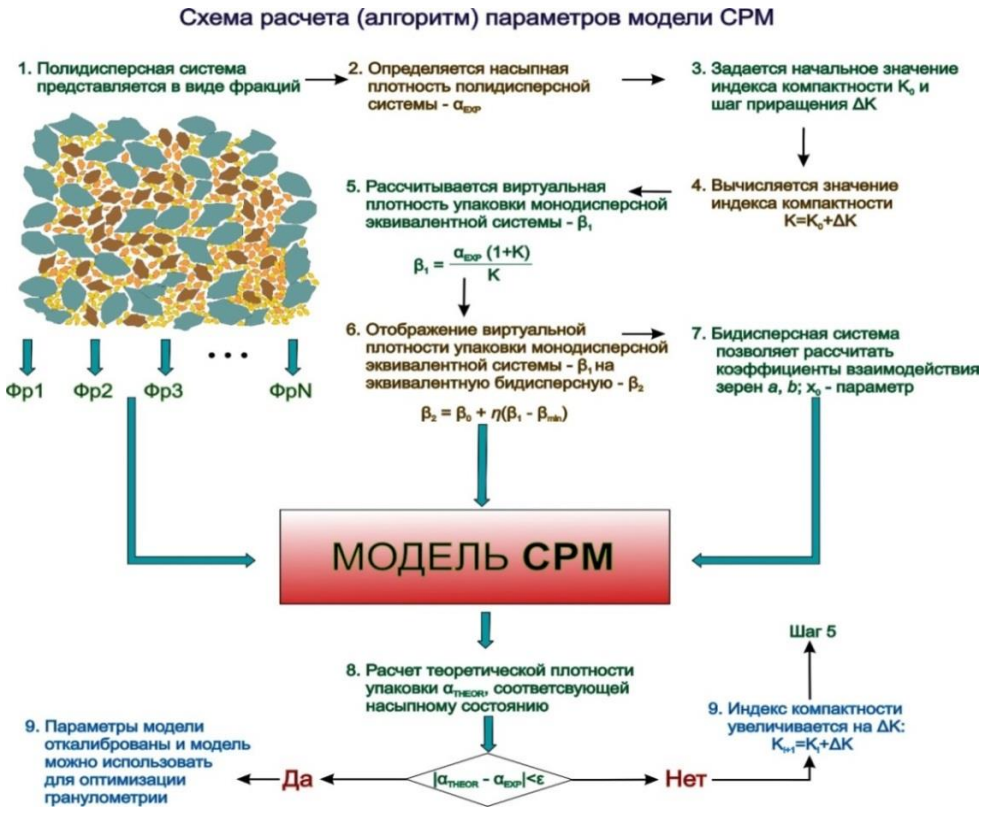


Рис. 3. Алгоритм расчета параметров модели CPM для калибровки на конкретный материал

Объем бетонной смеси, формирующий структуру бетона, может быть представлен в виде зерен заполнителей, цементного теста, расходующегося на заполнение пустот между заполнителями, и цементного теста, требующегося

на обмазку зерен заполнителя. В соответствии с этим на основе метода абсолютных объемов расчета состава бетонной смеси для проверки сходимости расчетных и экспериментальных данных мелкозернистого бетона на лабораторных образцах был проведен комплекс исследований физико-механических свойств бетона. Изготавливались образцы размером 10×10×10 см, составы которых рассчитаны с применением программного комплекса T-sim. Для каждого состава готовилось не менее 20 образцов. Значение прочности определялось как среднеарифметическое из 5 образцов на каждый срок твердения, коэффициент вариации – не более 5 %. Образцы твердели при температуре (20 ± 5) °С, относительной влажности (95 ± 5) %. Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 26633–2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» в лаборатории ИЦ «Стромтест» ТГАСУ. Морозостойкость определялась в соответствии с ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости. Общие требования. Тяжелые, мелкозернистые, легкие и плотные силикатные бетоны», водонепроницаемость и открытая пористость – по ГОСТ 12730.5 на приборе для определения воздухонепроницаемости АГАМА-2Р. Составы исследуемых бетонных смесей приведены в таблице.

Составы мелкозернистого бетона

Состав	Отсев щебня, кг	Песок, кг	Цемент, кг	Вода, л	ПД (полифункциональная добавка), кг	Пластификатор, л	ОК, см	Расчетная прочность бетона, 28 сут, МПа	Величина погрешности ε	Усадка, мм/м
Контрольный	1106,6	551,5	557,6	195	–	2,23	16	49	3,51	1,9
Модифицированный	1141	588	521	180	26,05	1,56	17	67	5,25	0,8

Прочностные характеристики контрольного мелкозернистого бетона и модифицированного определялись в 3, 7, 28 и 120 сут твердения. На рис. 4 показаны сравнительные результаты набора прочности от времени твердения исследуемых составов.

Анализ экспериментальных данных (рис. 4) позволяет сделать вывод, что введение разработанной авторами комплексной полифункциональной добавки способствует увеличению прочностных показателей качества мелкозернистого бетона на 50 %. Испытание на водонепроницаемость образцов мелкозернистого бетона показало, что значительное влияние разработанной комплексной добавки на уплотнение его структуры и обеспечило мелкозернистому бетону повышенную марку по водонепроницаемости. Контрольный мелкозернистый бетон имеет марку по водонепроницаемости W8, а с ПД – до W16. Результаты испытаний представлены на рис. 5. Повышение марки по водонепроницаемости может быть объяснено снижением открытой пористости, а следовательно, и уплотнением структуры мелкозернистого бетона, что также подтверждает эффективность раз-

работанной добавки. Образцы контрольного состава бетона выдержали 5 циклов испытаний на морозостойкость по третьему ускоренному методу, что соответствует марке F_1200, а бетон с ПД выдержал 27 циклов, что соответствует марке F_1800. Это связано с уплотнением структуры компонентов бетона (рис. 6).

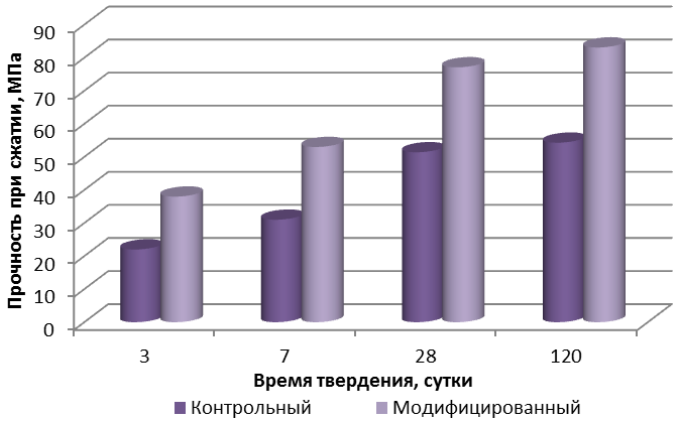


Рис. 4. Кинетика набора прочности мелкозернистого бетона

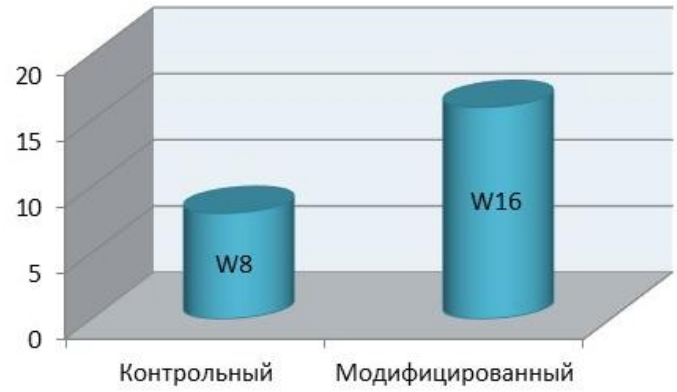


Рис. 5. Результаты испытаний на водонепроницаемость образцов мелкозернистого бетона

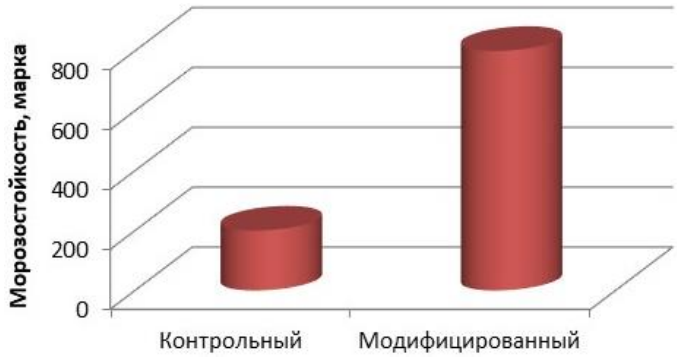


Рис. 6. Морозостойкость мелкозернистого бетона с применением разработанных комплексных добавок

Деформативные свойства мелкозернистого бетона, его трещиностойкость являются важными характеристиками для оценки его эксплуатационных свойств, особенно для высокопрочных бетонов. В работе были проведены исследования по влиянию разработанных составов бетонов с использованием полифункциональных добавок на его деформативные свойства. Испытано 2 серии образцов бетона, модифицированных и контрольных в возрасте 28 сут. Исследования проводились с использованием цифровой оптической системы VIC-3D, позволяющей получить стереоскопические изображения деформированной поверхности во всем диапазоне прочности исследуемого образца от стадии упругого деформирования до разрушения. Полученные результаты приведены на рис. 7 и 8. Для каждого образца сделано три снимка деформированной поверхности. На рис. 7 представлены сводные деформации, показывающие их максимальные значения по всему образцу. В данном случае рассматривается развитие поперечных деформаций (образование магистральных трещин), являющихся причиной разрушения образцов. Справа от каждого изображения деформированной поверхности приведена шкала значений поперечных деформаций в соответствии с цветовой гаммой.

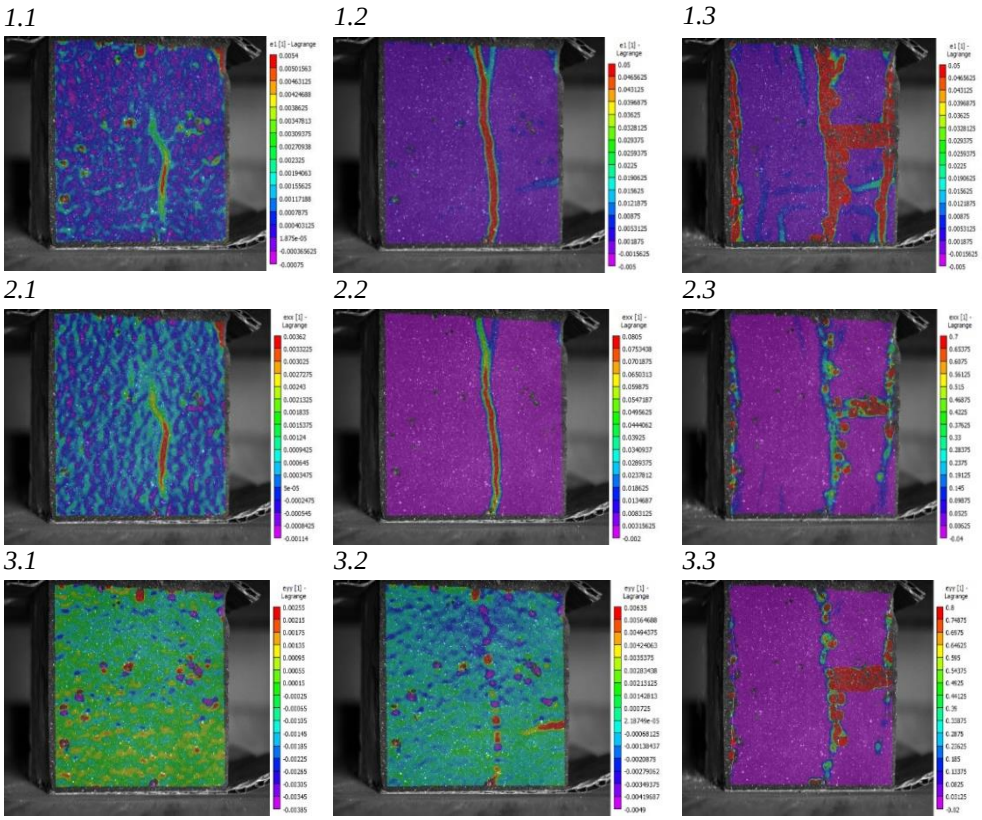


Рис. 7. Изображения деформированной поверхности контрольных образцов бетона: *1.1, 2.1, 3.1* – снимок выполнен при нагрузках, равных 1/2 от разрушающего значения; *1.2, 2.2, 3.2* – снимок выполнен при разрушающих нагрузках; *1.3, 2.3, 3.3* – снимок характеризует стадию разрушения образцов

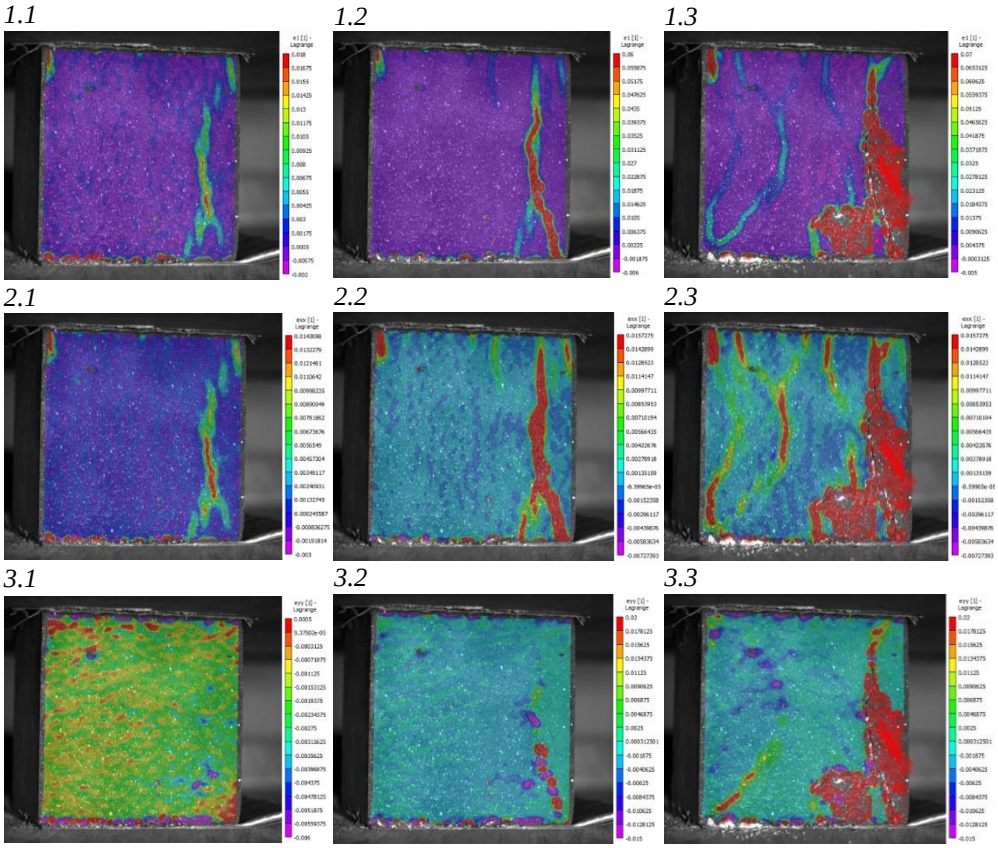


Рис. 8. Изображения деформированной поверхности модифицированного ПД образцов бетона:
1.1, 2.1, 3.1 – снимок выполнен при нагрузках, равных 1/2 от разрушающего значения; *1.2, 2.2, 3.2* – снимок выполнен при разрушающих нагрузках; *1.3, 2.3, 3.3* – снимок характеризует стадию разрушения образцов

На рис. 7, *1.1* зафиксировано начало трещинообразования, на рис. 7, *1.2* – развитие трещин, на рис. 7, *1.3* – процесс разрушения образца. Максимальное раскрытие трещин деформаций соответствует значению 0,54. С появлением трещин происходит откол боковых сторон образца примерно на 80 % от разрушения.

На рис. 8 представлены снимки образцов модифицированного бетона. Анализ снимков показывает, что трещинообразование происходит иначе в сравнении с контрольным образцом, на рисунках отсутствуют магистральные трещины, нет откольных частей. На снимках можно наблюдать множество трещин, которые в ГОСТ 29167–91 описываются как нормальное (правильное) разрушение образца. Такой вид трещинообразования является эталонным. Начало трещинообразования изображено на рис. 8, *1.1* – процесс образования трещин идет из правого нижнего угла, на рис. 8, *1.2* происходит развитие трещин – трещина перемещается в центр и стремится в правый верхний угол, процесс разрушения образцов бетона показан на рис. 8, *1.3*.

Развитие упругих деформаций у образцов с добавками характеризуется формированием зоны уплотнения в средней части куба и постепенным разуплотнением среды в окрестности свободных граней кубов. Можно отметить линейную зависимость роста поперечных деформаций от напряжений до уровня средних значений нагрузок. Разрушение исследуемых кубов началось с появления микротрещин на периферийных участках. Откола боковых граней не наблюдается. Модуль упругости бетонных образцов на 40 % выше по сравнению с контрольным образцом.

Результаты проведенного исследования показали, что модифицированный бетон может работать упруго в более широком диапазоне нагрузок, что позволит обеспечить высокую трещиностойкость и деформативность бетонных смесей на основе модифицированного цемента.

Модернизация метода проектирования состава бетона на основе линейной теории плотности упаковки и толщины обмазки зерен заполнителя цементным тестом позволяет включить в расчет весь диапазон дисперсных материалов и получить заданные характеристики бетона с высокой степенью достоверности. Расчетные и экспериментальные данные показали хорошую сходимость результатов (величина погрешности для контрольного состава составила 3,51 %, для модифицированного – 5,25 %). Таким образом, проведенный комплекс физико-механических исследований показал эффективность модернизированного метода проектирования состава мелкозернистого бетона с разработанной полифункциональной добавкой. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод об эффективности влияния разработанной добавки и способов проектирования состава МЗБ, позволяющих получить мелкозернистые бетоны с высокими показателями водонепроницаемости (до W16), прочности (до 50 %) и морозостойкости ($F_1$800) при одновременном снижении открытой пористости и увеличении модуля упругости до 40 %.

Библиографический список

1. *Демьяненко О.В., Куликова А.А., Копаница Н.О.* Оценка влияния комплексной полифункциональной добавки на эксплуатационные характеристики цементного камня и бетона // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 5. С. 139–152. DOI: https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-5-139-152
2. *De Larrard F.* Concrete mixture proportioning. A scientific approach. London ; New York, 1998. P. 448.
3. *Белов В.В., Смирнов М.А.* Оптимизация гранулометрического состава композиций для изготовления безобжиговых строительных конгломератов // Вестник Центрального регионального отделения РААСН. Воронеж : РААСН, ВГАСУ, 2010. Вып. 9. С. 65–72.
4. *Frank D., Friedemann K., Schmidt D.* Optimisierungder Mischungsowie Verifizirung der Eigenschaften Saueresistente Hochleistungbetone // Betonwerk Fertigteil-Technik. 2003. № 3. P. 30–38.
5. *Резаев Р.О.* Оптимизация рецептур тяжелого бетона на основе теории плотности упаковки // Дороги и мосты. 2019. Вып. 42. С. 271–288.
6. *Резаев Р.О., Демьяненко О.В., Копаница Н.О.* Определение максимальной плотности упаковки поликомпонентных заполнителей для бетона // Alitinform: цемент. Бетон. Сухие смеси. 2019. № 1. С. 28–38.
7. *Кудряков А.И., Смирнов А.Г., Петров Г.Г., Душенин Н.П.* Проектирование и использование заполнителей с оптимальной межзерновой пустотностью // Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура. 1987. № 7. С. 135.

REFERENCES

1. *Dem'yanenko O.V., Kulikova A.A., Kopanitsa N.O.* Razrabotka kompleksnoi polifunktsional"noi dobavki dlya tsementnogo kamnya i betona [The effect of complex multi-purpose additive on operating properties of hydrated cement and concrete]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 5. Pp. 139–152. (rus)
2. *De Larrard F.* Concrete mixture proportioning. A scientific approach. London; New York, 1998. 448 p.
3. *Belov V.V., Smirnov M.A.* Optimizatsiya granulometricheskogo sostava kompozitsii dlya izgotovleniya bezobzhigovykh stroitel'nykh konglomeratov [Optimisation of particle size distribution of compositions for unburnt building conglomerate production]. *Vestnik Tsentral'nogo regional'nogo otdeleniya RAASN*. 2010. No. 9. Pp. 65–72. (rus)
4. *Frank D., Friedemann K., Schmidt D.* Optimisierungder Mischungsowie Verifizirung der Eigenschaften Saueresistente Hochleistungbetone. *Betonwerk Fertigteil-Technik*. 2003. No. 3. Pp. 30–38.
5. *Rezaev R.O.* Optimizatsiya retseptur tyazhelogo betona na osnove teorii plotnosti upakovki [Optimisation of heavy concrete composition based on packing density theory]. *Dorogi i mosty*. 2019. No. 42. Pp. 271–288. (rus)
6. *Rezaev R.O., Dem'yanenko O.V., Kopanitsa N.O.* Opredelenie maksimal'noi plotnosti upakovki polikomponentnykh zapolnitelei dlya betona [Maximum packing density of multicomponent aggregates for concrete]. *Alitinform: Tsement. Beton. Sukhie smesi*. 2019. No. 1. Pp. 28–38. (rus)
7. *Kudyakov A.I., Smirnov A.G., Petrov G.G., Dushenin N.P.* Proektirovanie i ispol'zovanie zapolnitelei s optimal'noi mezhzernovoi pustotnost'yu [Design and use of aggregates with optimum grain spacing]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1987. No. 7. Pp. 135. (rus)

Сведения об авторах

Демьяненко Ольга Викторовна, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, demyanenko.olga.v@gmail.com

Куликова Анжелика Андреевна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, lika.panda.19@gmail.com

Копаница Наталья Олеговна, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2,

Устинов Артем Михайлович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2,

Authors Details

Olga V. Dem'yanenko, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, demyanenko.olga.v@gmail.com

Anzhelika A. Kulikova, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, lika.panda.19@gmail.com

Natal'ya O. Kopanitsa, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kopanitsa@mail.ru

Artem M. Ustinov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 621.577.22 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-125-137

А.В. ТОЛСТЫХ, Ю.Н. ДОРОШЕНКО,
В.В. ПЕНЯВСКИЙ, И.О. ХАЛИМОВ,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Проведен анализ и систематизация данных, связанных с особенностями расчета и моделирования тепломассообменных процессов, определяющих режимы работы тепловых насосов. Рассмотрены ключевые положения физико-математического моделирования, направленного на определение закономерностей работы геотермальных тепловых насосов. Обозначены основные проблемы, которые являются нерешенными и требуют дополнительных исследований.

Показано, что численные методы, предусматривающие избыточный учет всех основных физических механизмов, влияющих на эффективность сбора грунтового тепла, как правило, малоприменимы для практических расчетов при проектировании теплонасосных систем. Использование результатов численного или натурного моделирования ограничено конкретными географическими и климатическими условиями, не позволяющими получить относительно универсальные обобщения, в которых проводились численные, натурные или лабораторные эксперименты. Особенно заметен недостаток полных методик проектирования систем сбора грунтового тепла в северных регионах с холодным климатом.

Выявлено перспективное направление будущих исследований, в рамках которого предполагается получение данных, отражающих влияние переноса тепла и влаги в грунте на производительность геотермальных тепловых насосов.

Ключевые слова: геотермальный тепловой насос; грунтовые теплообменники; физико-математическое моделирование; сбор грунтового тепла; тепловой режим грунта; тепловая нагрузка на грунт.

Для цитирования: Толстых А.В., Дорошенко Ю.Н., Пенявский В.В., Халимов И.О. Моделирование работы тепловых насосов. Проблемы и перспективы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 125–137.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-125-137.

© Толстых А.В., Дорошенко Ю.Н., Пенявский В.В., Халимов И.О., 2022

A.V. TOLSTYKH, YU.N. DOROSHENKO,
V.V. PENYAVSKY, I.O. KHALIMOV,
Tomsk State University of Architecture and Building

SIMULATION OF HEAT PUMP OPERATION. PROBLEMS AND PROSPECTS

The article presents the calculation and modeling of heat and mass transfer that determines the operating modes of heat pumps. The physical and mathematical simulation aims at the operation of geothermal heat pumps. It is shown that numerical simulation of the main physical mechanisms affecting the efficiency of the ground heat collection are little used for practical calculations in design of heat pump systems. The use of numerical simulation results is limited by specific geographical and climatic conditions that do not allow generalizing numerical, full-scale or laboratory experiments. Especially noticeable is a lack of complete design methods of ground heat collection systems in northern regions. A promising direction of future research is identified to obtain the data on the effect of heat and moisture transfer in the soil on the performance of geothermal heat pumps.

Keywords: geothermal heat pump; ground heat exchanger; physical and mathematical simulation; ground heat collection; thermal soil conditions.

For citation: Tolstykh A.V., Doroshenko Yu.N., Penyavskii V.V., Khalimov I.O. Modelirovanie raboty teplovykh nasosov. Problemy i perspektivy [Simulation of heat pump operation. problems and prospects]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 125–137.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-125-137

Введение

Известно, что в почвенно-климатических условиях России наиболее целесообразно использовать теплонасосные системы теплоснабжения, в которых грунт поверхностных слоев земли играет роль низкотемпературного источника тепловой энергии [1, 2].

В настоящее время в России значительно увеличилось количество теплонасосных систем [3, 4], использующих низкопотенциальное тепло поверхностных слоев земли. В зарубежной технической литературе такие системы обозначаются как GHP – geothermal heat pumps, геотермальные тепловые насосы. Уже более 50 лет эти системы эксплуатируются в США, Канаде и в странах Центральной и Северной Европы: Австрии, Германии, Швеции и Швейцарии.

Несмотря на большой энергосберегающий потенциал, применение тепловых насосов в климатических условиях нашей страны ограничено отсутствием инженерных методик расчета, учитывающих все многообразие факторов, влияющих на работу теплового насоса. Большинство исследований основано на достаточно сложных вычислениях [5, 6], в которых необходимо учитывать помимо механизмов процессов тепломассопереноса различные физико-химические характеристики грунтового массива в их сезонной динамике.

Обзор ключевых физико-математических моделей для моделирования работы тепловых насосов

Тепловые физико-математические модели, предназначенные для выяснения закономерностей работы систем сбора грунтового тепла, представляют

собой группу методов, которые отличаются друг от друга использованием представлений о линейных или цилиндрических, бесконечных или конечных источниках тепла [7, 8]. Многие зарубежные исследователи определяют температуры стенки ствола буровой скважины, исходя из чистого расхода тепла от земли и специальных функций, так называемых g-функций, полученных Эскилсоном [9] численно, на основе радиально-осевого решения для уравнения тепла в цилиндрических координатах при допущении о незначительных теплоемкостях для жидкого теплоносителя и трубы, по которой он циркулирует в грунте. В модели Эскилсона числовые решения были получены, чтобы определить температурное распределение для единственной буровой скважины, а затем в результате использования суперпозиции в пространственных и временных координатах можно было найти температурное распределение для определенной конструкции теплообменника в условиях известного притока грунтового тепла. После введения Эскилсоном g-функций было осуществлено много обобщений и модификаций этого метода, имеющих цель снять присущие ему ограничения и улучшить его точность. Например, в статьях [10, 11] для моделирования работы контура испарителя и грунтового теплообменника предлагалось общее решение Эскилсона и Клаессона [12], которое для произвольного распределения температуры стенки по глубине скважины было модифицировано для граничного условия первого рода. В результате в работе [11] построена методика приближенного численного расчета совместной работы вертикального грунтового теплообменника и испарителя теплового насоса, установлено, что в рассматриваемых условиях тепловой поток аппаратов существенно зависит от температуры грунта.

Отправной точкой для отечественных исследований в области моделирования работы грунтовых тепловых насосов стали работы Г.П. Васильева [13]. Разработанный автором метод математического моделирования нестационарного пространственного теплового режима грунтового массива с расположенными в нем теплообменниками основан на использовании специальной функции влияния стоков тепла на естественный тепловой режим грунта. Для того чтобы выполнить обратный переход от функции влияния стоков тепла к действительному распределению температуры, реализующейся в период эксплуатации грунтового теплового насоса, при условии использования осредненной «эквивалентной» теплопроводности, отражающей реальные характеристики грунта, а также допущения возможности аппроксимации регистра труб линейным стоком тепла, не учитывая влияния соседних труб грунтового теплообменника, автор [13] сформулировал 3-мерную математическую модель теплового режима систем теплосбора геотермальных теплонасосов.

В работе [14] предложена математическая модель, описывающая тепловые процессы в массиве грунта с теплообменником, в которой учтено взаимное влияние соседних труб, а также зависимость теплофизических свойств грунта от температуры. Авторы [14] считают, что переход к функции влияния стоков тепла на естественный тепловой режим грунта [13] нецелесообразен, т. к. при этом необходимо учитывать температуру грунта (при отсутствии теплового воздействия) в источниковом члене уравнения теплопроводности при получении температурного поля массива грунта. Для того чтобы отразить влияние ко-

лебаний температуры грунта на поверхности на распределение температуры на разных глубинах, в [14] используется известное аналитическое решение одномерной нестационарной полубесконечной задачи теплопроводности.

При эксплуатации геотермального теплового насоса в течение длительного времени температура грунта вблизи грунтового теплообменника может значительно уменьшаться по сравнению с температурой участков грунтового массива, на которых не сказывается взаимодействие с тепловым насосом. За теплый период грунт может не успеть прогреться до температур, соответствующих его естественному состоянию. В работе [15] подчеркивается актуальность задач по выбору рациональных режимов работы тепловых насосов, которые позволили бы использовать грунт как источник низкопотенциального тепла, не приводя к существенному понижению его температуры в долголетней перспективе и обеспечивая требуемое поступление тепловой энергии. Авторами [15] предложена полученная в результате численного моделирования для климатических условий Украины регрессионная зависимость для определения теплосъема с грунта горизонтальным теплообменником, которая не учитывает глубину заложения, диаметр и теплофизические свойства материала труб.

Относительно небольшое количество исследований посвящено моделированию нестационарного теплопереноса в грунте с проложенными в нем трубчатыми теплообменниками в полной 3-мерной постановке с учетом цилиндрической формы источников (стоков) тепла. В работе [16] предложена численная 3-мерная модель, проверенная в эксперименте, которая может использоваться для анализа температурного режима теплообменника и эффективности работы теплонасосной системы «грунт – теплоноситель» горизонтального исполнения. Авторами [17] разработана новая математическая модель распространения тепла от заглубленного источника (горизонтального трубопровода), в которой учитываются не только лучистое излучение, приводящее к нелинейным краевым условиям на поверхности грунта, и характеристики различных слоев грунта, в которых залегает подземный трубопровод, но и фильтрация жидкости во влажном грунте и ее испарение.

Анализ эффективности численного моделирования работы систем сбора грунтового тепла исходя из результатов натурных экспериментов

Значительный интерес представляют исследования, в которых проведено моделирование и осуществлена экспериментальная проверка работы тепловых насосов совместно с системой отопления конкретных зданий и сооружений. В работе [18] были проанализированы данные по входным и выходным температурам теплоносителя в грунтовых теплообменниках, температурам грунта, распределению по времени пиков и спадов потребления энергии и коэффициента производительности тепловых насосов для административных зданий в различных крупных городах Китая. В работе [19] выполнены аналогичные исследования по эффективности и устойчивости работы тепловых насосов как источников хладотеплоснабжения административных зданий, расположенных в регионах Китая с холодным климатом. Всесторонний анализ результатов экспериментов и численного моделирования показал, что геотермальные теплонасосные системы зданий в холодных районах Китая могут работать устойчиво

в течение длительного срока и с высокой эффективностью, когда отношение ежегодного суммарного потребления энергии на холодоснабжение к ежегодному суммарному потреблению энергии на теплоснабжение находится в пределах от 1:1 до 7:1. Авторами [18, 19] также установлено, что при определенных сочетаниях климатических и геологических факторов использование геотермальных тепловых насосов в системах хладотеплоснабжения административных зданий нецелесообразно.

Несмотря на высокую энергоэффективность, широкое распространение грунтовых тепловых насосов ограничено значительными начальными инвестиционными затратами. Как отмечено в статье [20], комбинированное применение солнечной энергии и теплового насоса может снизить стоимость доступной энергии и более высокую энергетическую эффективность использования по сравнению со стандартными системами хладотеплоснабжения. Большое преимущество, возникающее при эксплуатации теплового насоса совместно с системой солнечных коллекторов, заключается в том, что солнечная энергия может обеспечить источник тепла с более высокой температурой, чем атмосферный воздух или грунт в холодный период года, в связи с чем коэффициент преобразования теплового насоса может быть увеличен. Кроме того, температура теплоносителя в солнечных коллекторах близка к температуре окружающей среды (низкотемпературные солнечные коллекторы), что приводит к повышению энергетической эффективности системы солнечного теплоснабжения из-за уменьшения теплопотерь.

Установки, предусматривающие совместное использование, низкотемпературных солнечных коллекторов и тепловых насосов, обычно делятся на два типа: открытый или закрытый. В системах открытого типа солнечный коллектор служит испарителем теплового насоса [21], и хладагент циркулирует через солнечный коллектор. В установках закрытого типа солнечное тепло поступает к теплоносителю в тепловом насосе через теплообменник [22]. Авторы [22] вместе с компьютерным моделированием провели натурные испытания системы отопления с солнечными коллекторами и с тепловым насосом в чрезвычайно холодных климатических условиях. Были определены оптимальные режимы функционирования, оценена теплопроизводительность системы в типичные зимние дни. Результаты испытаний показали, что энергосбережение при использовании солнечного коллектора составило 55 %, по сравнению с системой, в которой источником тепла являлся газовый бойлер.

Закрытые системы могут также быть интегрированы с источниками низкопотенциального грунтового тепла. Авторы работы [20] выполнили моделирование (в специализированном программном пакете TRNSYS) такой системы, обеспечивающей теплом (холодом) многоэтажный дом в климатических условиях различных регионов Европы. Было установлено, что при работе грунтовых теплообменников только в режиме съема тепла из грунта происходит существенное уменьшение температуры грунта в долгосрочной перспективе. Тепло, передаваемое в грунт из солнечных тепловых коллекторов в теплый период года, позволяет сбалансировать тепловую нагрузку на грунт в течение года и может помочь в поддержании эффективной работы тепловых насосов. Кроме того, при использовании системы с солнечными тепловыми коллекторами общая

длина буровой скважины может быть уменьшена, что приводит к снижению стоимости установки вертикальных грунтовых теплообменников.

Работа [23] представляет собой экспериментальное исследование комбинированной системы отопления небольшого частного дома, источниками тепла в которой служат солнечные коллекторы и грунтовой тепловой насос. Летом почва используется для сброса избыточного тепла из системы холодоснабжения дома. В зимнее время здание отапливалось с помощью солнечной энергии и тепла, извлекаемого из почвы тепловым насосом. После первого года работы солнечное тепло, накопленное в грунте, обеспечивает его более высокую температуру, которая благоприятна для повышения коэффициента преобразования теплового насоса. Несколько лет спустя, из-за значительного повышения температуры почвы, время работы солнечных коллекторов должно быть снижено, чтобы не нарушить тепловой баланс грунта. Эта система отопления обеспечивает теплопроизводительность, достаточную для обогрева небольшого отдельно стоящего дома в холодных областях Китая.

Оценка влияния тепловых насосов на избыточное замораживание грунтов

При эксплуатации грунтовых тепловых насосов в регионах с холодным климатом возможно замораживание почвы вокруг грунтовых теплообменников. Замораживание оказывает существенное влияние на температуру грунта и его теплофизические характеристики. В работе [24] построена двумерная модель теплопередачи с учетом фазового перехода при замораживании (таянии) в слое грунта, окружающем трубу теплообменника грунтового насоса. В результате численного решения поставленной задачи было выяснено влияние замораживания почвы, содержания грунтовой воды на колебания температуры грунта и проанализирована возможность возникновения и развития тепловой неустойчивости грунта при продолжительной эксплуатации грунтового насоса. Замораживание почвы может уменьшить снижение температуры грунта и таким образом увеличить разницу температур жидкости в трубах грунтового теплообменника и удаленных слоев грунта. При замораживании грунта снижается его температуропроводность. Теплопередача от удаленных слоев грунта до буровой скважины теплообменника будет ослаблена из-за уменьшения температуропроводности почвы и таким образом сохранит почву на более низком температурном уровне, что может привести к снижению коэффициента полезного действия теплового насоса.

В большинстве отечественных исследований теплофизических процессов, протекающих в промерзающих грунтах, используется модель промерзающего, оттаивающего и мерзлого грунта, предложенная Н.А. Цытовичем, Я.А. Кроником, В.Ф. Киселевым [25–27]. Например, в работе [27] разработана методика численного моделирования процесса промерзания и оттаивания, учитывающая изменение характеристик грунта при миграции влаги во время процесса промерзания-оттаивания. В [29] проведен анализ трехмерного процесса замерзания и оттаивания столбика грунта, а также грунта вокруг горизонтального заглубленного трубопровода на основе численных расчетов в программном комплексе Termoground, который разработан геотехниками Санкт-Петербурга под руководством профессора В.М. Улицкого. Авторы ра-

боте [30] решают аналогичную нестационарную и нелинейную тепловую задачу промерзания-оттаивания грунта в двумерной постановке с использованием программы COSMOS/M. В работе [31] на основе тех же моделей, что и в [28, 29], рассматривается применение программного комплекса Frost 3D для расчёта трехмерных температурных полей в основаниях фундаментов сооружений, возводимых в областях с вечной мерзлотой.

Хорошими перспективами для практического применения обладают относительно немногочисленные попытки использования упрощенных аналитических подходов к моделированию тепловых режимов систем сбора грунтового тепла, работающих в условиях многократного замораживания и оттаивания. Моделирование искусственного замораживания грунта в пространстве около вертикальной обсадной трубы с циркулирующим охладителем проведено в работе [32]. Авторы обосновали пренебрежимо малое влияние на температуру и агрегатное состояние грунтовой воды процессов переноса тепла в вертикальном направлении, что позволило получить эффективную одномерную модель, которая может применяться для расчета теплообмена во время процесса замораживания искусственного заземления при различных операционных условиях.

В работе [13] предложена методика определения эквивалентной теплопроводности грунтового массива, учитывающей изменение агрегатного состояния влаги в поровом пространстве грунта. Эквивалентная теплопроводность используется автором [13] при моделировании процессов тепломассопереноса, формирующих тепловой режим в массиве грунта, находящемся в пределах зоны теплового влияния регистра труб грунтового теплообменника теплового насоса. Зарубежные авторы при разработке аналитических моделей считают целесообразным использовать понятие эквивалентной теплопроводности для прогнозирования закономерностей теплопереноса в грунте [9, 12].

Заключение

В настоящее время в рамках рассмотренных традиционных подходов к моделированию тепловых режимов систем сбора низкопотенциального грунтового тепла получены важные результаты, облегчающие проведение расчетов и проектирования грунтовых тепловых насосов с учетом теплофизических процессов, протекающих в грунте. В то же время очевидно, что на сегодняшний день существуют проблемы, которые остаются нерешенными и требуют дополнительных исследований.

Несмотря на то, что численные методы, предусматривающие использование конечных разностей или конечных элементов, достаточно тщательно учитывают все основные физические механизмы, они малоприменимы для практических расчетов. Большинство работ по численному моделированию работы грунтовых тепловых насосов выполнено с использованием коммерческого программного обеспечения, такого как Ansys, Transys, Cosmos/m и т. д. Однако очень трудно добиться широкого применения коммерческого программного обеспечения при разработке конкретных проектов или регулировании работы уже смонтированных теплонасосных систем. Для проектировщиков и инженеров также затруднительно использовать вычислительное про-

граммное обеспечение, требующее высокой квалификации в области сложных процессов тепломассопереноса и гидродинамики жидкости. Поэтому большинство исследователей в результате численного или натурного моделирования стремятся получить обобщенные аналитические зависимости, пригодные к использованию в рекомендациях по проектированию. Такие результаты получены, но их применение ограничено теми географическими и климатическими условиями, в которых проводились численные, натурные или лабораторные эксперименты. В частности, для районов Западной Сибири не разработаны достаточно полные методики проектирования систем сбора грунтового тепла, учитывающие сезонное изменение климатических параметров, и нет соответствующего инженерного программного обеспечения. Отсутствуют отечественные исследования по совместной работе тепловых насосов и систем отопления конкретных зданий в районах Сибири и Дальнего Востока, хотя известно, что в холодных регионах Китая при определенных сочетаниях климатических и геологических факторов использование геотермальных тепловых насосов для теплоснабжения неэффективно.

Функционирование теплонасосных установок только в режиме съема тепла из грунта может привести к нежелательному снижению его температуры на участке с трубами грунтовых теплообменников. Избыточное солнечное тепло, сбрасываемое в грунт в летний период, позволяет избежать развития тепловой неустойчивости в грунте. Исходя из проведенного анализа зарубежного опыта совместного использования солнечной энергии и низкопотенциального грунтового тепла, можно сделать вывод о необходимости выяснения возможности комбинированного использования грунтовых тепловых насосов и солнечных коллекторов в системах теплоснабжения жилых и административных зданий в условиях Западной Сибири.

Остается нерешенным вопрос о точной и эффективной оценке взаимного влияния переноса тепла и влаги в грунте на производительность геотермальных тепловых насосов. Закономерности сложных термомеханических процессов, которые протекают в грунтовых слоях около труб грунтовых теплообменников при многократном нагревании и охлаждении, не выяснены и в настоящее время. Несмотря на то, что разработаны полнофункциональные модели, учитывающие основные факторы, определяющие ход процессов замерзания и оттаивания грунта, их применение к моделированию тепловлажностных режимов (с учетом скрытой теплоты возможных фазовых переходов) в грунтовых системах сбора тепла возможно только после модификации и проверки в конкретных геологических и климатических условиях.

Все рассмотренные подходы к моделированию работы грунтовых теплонасосных систем не учитывают влияния миграции грунтовых вод на интенсивность теплообмена между грунтом и трубами грунтовых теплообменников, которое может быть весьма значительным, и, как следствие, не могут применяться в случаях, когда необходимо осуществлять долгосрочное прогнозирование эффективности систем сбора грунтового тепла с учетом исходных данных по гидрогеологии грунтов района применения. Таким образом, необходимо проведение дальнейших исследований по моделированию тепло-

массообменных процессов в системах сбора низкопотенциального тепла грунта при их многолетней эксплуатации.

Библиографический список

1. *Васильев Г.П.* Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России // АВОК. 2007. № 5. С. 58–68.
2. *Васильев Г.П.* Применение ГТСТ в России // Энергия: экономика, техника, экология. 2009. № 7. С. 22–29. ISSN 0233-3619.
3. *Мойдинов Д.Р., Степанова Е.Г., Черноморова Д.А.* Расчет и моделирование работы абсорбционных тепловых насосов для системы теплоснабжения // Технические и технологические системы : материалы 12-й Международной научной конференции. Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2021. С. 170–173.
4. *Еделев А.В., Зоркальцев В.И., Маринченко А.Ю.* Моделирование процесса теплоснабжения тепловыми насосами зданий на побережье озера Байкал // Системный анализ и математическое моделирование. 2020. Т. 2. № 2. С. 5–17.
5. *Псаров С.А., Шумилин Е.В.* Моделирование работы геотермального теплового насоса с восстановлением теплоты грунта в теплый период // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. № 1–1 (103). С. 111–117.
6. *Стефанович С.Ю., Бондаренко А.В.* Теплотехническое моделирование вертикальных грунтовых теплообменников тепловых насосов методом конечных разностей // Современные научные исследования и инновации. 2018. № 6 (86). С. 15.
7. *Atam E., Helsen L.* Ground-coupled heat pumps: Part 1 – Literature review and research challenges in modeling and optimal control // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2015. P. 1–15. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.007
8. *Min Li.* Review of analytical models for heat transfer by vertical ground heat exchangers (GHEs): A perspective of time and space scales // Applied Energy. 2015. № 151. P. 178–191. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.04.070
9. *Eskilson P.* Thermal analysis of heat extraction boreholes [Ph.D. thesis]. University of Lund, Sweden, 1987. 264 p.
10. *Филатов С.О., Володин В.И.* Численное моделирование утилизатора теплоты грунта с теплоприемником // Труды Белорусского государственного технологического университета (БГТУ). 2012. № 3. С. 179–183.
11. *Филатов С.О.* Тепловой расчет вертикальных грунтовых теплообменников // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ – Энергетика : международный научно-технический журнал. 2013. № 4. С. 81–91.
12. *Eskilson P., Claesson J.* Simulation model of thermally interacting heat extraction boreholes // Numerical Heat Transfer. 1988. V. 13. P. 149–165.
13. *Васильев Г.П.* Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли: монография. Москва : Издательский дом «Граница», 2006. 176 с.
14. *Костиков А.О., Харлампиди Д.Х.* Влияние теплового состояния грунта на эффективность теплонасосной установки с грунтовым теплообменником // Енергетика: економіка, технологгіі, экологія (ISSN 1613-5420). 2009. № 1. С. 32–40.
15. *Мацевитый Ю.М., Тарасова В.А., Харлампиди Д.Х.* Восстановление теплового потенциала грунта за счет выбора рациональных режимов работы теплонасосной системы // Тезисы докладов и сообщений XIV Минского международного форума по тепло- и массообмену. 2012. Т. 1. С. 736–739.
16. *Басок Б.И., Давыденко Б.В., Тесля А.И., Лунина А.А.* Численное моделирование теплопереноса в грунтовом массиве при работе горизонтального грунтового коллектора // Тепловые насосы : электронный журнал. URL: http://esco.co.ua/journal/2012_6/art373.pdf (дата обращения: 15.02.2022).
17. *Башуров В.В., Ваганова Н.А., Филимонов М.Ю.* Численное моделирование процессов теплообмена в грунте с учетом фильтрации жидкости // Вычислительные технологии. 2011. Т. 16. № 4. С. 3–18.

18. *Zhihua Zhou, Zhiming Zhang, Guanyi Chen, Jian Zuo, Pan Xu, Chong Meng, Zhun Yu*. Feasibility of ground coupled heat pumps in office buildings: A China study // Applied Energy. 2015. № 162. P. 266–277. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.10.055.
19. *Zhijian Liu, Wei Xu, Cheng Qian, Xi Chen, Guangya Jin*. Investigation on the feasibility and performance of ground source heat pump (GSHP) in three cities in cold climate zone, China // Renewable Energy. 2015. № 84. P. 89–96, DOI: 10.1016/j.renene.2015.06.019
20. *Emmi Giuseppe, Angelo Zarrella, Michele De Carli, Antonio Galgaro*. An analysis of solar assisted ground source heat pumps in cold climates // Energy Conversion and Management. 2015. № 106. P. 660–675. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.10.016
21. *Huifang Liu, Yiqiang Jiang, Yang Yao*. The field test and optimization of a solar assisted heat pump system for space heating in extremely cold area // Sustainable Cities and Society. 2015. № 13. P. 97–104. DOI: 10.1016/j.scs.2014.05.002
22. *Caglar Ahmet, Cemil Yamalı*. Performance analysis of a solar-assisted heat pump with an evacuated tubular collector for domestic heating // Energy and Buildings. 2012. № 54. P. 22–28. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.08.003
23. *Xiao Wang, Maoyu Zheng, Wenyong Zhang, Shu Zhang, Tao Yang*. Experimental study of a solar-assisted ground-coupled heat pump system with solar seasonal thermal storage in severe cold areas // Energy and Buildings. 2010. № 42. P. 2104–2110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.06.022
24. *Weibo Yang, Lei Kong, Yongping Chen*. Numerical evaluation on the effects of soil freezing on underground temperature variations of soil around ground heat exchangers // Applied Thermal Engineering. 2015. № 75. P. 259–269. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.09.049
25. *Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов. Москва : Высш. школа, 1973. 448 с.
26. *Кроник Я.А., Демин И.И.* Расчеты температурных полей и напряженно-деформированного состояния грунтовых сооружений методом конечных элементов. Москва : МИСИ, 1982. 102 с.
27. *Киселев М.Ф.* Теория сжимаемости оттаивающих грунтов под давлением. Ленинград : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1978. 176 с.
28. *Кудрявцев С.А., Кажарский А.В.* Численное моделирование процесса миграции влаги в зависимости от скорости промерзания грунтов // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 4. С. 33–38.
29. *Кудрявцев С.А.* Расчеты процесса промерзания и оттаивания по программе «Termoground» // Реконструкция городов и геотехническое строительство. URL: http://www.georec.spb.ru/journals/08/files/pdf/0508007.pdf (дата обращения: 22.02.2022).
30. *Веселов В.В., Беляков В.А.* Теплоизолированный малозаглубленный фундамент: работа в сезонно-промерзающих грунтах и практика теплового расчета // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 8. С. 13–18.
31. *Коваленко В.И.* Применение программы Frost 3d для трёхмерного моделирования распределения температур в вечномёрзлом грунте при его термостабилизации // Журнал нефтегазового строительства. 2013. № 3. С. 14–18.
32. *Vitel M., Rouabhi A., Tijani M., Guerin F.* Modeling heat transfer between a freeze pipe and the surrounding ground during artificial ground freezing activities // Computers and Geotechnics. 2015. № 63. P. 99–111. DOI: 10.1016/j.compgeo.2014.08.004

REFERENCES

1. *Vasil'ev G.P.* Geotermal'nye teplonasosnye sistemy teplosnabzheniya i effektivnost' ikh primeneniya v klimaticheskikh usloviyakh Rossii [Geothermal heat pump systems of heat supply and efficiency of their application in the climatic conditions of Russia]. *AVOK*. 2017. No. 5. Pp. 58–68. (rus)
2. *Vasil'ev G.P.* Primenenie GTST v Rossii [Application of MCT in Russia]. *Energiya*. 2009. No. 7. Pp. 22–29. (rus)
3. *Moidinov D.R., Stepanova E.G., Chernomorova D.A.* Raschet i modelirovanie raboty absorbtsionnykh teplovykh nasosov dlya sistemy teplosnabzheniya [Calculation and simulation of absorption heat pump operation for heat supply system]. In: Tekhnicheskie i tekhnologicheskie sistemy. Materialy dvenadtsatoi Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (*Proc.12th*

Int. Sci. Conf. 'Engineering and Process Systems'). Krasnodar: Izdatel'skii Dom – Yug, 2021. Pp. 170–173. (rus)

4. *Edelev A.V., Zorkal'tsev V.I., Marinchenko A.Yu.* Modelirovanie protsessa teplosnabzheniya teplovymi nasosami zdanii na poberezh'e ozera Baikal [Heat supply simulation in buildings of nearby Lake Baikal]. *Sistemnyi analiz i matematicheskoe modelirovanie*. 2020. V. 2. No. 2. Pp. 5–17. (rus)
5. *Psarov S.A., Shumilin E.V.* Modelirovanie raboty geotermal'nogo teplovogo nasosa s vosstanovleniem teploty grunta v teplyi period [Simulation of geothermal heat pump operation with soil heat recovery in a warm period]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal*. 2021. No. 1–1 (103). Pp. 111–117. (rus)
6. *Stefanovich S.Yu., Bondarenko A.V.* Teplotekhnicheskoe modelirovanie vertikal'nykh gruntovykh teploobmennikov teplovykh nasosov metodom konechnykh raznostei [Thermotechnical modeling of vertical soil heat pump exchangers by the finite difference method]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii*. 2018. No. 6 (86). Pp. 15. (rus)
7. *Atam E., Helsen L.* Ground-coupled heat pumps: Part 1 – Literature review and research challenges in modeling and optimal control. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Pp. 1–15. DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.007
8. *Min Li.* Review of analytical models for heat transfer by vertical ground heat exchangers (GHEs): A perspective of time and space scales. *Applied Energy*. 2015. No. 151. Pp. 178–191. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.04.070
9. *Eskilson P.* Thermal analysis of heat extraction boreholes. PhD Thesis. University of Lund, Sweden, 1987. 264 p.
10. *Filatov S.O., Volodin V.I.* Chislennoe modelirovanie utilizatora teploty grunta s teplopriemnikom [Numerical modeling of soil heat utilizer with heat receiver]. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012. No. 3. Pp. 179–183. (rus)
11. *Filatov S.O.* Teplovoi raschet vertikal'nykh gruntovykh teploobmennikov [Thermal analysis of vertical ground heat exchangers]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob"edinenii SNG*. 2013. No. 4. Pp. 81–91. (rus)
12. *Eskilson P., Claesson J.* Simulation model of thermally interacting heat extraction boreholes. *Numerical Heat Transfer*. 1988. V. 13. Pp. 149–165.
13. *Vasil'ev G.P.* Teplokhladosnabzhenie zdanii i sooruzhenii s ispol'zovaniem nizkopotentsial'noi teplovoi energii poverkhnostnykh sloev Zemli [Heat and cold supply of buildings with low-potential thermal energy of the Earth surface layers]. Moscow: Granitsa, 2006. 176 p. (rus)
14. *Kostikov A.O., Kharlampidi D.Kh.* Vliyanie teplovogo sostoyaniya grunta na effektivnost' teplonasosnoi ustanovki s gruntovym teploobmennikom [The influence of soil thermal state on heat pump with soil heat exchanger]. *Energetika: ekonomika, tekhnologgii, ekologiya*. 2009. No. 1. Pp. 32–40. (rus)
15. *Matsevityi Yu.M., Tarasova V.A., Kharlampidi D.Kh.* Vosstanovlenie teplovogo po-tentsiala grunta za schet vybora ratsional'nykh rezhimov raboty teplonasosnoi sistemy [Ground thermal potential recovery by selecting operation modes of heat pump system]. In: Tezisy dokladov i soobshchenii 14 Minskogo mezhdunarodnogo foruma po teplo- i massoobmenu (*Proc. Minsk 14th Int. Forum on Heat and Mass Transfer*). 2012. V. 1. Pp. 736–739. (rus)
16. *Basok B.I., Davydenko B.V., Teslya A.I., Lunina A.A.* Chislennoe modelirovanie teploperenosa v gruntovom massive pri rabote gorizontal'nogo gruntovogo kollektora [Numerical modeling of heat transfer in soil during operation of a horizontal soil collector]. *Teplovye nasosy*. Available: http://esco.co.ua/journal/2012_6/art373.pdf (accessed February 15, 2022). (rus)
17. *Bashurov V.V., Vaganova N.A., Filimonov M.Yu.* Chislennoe modelirovanie protsessov teploobmena v grunte s uchetom fil'tratsii zhidkosti [Numerical modeling of heat transfer processes in soil with liquid filtration]. *Vychislitel'nye tekhnologii*. 2011. V. 16, No. 4. Pp. 3–18. (rus)
18. *Zhihua Zhou, Zhiming Zhang, Guanyi Chen, Jian Zuo, Pan Xu, Chong Meng, Zhun Yu*. Feasibility of ground coupled heat pumps in office buildings: A China study. *Applied Energy*. 2015. No. 162. Pp. 266–277. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.10.055
19. *Zhijian Liu, Wei Xu, Cheng Qian, Xi Chen, Guangya Jin*. Investigation on the feasibility and performance of ground source heat pump (GSHP) in three cities in cold climate zone, China. *Renewable Energy*. 2015. No. 84. Pp. 89–96. DOI: 10.1016/j.renene.2015.06.019

20. *Emmi Giuseppe, Angelo Zarrella, Michele De Carli, Antonio Galgaro*. An analysis of solar assisted ground source heat pumps in cold climates. *Energy Conversion and Management*. 2015. No. 106. Pp. 660–675. DOI: 10.1016/j.enconman.2015.10.016
21. Huifang Liu, Yiqiang Jiang, Yang Yao. The field test and optimization of a solar assisted heat pump system for space heating in extremely cold area. *Sustainable Cities and Society*. 2015. No. 13. Pp. 97–104. DOI: 10.1016/j.scs.2014.05.002
22. *Caglar Ahmet, Cemil Yamalı*. Performance analysis of a solar-assisted heat pump with an evacuated tubular collector for domestic heating. *Energy and Buildings*. 2012. No. 54. Pp. 22–28. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.08.003 (rus)
23. *Xiao Wang, Maoyu Zheng, Wenyong Zhang, Shu Zhang, Tao Yang*. Experimental study of a solar-assisted ground-coupled heat pump system with solar seasonal thermal storage in severe cold areas. *Energy and Buildings*. 2010. No. 42. Pp. 2104–2110, DOI: 10.1016/ j.enbuild.2010.06.022 (rus)
24. *Weibo Yang, Lei Kong, Yongping Chen*. Numerical evaluation on the effects of soil freezing on underground temperature variations of soil around ground heat exchangers. *Applied Thermal Engineering*. 2015. No. 75. Pp. 259–269, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.09.049
25. *Tsytovich N.A.* Mekhanika merzlykh gruntov [Frozen soil mechanics]. Moscow: Vysshaya shkola, 1973. 448 p. (rus)
26. *Kronik Ya.A., Demin I.I.* Raschety temperaturnykh polei i napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gruntovykh sooruzhenii metodom konechnykh elementov [Finite element modeling of temperature fields and stress-strain state of soil structures]. Moscow: MISI, 1982. 102 p. (rus)
27. *Kiselev M.F.* Teoriya szhimaemosti ottaivayushchikh gruntov pod davleniem [Theory of compressibility of thawing soils under pressure]. Leningrad: Stroiizdat, 1978. 176 p. (rus)
28. *Kudryavtsev S.A., Kazharskii A.V.* Chislennoe modelirovanie protsessa migratsii vlagi v zavisimosti ot skorosti promerzaniya gruntov [Numerical modeling of moisture migration depending on soil freezing rate]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2012. No. 4. Pp. 33–38. (rus)
29. *Kudryavtsev S.A.* Raschety protsessa promerzaniya i ottaivaniya po programme “Termoground”. [“Thermoground” program for freezing and thawing process calculations]. *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. Available: www.georec.spb.ru/journals/08/files/pdf/0508007.pdf (accessed February 22, 2022). (rus)
30. *Veselov V.V., Belyakov V.A.* Teploizolirovannyi malozaglublennyi fundament: rabota v sezonno-promerzayushchikh gruntakh i praktika teplovogo rascheta [Heat-insulated low-depth foundation: Works in seasonal freezing soils and thermal calculation]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2011. No. 8. Pp. 13–18. (rus)
31. *Kovalenko V.I.* Primenenie programmy Frost 3d dlya trekhmernogo modelirovaniya raspredeleniya temperatur v vechnomerzlom grunte pri ego termostabilizatsii [Frost 3D program for three-dimensional modeling of temperature distribution in permafrost soil during its thermal stabilization]. *Zhurnal neftegazovogo stroitel'stva*. 2013. No. 3. Pp. 14–18. (rus)
32. *Vitel M., Rouabhi A., Tijani M., Guerin F.* Modeling heat transfer between a freeze pipe and the surrounding ground during artificial ground freezing activities. *Computers and Geotechnics*. 2015. No. 63. Pp. 99–111, DOI: 10.1016/j.compgeo.2014.08.004

Сведения об авторах

Толстых Александр Витальевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sinvintie@rambler.ru

Дорошенко Юлия Николаевна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kafotop-vent1@rambler.ru

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

Халимов Илья Олегович, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, hot2004@yandex.ru

Authors Details

Aleksandr V. Tolstykh, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sinvintie@rambler.ru

Yuliya N. Doroshenko, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kafotopvent1@rambler.ru

Vitaly V. Penyavsky, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, pvv.tgasu@yandex.ru

Ilya O. Halimov, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, hot2004@yandex.ru

УДК 697.1 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-138-146

А.Н. БЕЛОУС[1], О.Е. БЕЛОУС[1], Л.З. КУЛУМБЕГОВА[2],
[1]Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
[2]Юго-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА АМПЛИТУДУ КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КАРКАСНО-ЩИТОВЫХ ЗДАНИЙ

Рассматривается вопрос теплоустойчивости наружных ограждающих конструкций жилых зданий, выполненных по каркасно-щитовой схеме. Одной из особенностей каркасно-щитовых зданий является значительная степень неоднородности наружных ограждающих конструкций. В щитах находится большое количество стоек, ригелей, перемычек, а также связевых элементов. При этом не стоит забывать о линейных теплопроводных включениях, вызванных формой здания: наружных и внутренних углах здания, балконах, оконных и дверных откосах и цокольных узлах.

Были рассмотрены два характерных узла сопряжения для зданий, выполненных по каркасно-щитовому методу, с двумя видами каркаса: из ЛСТК профилей и деревянных цельных брусьев.

В результате анализа значений, полученных в модуле Simulation программного комплекса SolidWorks, минимальных и максимальных значений температур на внутренней поверхности во времени была построена схема распределения амплитуд колебания для двух расчетных схем: наружного угла здания и узла сопряжения перекрытия и стены с ЛСТК и деревянным каркасом щитовой панели. Установлено, что в зоне теплопроводных включений конструкция превышает максимально допустимое нормативное значения в 5 и 3 раза для ЛСТК и деревянных профилей соответственно, что не удовлетворяет нормативным требованиям.

Также отмечается, что при анализе распределения температур во времени исследуемой модели узла сопряжения перекрытия и стены были выявлены колебания температуры и в конструкции перекрытия. Так для каркасных зданий из щитов, выполненных из ЛСТК профиля, зона колебания температуры вызвала возмущение на расстояние около 200 мм в глубь помещения. Для каркасных зданий, выполненных из щитов с деревянным каркасом, данная зона возмущения составили примерно 100 мм.

Ключевые слова: теплоустойчивость; нестационарный режим; температурное поле; перераспределение; амплитуда; методика.

Для цитирования: Белоус А.Н., Белоус О.Е., Кулумбегова Л.З. Влияние теплопроводных включений на амплитуду колебания температуры внутренней поверхности каркасно-щитовых зданий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 138–146.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-138-146

© Белоус А.Н., Белоус О.Е., Кулумбегова Л.З., 2022

A.N. BELOUS[1], O.E. BELOUS[1], L.Z. KULUMBEGOVA[2],
[1]Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
[2]The South Ossetian State University

THE INFLUENCE OF HEAT-CONDUCTING ELEMENTS ON TEMPERATURE AMPLITUDE OF INNER SURFACE OF FRAME-SUPPORTING BUILDING

The paper considers the heat stability of enclosing structures of frame-supporting buildings. These buildings are characterized by a significant heterogeneity of enclosing structures. The supporting structures have a large number of uprights, beams, lintels, connectors, and heat-conducting elements such as building corners, balconies, window and door jambs, and plinth nodes.

Two typical junctions are considered for a frame-supporting building with light gauge steel framing and wooden frames. The Simulation module of the SolidWorks software is used to analyze the obtained minimum and maximum temperature on the inner surface. The diagram of the temperature distribution is suggested for two design solutions, i.e., the outer corner and floor junction, and the light gauge steel framing and wooden frame-supporting structure. It is found that near the heat-conducting elements, the maximum allowable value is exceed by 5 and 3 times for the light gauge steel and wooden framing respectively, which does not meet the standard requirements. The temperature fluctuations are observed in the junction between the floor and wall. Thus, for the light gauge steel framing, the temperature fluctuations occur at a distance of ~200 mm in the room, while in wooden-frame building, this distance is ~100 mm.

Keywords: thermal stability; unsteady mode; temperature field; redistribution; amplitude; methodology.

For citation: Belous A.N., Belous O.E., Kulumbegova L.Z. Vliyaniya teploprovodnykh vklyuchenii na amplitudu kolebaniya temperatury vnutrennei poverkhnosti karkasno-shchitovykh zdanii [Influence of heat-conducting elements on temperature amplitude of inner surface of frame-supporting buildings]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 138–146.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-138-146

Актуальность

Жилой фонд РФ и других стран СНГ, по результатам исследований, находится в удовлетворительном состоянии [1, 2], но не стоит забывать, что 70 % жилого фонда построено в период индустриализации и средний возраст зданий колеблется в пределах 50–60 лет.

Один из путей решения задачи по улучшению качественных показателей жилого фонда – это строительство новых домов с повышенными показателями комфортности. При этом особое внимание необходимо уделять технологиям возведения зданий, которые попадают на рынок путем копирования или частичного внедрения иностранных методик в классические методы постройки зданий. Нередко при возведении зданий без знания тонкостей полного технологического цикла или без обучения в фирме, специализирующейся на соответствующей технологии, начинают массовое внедрение. Как пример неудачного внедрения можно привести повсеместное использование стальных метизов при соединении лёгких стальных тонкостенных конструктивных

профилей (ЛСТК) с оцинкованным покрытием, что вызывает гальваническую коррозию и, как следствие, ослабление узлов сопряжения.

Одной из перспективных методик малоэтажного домостроения на современном строительном рынке является каркасно-щитовой метод. Данный метод получил второй виток развития с применением в качестве материала каркаса ЛСТК профилей и минеральной или базальтовой ваты в качестве заполнителя щита [3, 4].

Несмотря на многочисленные детальные исследования зданий, построенных по каркасно-щитовой технологии [5–7], как по несущей, так и теплоизоляционной способности полученные результаты исследования характерны для зимнего периода года. Однако, как отмечалось неоднократно, затраты на кондиционирование для средней и южной полосы стран СНГ равны или же превышают затраты на отопление. При этом необходимо отметить, что множество конструкций с повышенным приведенным сопротивлением теплопередачи при нестационарном режиме не удовлетворяют требованиям теплоустойчивости, предъявляемым к конструкциям [8].

Цель исследования – определить степень влияния теплопроводных линейных включений в каркасно-щитовых зданиях в летний период года на амплитуду колебания температуры на внутренней поверхности ограждающих конструкций.

Методы

Теплоустойчивость ограждающих конструкций в теплый период года нормируется показателем амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности. Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», амплитуда колебания температуры не должна превышать нормативного значения $A_{\tau}^{\text{тр}}$, °С, определяемого по формуле

$$A_{\tau}^{\text{тр}} = 2{,}5 - 0{,}1\left(t_{\text{Н}} - 21\right), \qquad (1)$$

где $t_{\text{Н}}$ – средняя месячная температура наружного воздуха за июль, °С.

Методика нахождения амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности, согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», не учитывает теплопроводные включения, поэтому предлагается расчет наружных ограждающих каркасных щитов рассчитывать согласно методике, предложенной в работе [9].

Одной из особенностей каркасно-щитовых зданий является большая степень неоднородности наружных ограждающих конструкций. В щитах находится большое количество стоек (шаг 400–600 мм по горизонтали), ригелей, перемычек, а также связевых элементов (шаг в среднем от 0,3 до 0,5 высоты этажа). Также имеются линейные теплопроводные включения, вызванные формой здания: наружные и внутренние углы здания, балконы, оконные и дверные откосы и цокольные узлы. Для такого большого количества теплопроводных включений, которые в некоторых случаях расположены в перпендикулярных плоскостях, необходимо использовать программы с моделированием нестационарной теплопередачи в трехмерном пространстве. Одной из

таких программ может послужить модуль Simulation, входящий в расчетный комплекс SolidWorks.

В качестве данных для расчета задаются: геометрические характеристики конструкций, теплотехнические показатели материалов и начальная температура модели. Особое внимание необходимо уделить граничным условиям: закономерностям изменения температуры во времени и процессу теплообмена поверхности с окружающей средой.

Результаты

Для решения поставленной задачи предлагается рассмотреть два характерных узла сопряжения для зданий, выполненных по каркасно-щитовому методу, с двумя видами каркаса: первый выполнен из ЛСТК профилей, второй – из деревянных цельных брусьев.

Первым узлом для расчета был принят внешний узел здания (рис. 1) с высотой этажа 3,0 м и длиной 1,5 м в горизонтальной плоскости.

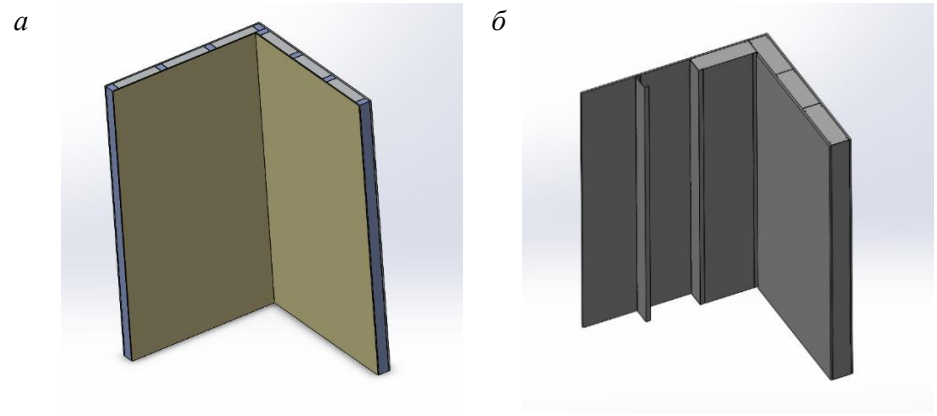


Рис. 1. Визуализация расчетных схем наружного угла здания:
а – с деревянным каркасом щитовой панели; *б* – с каркасом щитовой панели, выполненным из ЛСТК профилей (включено частичное отображение схемы)

В модуле Simulation расчетного комплекса SolidWorks было получено распределение температур на внутренней и наружной поверхности рассматриваемых узлов (рис. 2) для пяти циклических суточных циклов с интервалом сохранения данных 150 с.

В результате анализа полученных минимальных и максимальных значений температур на внутренней поверхности во времени была построена схема распределения амплитуд колебания (рис. 3 и 4) для расчетных схем наружного угла здания с ЛСТК и деревянным каркасом щитовой панели.

Наиболее сложным с точки зрения моделирования геометрии и проходящих в модели процессов распределения теплового потока в пространстве и во времени является узел сопряжения перекрытия и наружной стены. Данный узел характерен тем, что панель перекрытия частично перерезает плоскость стены при варианте каркаса щита с ЛСТК профилем, а в случае с деревянным каркасом – с полной разрезкой стены.

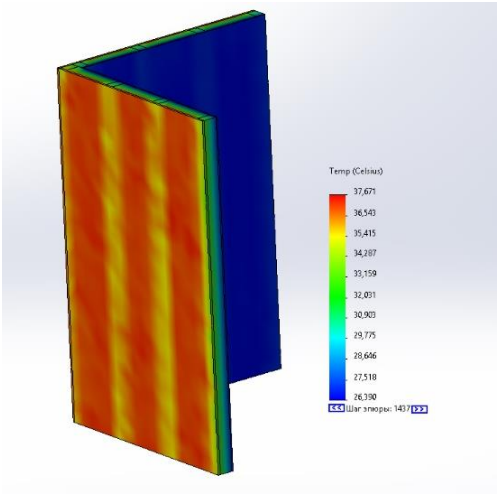


Рис. 2. Визуализация результатов моделирования нестационарного теплового режима для расчетных схем наружного угла здания с деревянным каркасом щитовой панели

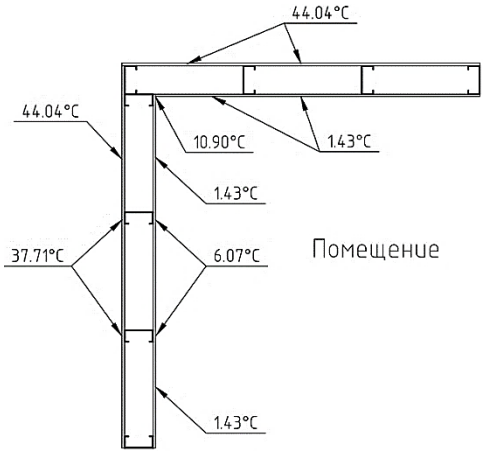


Рис. 3. Значения амплитуд колебания температуры для расчетной схемы наружного угла здания с ЛСТК каркасом щитовой панели

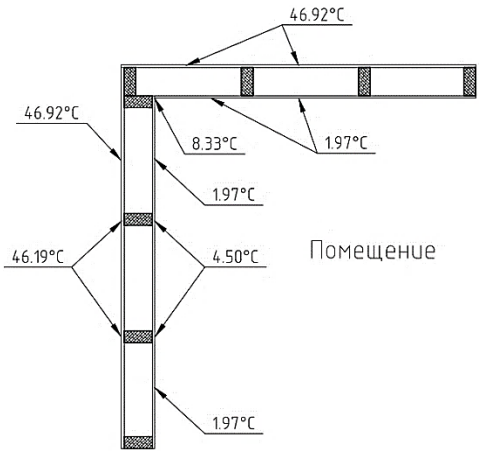


Рис. 4. Значения амплитуд колебания температуры для расчетных схем наружного угла здания с деревянным каркасом щитовой панели

При этом нужно не забывать, что конструкция стены содержит вертикальные стойки щитов и обвязочные элементы периметра каркаса щита. В результате моделирования нестационарного процесса были получены значения температур на поверхностях с распределением во времени. После проведения анализа полученных значений были рассчитаны амплитуды колебания температур на поверхностях, которые представлены на рис. 5 и 6.

Согласно полученным данным значений амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности каркасных щитов здания в угловой зоне и уровне перекрытия (таблица), можно сделать вывод о большой разнице величин амплитуды в местах теплопроводных включений и основного поля.

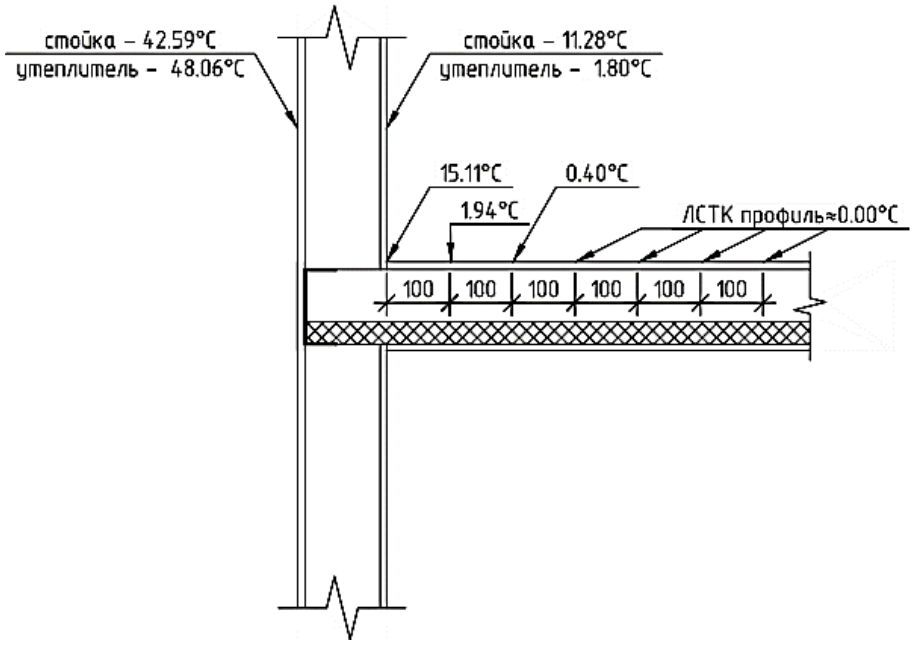


Рис. 5. Значения амплитуды колебания температуры для расчетной схемы сопряжения перекрытия и стены здания с ЛСТК каркасом щитовой панели

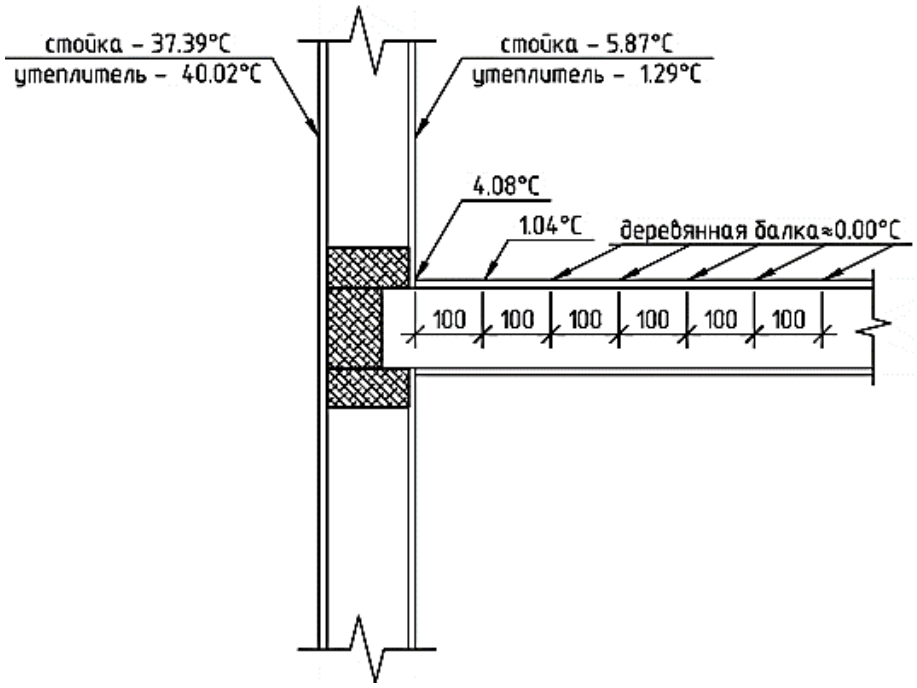


Рис. 6. Значения амплитуды колебания температуры для расчетной схемы сопряжения перекрытия и стены здания с деревянным каркасом щитовой панели

Значения амплитуды колебания температуры узлов сопряжения конструкций

Местоположение	Амплитуда колебания температуры, °С	
	ЛСТК профиль	Деревянный профиль
Вертикальный угол		
Угловая зона	10,90	8,33
Зона профиля	6,07	4,50
Зона утеплителя	1,43	1,97
Угол сопряжения перекрытия и стены		
Угловая зона	15,11	4,08
Зона профиля	11,28	5,87
Зона утеплителя	1,80	1,29

Возникает резонный вопрос о соответствии данной конструкции нормативным требованиям СП 50.13330.2012 в части теплоустойчивости и о том, какое значение амплитуды колебания температуры на поверхности брать за нормируемый показатель.

Заключение

Согласно общепринятой методике СП 50.13330.2012, расчетное значение амплитуды колебания на внутренней поверхности не зависит от материала каркаса щитов, при этом амплитуда рассчитывается по зоне утеплителя, и её значение для данной конструкции составит 1,83 °С. Максимально допустимое нормативное значение амплитуды колебания с учетом климатических показателей соответствует 2,38 °С, таким образом, данная конструкция в зоне утеплителя удовлетворяет требованиям норм. Но, согласно рассчитанным значениям амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности и в местах теплопроводных включений (таблица), установлено превышение в 8 раз для щитов из ЛСТК профиля и в 4 раза для деревянных профилей значения амплитуды по сравнению с зоной утеплителя. При этом в зоне теплопроводных включений данная конструкция превышает максимально допустимое нормативное значение в 5 и 3 раза для ЛСТК и деревянных профилей соответственно, что не удовлетворяет нормативным требованиям.

Одним из вариантов нормирования максимально допустимой амплитуды колебания температуры на поверхности может послужить приведенное значение амплитуды колебания температуры. Предлагается данное значение рассчитывать с учетом линейных и точечных теплопроводных включений по аналогии с приведенным сопротивлением теплопередаче ограждающих конструкций.

Для щитовых каркасов из ЛСТК профиля приведенное значение амплитуды колебания температуры на внутренней поверхности составило 5,97 °С, а для деревянных профилей – 3,31 °С. Как видно, обе эти конструкции не удовлетворяют требованиям теплоустойчивости с учетом теплопроводных включений и требуют доработки конструктивного решения для климатических условий средней и южной полосы стран СНГ.

Также необходимо отметить, что при анализе распределения температур во времени исследуемой модели узла сопряжения перекрытия и стены

были выявлены колебания температуры и в конструкции перекрытия. Так для каркасных зданий из щитов, выполненных из ЛСТК профиля, зона колебания температуры вызвала возмущение на расстояние около 200 мм в глубь помещения. Для каркасных зданий, выполненных из щитов с деревянным каркасом, зона возмущения составила примерно 100 мм. В дальнейших расчетах данную зону рекомендуется учитывать как дополнительную нагрузку на систему кондиционирования в летний период года.

Библиографический список

1. *Матехина О.В.* Современное состояние жилого фонда и вопросы его реконструкции // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. № 2(20). С. 21–24.
2. *Винюкова И.Н.* Ветхий и аварийный жилой фонд: проблемы и перспективы // Наука и инновации в строительстве : сборник докладов Международной научно-практической конференции (к 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова), Белгород, 17 апреля 2018 г. Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. С. 140–144.
3. *Чайка Д.А., Юхнина А.А.* Особенности применения технологии легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) в современном строительстве // Молодежь и научно-технический прогресс : сборник докладов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 томах. Губкин, 18 апреля 2019 г. Губкин : ООО«Ассистент плюс», 2019. С. 423–427.
4. *Тналиева З.К.* Исследование методов проектирования и строительства быстровозводимых зданий из ЛСТК // Потенциал интеллектуально одарённой молодежи – развитию науки и образования : материалы IX Международного научного форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников, Астрахань, 28–29 апреля 2020 г. / под общ. ред. Т.В. Золиной. Астрахань : Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. С. 528–534.
5. *Безбородов Е.Л.* Влияние перфорации на теплотехнические характеристики «термопрофилей» легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) // Инновации и инвестиции. 2019. № 2. С. 191–194.
6. *Решетников А.А., Корнет В.Ю., Леонова Д.А.* Анализ экономического преимущества перекрытия из ЛСТК перед деревянным // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3 (50). С. 123.
7. *Нефедова А.В., Немова Д.В.* Технология термокаркаса для ограждающих конструкций // AlfaBuild. 2018. № 4 (6). С. 126–134. DOI 10.34910/ALF.6.11
8. *Белоус А.Н., Кулумбегова Л.З., Белоус О.Е.* Определение теплоустойчивости малоинерционных ограждающих конструкций // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 4. С. 112–119. DOI 10.31675/1607-1859-2021-23-4-112-119
9. *Белоус А.Н., Белоус О.Е., Кулумбегова Л.З., Крахин С.В.* Теплоустойчивость наружных ограждающих конструкций с теплопроводными включениями в летний период года // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 6. С. 129–142. DOI 10.31675/1607-1859-2021-23-6-129-142

References

1. *Matekhina O.V.* Sovremennoe sostoyanie zhilogo fonda i voprosy ego rekonstruktsii [Current state of housing stock and its renovation]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta*. 2017. No. 2 (20). Pp. 21–24. (rus)
2. *Vinyukova I.N.* Vetkhii i avariinyi zhiloi fond: problemy i perspektivy [Unsafe and dilapidated housing: Problems and prospects]. In: Nauka i innovatsii v stroitel'stve sbornik dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (k 165-letiyu so dnya rozhdeniya V.G. Shukhova) (*Proc. Sci. Conf. 'Science and Innovations in Construction'*). Belgorod, 2018. Pp. 140–144. (rus)

3. *Chaika D.A., Yukhnina A.A.* Osobennosti primeneniya tekhnologii legkikh stal'nykh tonkostennykh konstruktsii v sovremennom stroitel'stve [Application of light gauge steel framing in modern construction]. In: Molodezh' i nauchno-tekhnicheskii progress: sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (*Proc. 12th Int. Sci. Conf. 'Youth and Technological Development'*), in 3 vol., Gubkin: Assistent plyus, 2019. Pp. 423–427. (rus)
4. *Tnalieva Z.K.* Issledovanie metodov proektirovaniya i stroitel'stva bystrovozvodimykh zdanii iz LSTK [Design methods for construction of quickly-mounted frame-supporting buildings]. In: Potentsial intellektual'no odarennoi molodezhi – razvitiyu nauki i obrazovaniya: materialy IX Mezhdunarodnogo nauchnogo foruma molodykh uchenykh, innovatorov, studentov i shkol'nikov (*Proc. 9th Int. Sci. Forum of Young Scientists, Entrepreneurs, Students, and Schoolchildren 'The Potential of Intellectually Gifted Young People for the Development of Science and Education'*). T.V. Zolina, ed., Astrakhan, 2020. Pp. 528–534. (rus)
5. *Bezborodov E.L.* Vliyanie perforatsii na teplotekhnicheskie kharakteristiki "termoprofilei" legkikh stal'nykh tonkostennykh konstruktsii [Perforation effect on thermal profile performance of light gauge steel framing]. *Innovatsii i investitsii*. 2019. No. 2. Pp. 191–194. (rus)
6. *Reshetnikov A.A., Kornet V.Yu., Leonova D.A.* Analiz ekonomicheskogo preimushchestva perekrytiya iz LSTK pered derevyannym [Analysis of economic advantages of light gauge steel framing over a timber frame]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2018. No. 3 (50). Pp. 123. (rus)
7. *Nefedova A.V., Nemova D.V.* Tekhnologiya termokarkasa dlya ograzhdayushchikh konstruktsii [Thermal framework for building envelopes]. *AlfaBuild*. 2018. No. 4 (6). Pp. 126–134. DOI: 10.34910/ALF.6.11 (rus)
8. *Belous A.N., Kulumbegova L.Z., Belous O.E.* Opredelenie teploustoichivosti maloinertsionnykh ograzhdayushchikh konstruktsii [Heat stability of low-inertia building envelopes]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021. V. 23. No. 4. Pp. 112–119. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-4-112-119 (rus)
9. *Belous A.N., Belous O.E., Kulumbegova L.Z., Krakhin S.V.* Teploustoichivost' naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruktsii s teploprovodnymi vklyucheniyami v letnii period goda [Thermal resistance of building envelopes with heat-conducting elements in summer period]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 23. No. 6. Pp. 129–142. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-6-129-142 (rus)

Сведения об авторах

Белоус Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, us28@ya.ru

Белоус Ольга Евгениевна, ассистент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, ol-0929@mail.ru

Кулумбегова Лонда Зауровна, ст. преподаватель, Юго-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова, 100001, Республика Южная Осетия, г. Цхинвал, ул. Путина (бывшая ул. Московская), 8, londalonda1965@mail.ru

Authors Details

Aleksei N. Belous, PhD, A/Professor, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makeevka, Donetsk People's Republic, us28@ya.ru

Ol'ga E. Belous, Assistant Lecturer, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makeevka, Donetsk People's Republic, ol-0929@mail.ru

Londa Z. Kulumbegova, Senior Lecturer, The South Ossetian State University, 8, Putin Str., 100001, Tskhinvali, Republic of South Ossetia

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 693.22:624.04 DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-147-160

И.И. ПОДШИВАЛОВ, А.С. ПЛЯСКИН, А.А. ТАРАСОВ,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

ОСОБЕННОСТИ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТРОПИЛЬНЫХ И ПОДСТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ, ПОЛУЧИВШИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ

Объектом исследования являются железобетонные стропильные и подстропильные фермы одноэтажного многопролетного промышленного здания, выполненного в виде полного сборного железобетонного каркаса.

Цель работы состоит в восстановлении эксплуатационной пригодности железобетонных стропильных и подстропильных ферм покрытия после выполнения инструментального обследования с учетом обнаруженного значительного коррозионного повреждения арматуры и наличия продольных трещин в защитном слое бетона шириной раскрытия в несколько миллиметров. После анализа конструктивной схемы здания было выполнено моделирование его напряженно-деформированного состояния в ПВК MicroFe с разработкой расчетной модели в пространственной системе с учетом выявленных повреждений железобетонных конструкций и разработанного технического решения по усилению стропильных ферм.

Восстановление эксплуатационной пригодности железобетонных стропильных и подстропильных ферм заключается в создании монолитности элементов ферм и в обеспечении совместной работы существующей арматуры с отремонтированным защитным слоем бетона, а также в усилении полимерным волокном нижнего пояса стропильных ферм.

Ключевые слова: здание; железобетонный каркас; фермы; обследование; коррозия; расчетная модель, усилия; перемещения; усиление стекловолокном.

Для цитирования: Подшивалов И.И., Пляскин А.С., Тарасов А.А. Особенности усиления железобетонных стропильных и подстропильных ферм, получивших эксплуатационные повреждения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 147–160. DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-147-160

I.I. PODSHIVALOV, A.S. PLYASKIN, A.A. TARASOV,
Tomsk State University of Architecture and Building

REINFORCEMENT OF CONCRETE PRINCIPAL AND SECONDARY TRUSSES AFTER SERVICE DAMAGES

The paper studies reinforced concrete principal and secondary trusses of a one-floor industrial building made as a precast reinforced concrete frame. The aim of the work is to restore the

© Подшивалов И.И., Пляскин А.С., Тарасов А.А., 2022

serviceability of reinforced principal and secondary trusses after instrumental examination with regard to the detected significant corrosion damage of reinforcement and longitudinal cracks in the protective concrete layer with opening width of several millimeters. After the analysis of the building structural scheme, its stress-strain state is simulated in the MicroFe software, and a calculation model is developed allowing for the identified damages of reinforced concrete structures and the proposed design solution for the truss reinforcement. The serviceability restoration of principal and secondary trusses implies the creation of solid truss elements, the joint operation of the reinforcement with the repaired protective concrete layer, and secondary truss reinforcement with polymer fibers.

Keywords: building; reinforced concrete frame; examination; corrosion; design model; forces; displacement; fibreglass reinforcement.

For citation: Podshivalov I.I., Plyaskin A.S., Tarasov A.A. Osobennosti usileniya zhelezobetonnykh stropil'nykh i podstropil'nykh ferm, poluchivshikh ekspluatatsionnye povrezhdeniya [Reinforcement of concrete principal and secondary trusses after service damages]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 147–160.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-147-160

Применение сборных железобетонных конструкций с оптимальным шагом и пролетом несущих конструкций каркасного здания позволяет максимально эффективно использовать их несущую способность [1]. Определение фактических параметров прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных конструкций при капитальном ремонте и реконструкции эксплуатируемых зданий является актуальной задачей [2]. Своевременность проведения необходимых работ по восстановлению выявленных конструктивных элементов с высокой степенью физического износа способна привести к значительному продлению срока эксплуатации здания [3]. При оценке остаточного ресурса железобетонных конструкций наиболее сложным является выявление всех произошедших в конструкции изменений. В элементах зданий и сооружений, находящихся в длительной эксплуатации, могут развиваться скрытые повреждения, снижающие их жесткость и, как следствие, прочность и устойчивость. Для оценки ресурса таких конструкций целесообразно экспериментальным путем определять результирующее поведение конструкции, затем решением обратной задачи найти ее реальные жесткостные характеристики [4]. В работе [5] предложено при выполнении периодических обследований одного объекта определять перемещения характерных точек конструкции, которые дают возможность с достаточной степенью точности и достоверности отслеживать состояние конструкции на протяжении всего жизненного цикла объекта.

В ходе эксплуатации здания происходит накопление повреждений, вызванных действием нагрузок техногенного и внешнего характера, что ведет к снижению несущей способности конструкций каркаса. Несущие конструкции покрытия могут перетерпеть значительные деформации за счет снижения и даже полной утраты предварительного напряжения вследствие коррозии арматуры. В то же время при реконструкции здания величина нагрузочного фактора, как правило, не уменьшается, а может даже и увеличиться. Для повышения жесткости каркаса в ходе его реконструкции можно внедрять дополнительные конструктивные элементы [6].

Одним из эффективных способов увеличения несущей способности и повышения жесткости конструкций покрытия железобетонного каркаса при реконструкции зданий является применение предварительного напряжения с натяжением арматуры на бетон как со сцеплением, так и без сцепления арматуры с бетоном [7].

Разрушение железобетонных конструкций, как правило, является следствием коррозионных повреждений бетона и арматуры [8]. Мероприятия по защите железобетонных конструкций подразделяют на первичные и вторичные. К методам первичной защиты в слабоагрессивных и некоторых среднеагрессивных средах относятся выбор соответствующих параметров материалов и конструктивных решений. В большинстве средне- и сильноагрессивных сред эффективны вторичные методы – поверхностная защита системами на минеральной основе.

Коррозионные процессы в железобетонных конструкциях приводят к снижению их несущей способности и жесткости и, как следствие, к сокращению жизненного цикла зданий [9]. Одним из главных факторов, снижающих долговечность железобетонных конструкций, является коррозия арматуры, которая приводит к уменьшению площади поперечного сечения арматуры, образованию продольных трещин, отслоению защитного слоя бетона, изменению механических характеристик арматуры [10]. За счет перехода наружных слоев арматуры в продукт коррозии, объем которого в 1,5 раза превышает объем замещаемого металла, рабочее сечение арматуры в бетоне уменьшается. До момента появления в бетоне зон растрескивания первоначальная коррозия, за счет распора, способствует лучшему сцеплению стержней арматуры с бетоном, но с ростом объема продукта коррозии после развития трещин происходит снижение, а затем и полное нарушение сцепления арматуры с бетоном [11].

Традиционный подход к ремонту корродированных железобетонных элементов состоит в усилении поврежденных конструкций стальными элементами, что требует значительных затрат и использования подъемного оборудования с остановкой производственного процесса. Применение полимерных материалов на основе высокопрочного волокна позволяет выполнить усиление без остановки процесса эксплуатации здания [12].

Широкое распространение композитных материалов привело к необходимости определения их прочностных и деформационных свойств при различных видах нагружения. В работе [13] представлены результаты экспериментальных исследований методом корреляции цифровых изображений и эволюции распределения во времени деформированного состояния углепластика в процессе осевого растяжения. Работа систем внешнего армирования на основе углеродных волокон при усилении железобетонных элементов в значительной степени зависит от адгезии к телу усиливаемой конструкции [14]. При усилении железобетонных конструкций со значительными коррозионными повреждениями необходимо предварительно, перед наклейкой композитных материалов, выполнить ремонт конструкции [15].

Расчет симметричных растянутых коррозионно-поврежденных железобетонных элементов, усиленных по контуру композитными материалами,

можно выполнить по СП 164.1325800.2014[11]. Принято допущение, что сдвиговая жесткость адгезива – состава для наклейки композитного материала – обеспечивает совместную работу бетона и композитного материала. При этом работа адгезива в запас прочности не учитывается.

Моделирование взаимодействия надземных конструкций в пространственной постановке в настоящее время является достаточно актуальным [16]. Верифицированный ПВК MicroFe позволяет достаточно адекватно выполнить конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния пространственной системы здания.

Рассматриваемое одноэтажное промышленное шестипролетное каркасное здание эксплуатируется с начала 1960-х гг., имеет размеры в плане 132×108 м и высоту 7,2 м до нижнего пояса подстропильных ферм. По конструктивной схеме здание выполнено из полного сборного железобетонного каркаса, который включает в себя:

– несущие колонны каркаса сечением 600×500 мм, расположенные с шагом 12 м;

– подстропильные фермы покрытия пролетом 12 м;

– стропильные сегментные фермы покрытия пролетом 18 м;

– ребристые плиты покрытия размером 1,5×6,0 м, высотой 300 мм.

При обследовании двух крайних пролетов здания было обнаружено коррозионное поражение арматуры в элементах стропильных и подстропильных ферм с уменьшением рабочего сечения на 10–20 % в проволочной арматуре канатов К-7 со стороны нижней грани нижнего пояса стропильной фермы при наличии продольных трещин в защитном слое бетона шириной раскрытия в несколько миллиметров (рис. 1). Такое состояние нижнего пояса ферм привело к нарушению совместной работы бетона и предварительно напряженной арматуры при сохранении монолитности ее зоны анкеровки в опорных узлах ферм.

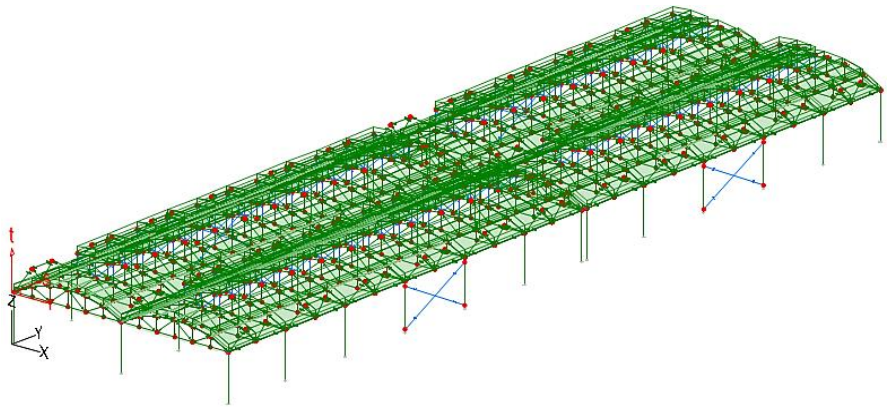
Рис. 1. Фрагмент нижнего пояса стропильной фермы с коррозией проволочной арматуры канатов К-7

[1] СП 164.1325800.2014. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования – фундамент под колонны – отдельно стоящие монолитные столбы стаканного типа на естественном основании.

Обжатие бетона предварительно напряженной арматурой в нижнем поясе пролетной части ферм было практически потеряно. Конструктивно эти фермы можно представить как железобетонную конструкцию с арматурной затяжкой в уровне нижнего пояса. Нарушение зоны анкеровки предварительно напряженной арматуры в опорных узлах ферм привело бы к ее продергиванию и разрушению ферм.

По материалам обследования двух крайних пролетов каркасного здания на основе конструктивной схемы здания была разработана расчетная модель, в которой элементы каркаса моделировались конечным элементом типа «стержень», плиты покрытия моделировались конечным элементом типа «плоский прямоугольный элемент оболочки» (рис. 2).

а



б

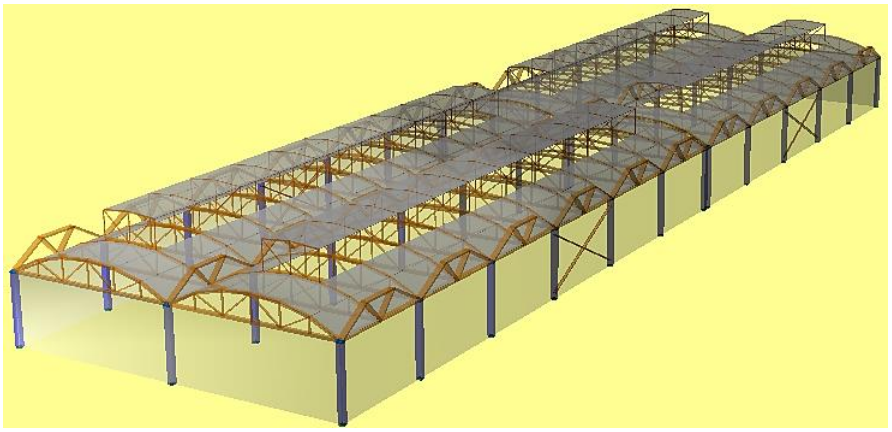


Рис. 2. Расчетная модель (*а*) и ее визуализация (*б*)

На основе разработанной расчетной модели были рассмотрены три расчетные схемы:

– расчетная схема № 1 – начало стадии эксплуатации здания с проектной величиной предварительного напряжения арматуры нижнего пояса неповрежденных стропильных и подстропильных ферм. В нижнем поясе стропильных и подстропильных ферм установлена проволочная арматура в виде канатов 7Ø15К-7 и 8Ø15К-7. Усилие предварительного обжатия с учетом всех потерь

составляло: $P_{СФ}$ = 770,3 кН и $P_{ПСФ}$ = 880,3 кН в нижнем поясе стропильных и подстропильных ферм. В программе предварительное напряжение задавалось в каждом канате с величиной обжатия $P_{1СФ}$ = 110,0 кН и $P_{1ПСФ}$ = 101,7 кН в нижнем поясе стропильных и подстропильных ферм. Класс бетона В30;

– расчетная схема № 2 – существующая стадия эксплуатации здания с принятым коррозионным износом арматуры 20 % и отсутствием обжатия бетона в нижнем поясе стропильных и подстропильных ферм путем исключения предварительного напряжения арматуры в нижних поясах. При этом учтено, что капитальный ремонт коррозионно-поврежденных элементов выполнен и совместная работа существующей арматуры с восстановленным защитным слоем бетона обеспечена. Класс бетона В30;

– расчетная схема № 3 – стадия эксплуатации здания после проведения капитального ремонта коррозионно-поврежденных элементов и выполненного усиления нижнего пояса ферм полимерным волокном. Волокно принято из углепластика (ламината) с расчетной прочностью R_f = 3100 МПа, модулем упругости $E_f = 1{,}7 \cdot 10^5$ МПа, предельной деформацией растяжения ε_f = 0,017 (1,7 %), толщиной слоя t_f = 1,4 мм. В программе углепластиковое волокно было заменено на эквивалентный круглый стальной стержень, установленный в центре поперечного сечения нижнего пояса стропильных и подстропильных ферм (сталежелезобетонный элемент) соответственно с площадью поперечного сечения $A_{s\ экв.\ СФ} = E_f A_f / E_{s,\ канат} = 1{,}7 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}0014 / 1{,}8 \cdot 10^5 = 15{,}9 \cdot 10^{-4}$ м^2 = 15,9 см^2, где 0,3 м – сторона поперечного сечения нижнего пояса стропильных ферм, и $A_{s\ экв.\ ПСФ}$ = 21,4 см^2. Отсюда диаметр эквивалентного круглого стального стержня составил Ø45 мм и Ø52 мм в нижнем поясе стропильных и подстропильных ферм. Класс бетона В30.

Эпюры продольных сил в рядовых стропильной и подстропильной фермах, полученных в трех расчетных схемах, приведены на рис. 3.

Значения вертикальных перемещений рядовых стропильной и подстропильной ферм в трех расчетных схемах даны на рис. 4.

Эпюры необходимого расчетного продольного армирования в элементах ферм приведены на рис. 5.

Сводные результаты по величине максимальных продольных усилий в поясах ферм по трем расчетным схемам приведены в табл. 1, 2. Сводные значения наибольших вертикальных перемещений поясов ферм в трех расчетных схемах даны в табл. 3, 4.

Стропильные фермы. В результате коррозионного повреждения арматуры в элементах ферм и частичной утраты совместной работы бетона с предварительно напряженной арматурой в пролетной части нижних поясов ферм растягивающие усилия увеличились в 2,8 раза. При этом сжимающие усилия в пролетной части верхних поясов практически не изменились (уменьшились на 2 %). Наибольшие вертикальные перемещения поясов ферм увеличились на 33 % и составили 20,4 мм, что меньше предельно допустимого значения f/L = 20,4/18000 = 1/882 < [1/150]. После восстановления эксплуатационной пригодности элементов ферм и усиления нижних поясов углепластиковым волокном продольные усилия уменьшатся в верхнем и нижнем поясах ферм на 8 и 37 % соответственно.

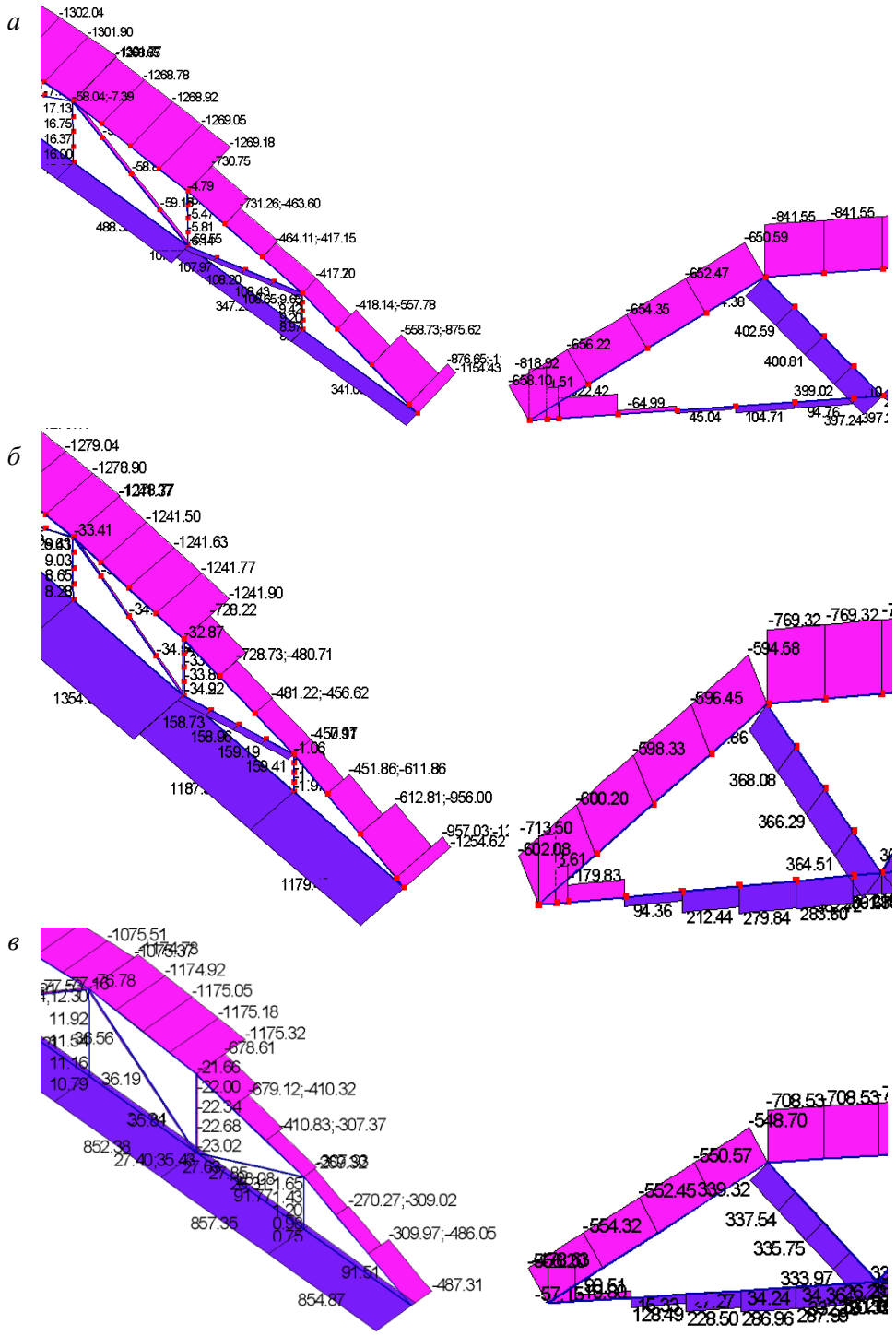


Рис. 3. Эпюры продольных сил в рядовых стропильной (*слева*) и подстропильной (*справа*) фермах:
а – расчетная схема № 1; *б* – расчетная схема № 2; *в* – расчетная схема № 3

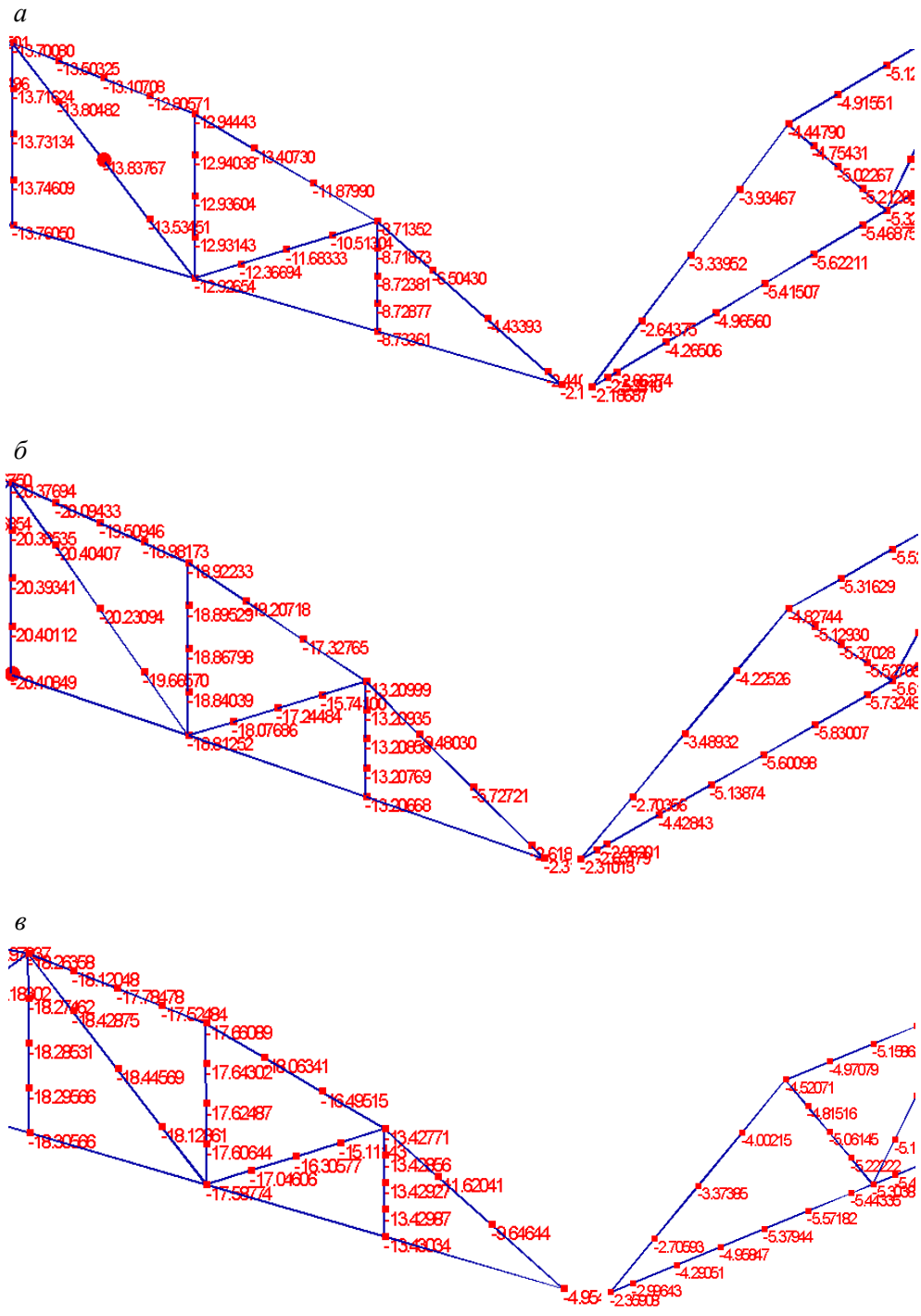


Рис. 4. Значения вертикальных перемещений рядовых стропильной и подстропильной ферм:
а – расчетная схема № 1; *б* – расчетная схема № 2; *в* – расчетная схема № 3

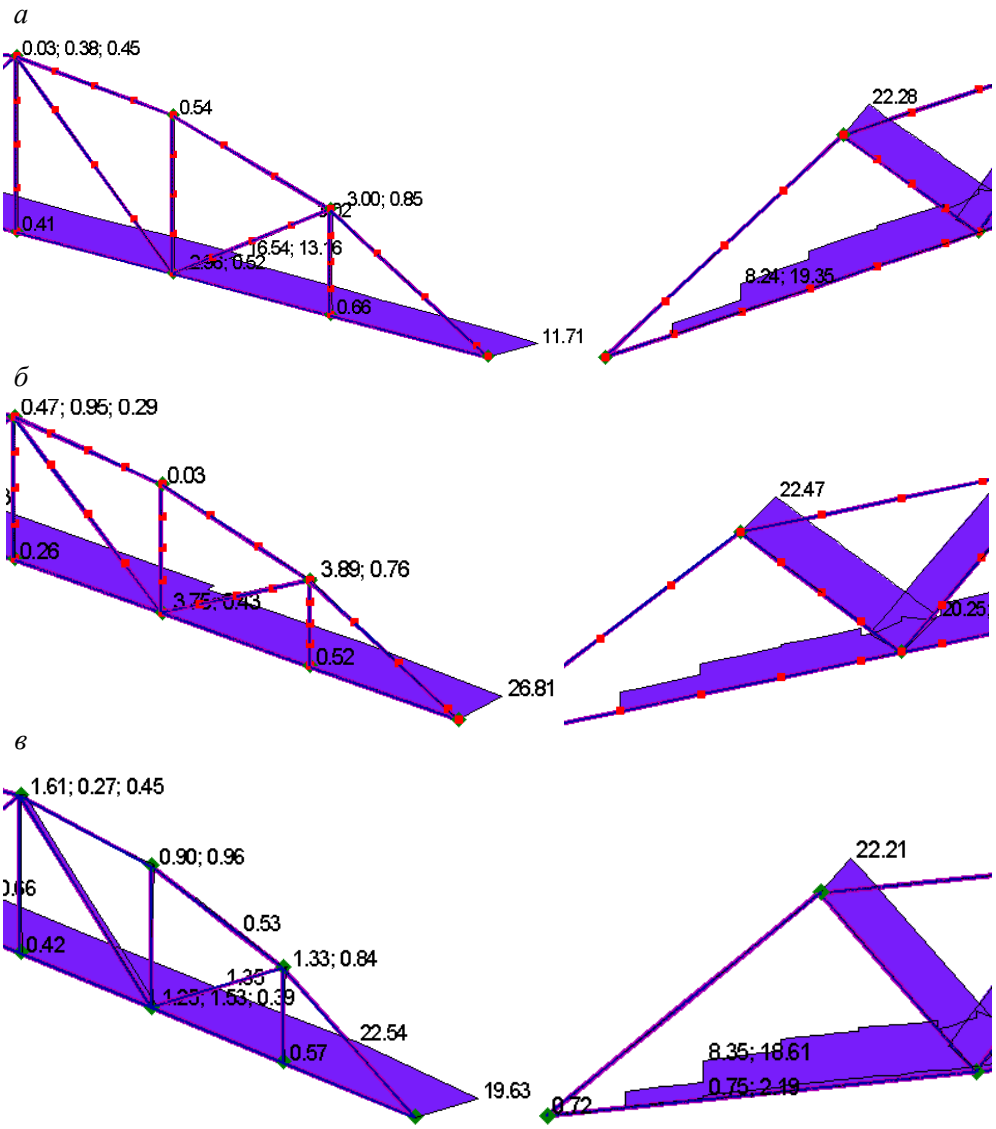


Рис. 5. Эпюры необходимого расчетного продольного армирования (см^2) в рядовых стропильной и подстропильной фермах:
а – расчетная схема № 1; *б* – расчетная схема № 2; *в* – расчетная схема № 3

Таблица 1

Наибольшие продольные усилия в поясах стропильных ферм (кН)

Тип элемента	Расчетная схема № 1	Расчетная схема № 2	Расчетная схема № 3
Верхний пояс	–1302	–1279	–1175
Нижний пояс	+488	+1354	+857

Примечание. Знак «–» – сжимающие усилия, знак «+» – растягивающие усилия.

Таблица 2

Наибольшие продольные усилия в поясах подстропильных ферм (кН)

Тип элемента	Расчетная схема № 1	Расчетная схема № 2	Расчетная схема № 3
Верхний пояс	–841	–769	–708
Нижний пояс	+104	+284	+288

Таблица 3

Наибольшие вертикальные перемещения стропильных ферм (мм)

Тип элемента	Расчетная схема № 1	Расчетная схема № 2	Расчетная схема № 3
Верхний пояс	13,7	20,4	18,3
Нижний пояс	13,8	20,4	18,3

Таблица 4

Наибольшие вертикальные перемещения подстропильных ферм (мм)

Тип элемента	Расчетная схема № 1	Расчетная схема № 2	Расчетная схема № 3
Верхний пояс	5,1	5,5	5,1
Нижний пояс	5,6	5,8	5,4

Подстропильные фермы. Вследствие полученных повреждений в пролетной части нижних поясов ферм растягивающие усилия увеличились в 2,7 раза. В то же время сжимающие усилия в пролетной части верхних поясов, наоборот, незначительно уменьшились на величину, равную 9 %. Максимальные вертикальные перемещения поясов ферм увеличились на 3 % и составили 5,8 мм, что значительно меньше предельно допустимого значения f/L = 5,8/12000 = 1/2069 < [1/150]. После выполнения капитального ремонта уровень продольных усилий в фермах существенно не изменится.

Значения фактической (с учетом установленного коррозионного износа) и необходимой расчетной продольной арматуры в поясах стропильных и подстропильных ферм приведены соответственно в табл. 5 и 6. Здесь благодаря возможности программы в нижних поясах ферм проволочная арматура в канатах К-7 заменена на эквивалентную по прочности арматуру класса А400 по зависимости $R_{SK\text{-}7}A_{SK\text{-}7} = R_{SA400}A_{SA400}$.

Таблица 5

Значения фактической и необходимой расчетной продольной арматуры в поясах стропильных ферм (см^2)

Тип элемента	Расчетная схема № 1		Расчетная схема № 2		Расчетная схема № 3	
	Фактическая	Расчетная	Фактическая	Расчетная	Фактическая	Расчетная
Верхний пояс	4,52	0,71	3,16	1,00	3,16	1,61
Нижний пояс	32,40	16,79	25,92	34,27	25,92	19,6

Таблица 6

Значения фактической и необходимой расчетной продольной арматуры в элементах подстропильных ферм (см^2)

Тип элемента	Расчетная схема № 1		Расчетная схема № 2		Расчетная схема № 3	
	Фактическая	Расчетная	Фактическая	Расчетная	Фактическая	Расчетная
Верхний пояс	6,79	–	4,75	–	4,75	–
Нижний пояс	34,56	19,35	27,65	20,25	27,65	20,08

Стропильные фермы. В результате коррозии арматуры и, как следствие, потери обжатия бетона нижнего пояса предварительно напряженной арматурой увеличились значения необходимой расчетной продольной арматуры в элементах ферм. При этом во всех элементах ферм, кроме нижнего пояса и опорных растянутых раскосов, величина требуемой расчетной арматуры не превысила фактических значений. В нижнем поясе и в опорных растянутых раскосах дефицит продольного армирования составил 51 и 21 % соответственно.

Подстропильные фермы. При неблагоприятном воздействии внешних факторов величина необходимой расчетной продольной арматуры в пролетной части нижнего пояса увеличилась на 4 %. Вследствие большого запаса в армировании элементов подстропильных ферм, даже с учетом произошедшего коррозионного поражения арматуры, величина фактической арматуры в нижнем поясе существенно превышает необходимое расчетное продольное армирование.

Таким образом, восстановление эксплуатационной пригодности стропильных и подстропильных ферм промышленного здания заключается в создании монолитности в элементах ферм и в обеспечении совместной работы существующей арматуры с отремонтированным защитным слоем бетона, а также в усилении углепластиковым волокном нижнего пояса стропильных ферм.

Заключение

После 60 лет эксплуатации здания в условиях неблагоприятного воздействия окружающей среды, без консервации объекта в течение нескольких последних лет в железобетонных стропильных и подстропильных фермах произошло значительное коррозионное повреждение арматуры с уменьшением ее рабочего сечения в отдельных элементах на 10–20 % с образованием продольных трещин в защитном слое бетона шириной в несколько миллиметров и нарушением совместной работы бетона и арматуры.

Восстановление эксплуатационной пригодности стропильных и подстропильных ферм заключалось в создании монолитности в элементах ферм и в обеспечении совместной работы существующей арматуры с отремонтированным защитным слоем бетона, а также в усилении углепластиковым волокном нижнего пояса стропильных ферм.

Библиографический список

1. *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.

2. *Ерышев В.А., Латышева Е.В., Малыш А.С.* Определение эксплуатационных параметров качества железобетонных конструкций в составе здания без их физического разрушения путем натурных испытаний // Известия КГАСУ. 2015. № 1 (13). С. 75–79.
3. *Золина Т.В.* Порядок проведения обследования здания с целью последующей оценки его остаточного ресурса // Вестник МГСУ. 2014. № 11. С. 98–108.
4. *Золина Т.В., Садчиков П.Н.* Моделирование работы конструкций промышленного здания с учетом изменения жесткости в процессе эксплуатации // Вестник МГСУ. 2012. № 10. С. 69–76.
5. *Ступишин Л.Ю.* Оценка сстояния несущих конструкций зданий и сооружений: ресурс несущей способности зданий с дефектами // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 10. С. 39–44.
6. *Золина Т.В., Туснин А.Р.* Увеличение срока эксплуатации промышленного объекта введением конструктивных мер // Вестник МГСУ. 2015. № 6. С. 41–49.
7. *Чистяков Е.А., Крылов С.Б., Шарипов Р.Ш.* Напряжения в арматуре преднапряженных железобетонных конструкций с натяжением на бетон в предельной по несущей способности стадии // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 3. С. 10–16.
8. *Степанова В.Ф.* Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии – основа обеспечения долговечности зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 1. С. 13–16.
9. *Тамразян А.Г., Попов Д.С.* Напряженно-деформированное состояние коррозионно-поврежденных элементов при динамическом нагружении // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 2. С. 19–26.
10. *Смоляго Г.А., Дронов В.И., Дронов А.В., Меркулов С.И.* Изучение влияния дефектов железобетонных конструкций на развитие коррозионных процессов арматуры // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 25–27.
11. *Пахомова Е.Г., Кретова В.М., Гордеев А.В.* К методике оценки работоспособности железобетонных конструкций при нарушении сцепления арматуры с бетоном при коррозионных повреждениях // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 8. С. 28–29.
12. *Данилов А.И., Калугин И.А.* Усиление растянутых элементов полимерами на основе высокопрочного волокна // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 12. С. 25–31.
13. *Устинов А.М., Клопотов А.А., Потекаев А.И., Абзаев Ю.А., Плевков В.С.* Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния поверхностных слоев углепластика при осевом растяжении методом корреляции цифровых изображений // Известия Алтайского государственного университета. 2018. № 1 (99). С. 58–63. DOI: 10.14258/izvasu(2018)1-10
14. *Симаков О.А., Зенин С.А., Кудинов О.В., Осипов П.В.* Расчет анкеров из углеродных волокон на вырыв и срез для систем внешнего армирования // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 4. С. 4–8.
15. *Римшин В.И., Меркулов С.И.* Элементы теории развития бетонных конструкций с неметаллической композитной арматурой // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 5. С. 38–42.
16. *Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Кузнецов Е.Н.* О современных проблемах расчета высотных зданий из монолитного железобетона // Бетон и железобетон – пути развития : научн. тр. II Всерос. (Междунар.) конф. В пяти книгах. Т. 1. Пленарные доклады. Москва, 2005. С. 149–166.

REFERENCES

1. *Koyankin A.A., Mitasov V.M.* Karkas sborno-monolitnogo zdaniya i osobennosti ego raboty na raznykh zhiznennykh tsiklakh [Prefabricated solid building frame and its properties in different life cycles]. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 9. Pp. 28–35. (rus)
2. *Eryshev V.A., Latysheva E.V., Malysh A.S.* Opredelenie ekspluatatsionnykh parametrov kachestva zhelezobetonnykh konstruktsii v sostave zdaniya bez ikh fizicheskogo razrusheniya

putem naturnykh ispytanii [*In situ* testing of performance parameters of reinforced concrete structures without physical fracture]. *Izvestiya KGASU*. 2015. No. 1 (13). Pp. 75–79. (rus)

3. *Zolina T.V.* Poryadok provedeniya obsledovaniya zdaniya s tsel'yu posleduyushchei otsenki ego ostatochnogo resursa [Examination procedure for building residual operation life]. *Vestnik MGSU*. 2014. No. 11. Pp. 98–108. (rus)
4. *Zolina T.V., Sadchikov P.N.* Modelirovanie raboty konstruktsii promyshlennogo zdaniya s uchetom izmeneniya zhestkosti v protsesse ekspluatatsii [Modelling the industrial building performance with respect to stiffness during operation]. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 10. Pp. 69–76. (rus)
5. *Stupishin L.Yu.* Otsenka sstoyaniya nesushchikh konstruktsii zdanii i sooruzhenii: resurs nesushchei sposobnosti zdanii s defektami [Load-bearing capacity of buildings with defects]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 10. Pp. 39–44. (rus)
6. *Zolina T.V., Tusnin A.R.* Uvelichenie sroka ekspluatatsii promyshlennogo ob"ekta vvedeniem konstruktivnykh mer [Extending of operation life of industrial building]. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 6. Pp. 41–49. (rus)
7. *Chistyakov E.A., Krylov S.B., Sharipov R.Sh.* Napryazheniya v armature prednapryazhennykh zhelezobetonnykh konstruktsii s natyazheniem na beton v predel'noi po nesushchei sposobnosti stadii [Stresses in prestressed reinforced concrete structures with concrete tension]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2010. No. 3. Pp. 10–16. (rus)
8. *Stepanova V.F.* Zashchita betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsii ot korrozii – osnova obespecheniya dolgovechnosti zdanii i sooruzhenii [Corrosion protection of concrete and reinforced concrete structures as a basis for building durability]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. No. 1. Pp. 13–16. (rus)
9. *Tamrazyan A.G., Popov D.S.* Napryazhennogo deformirovannoe sostoyanie korrozionno-povrezhdennykh elementov pri dinamicheskom nagruzhenii [Stress-strain state of corroded and damaged elements under dynamic loading]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2019. No. 2. Pp. 19–26. (rus)
10. *Smolyago G.A., Dronov V.I., Dronov A.V., Merkulov S.I.* Izuchenie vliyaniya defektov zhelezobetonnykh konstruktsii na razvitie korrozionnykh protsessov armatury [Defects in reinforced concrete structures and reinforcement corrosion processes]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. No. 12. Pp. 25–27. (rus)
11. *Pakhomova E.G., Kretova V.M., Gordeev A.V.* K metodike otsenki rabotosposobnosti zhelezobetonnykh konstruktsii pri narushenii stsepleniya armatury s betonom pri korrozionnykh povrezhdeniyakh [Towards assessing methodology of serviceability of reinforced concrete structures after failure in reinforcement bond with concrete at corrosion damage]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2011. No. 8. Pp. 28–29. (rus)
12. *Danilov A.I., Kalugin I.A.* Usilenie rastyanutykh elementov polimerami na osnove vysokoprochnogo volokna [Tensile member reinforcement with high-strength fiber polymers]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2018. No. 12. Pp. 25–31. (rus)
13. *Ustinov A.M., Klopotov A.A., Potekaev A.I., Abzaev Yu.A., Plevkov V.S.* Eksperimental'noe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya poverkhnostnykh sloev ugleplastika pri osevom rastyazhenii metodom korrelyatsii tsifrovykh izobrazhenii [Digital image correlation of stress-strain state of CFRP surface layers under axial tension]. *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2018. No. 1 (99). Pp. 58–63. DOI 10.14258/izvasu(2018)1-10 (rus)
14. *Simakov O.A., Zenin S.A., Kudinov O.V., Osipov P.V.* Raschet ankerov iz uglerodnykh volokon na vyryv i srez dlya sistem vneshnego armirovaniya [Strength analysis of carbon fiber anchor for external reinforcement]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2020. No. 4. Pp. 4–8. (rus)
15. *Rimshin V.I., Merkulov S.I.* Elementy teorii razvitiya betonnykh konstruktsii s nemetallicheskoi kompozitnoi armaturoi [Elements of the theory of development of concrete structures with non-metallic composite reinforcement]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 5. Pp. 38–42. (rus)
16. *Karpenko N.I., Karpenko S.N., Kuznetsov E.N.* O sovremennykh problemakh rascheta vysotnykh zdanii iz monolitnogo zhelezobetona [Current problems in strength analysis of high-rise solid reinforced concrete buildings]. In: II Vseros. (Mezhdunar.) konf. Beton i zhelezobeton – puti razvitiya. Nauchn. Tr. Konf. V pyati knigakh (*Proc. 4th Int. Sci. Conf. 'Concrete and Reinforced Concrete in the Third Millenium'*), in 5 vol., vol. 1. 2005. Pp. 149–166. (rus)

Сведения об авторах

Подшивалов Иван Иванович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ivanpodchivalov@list.ru

Пляскин Андрей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, plyaskinandrei@mail.ru

Тарасов Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tar.a.a@mail.ru

Authors Details

Ivan I. Podshivalov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ivanpodchivalov@list.ru

Andrei S. Plyaskin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, plyaskinandrei@mail.ru

Aleksandr A. Tarasov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, tar.a.a@mail.ru

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

УДК 625.042:004.4(575.2) DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-161-171

В.Н. ЕФИМЕНКО[1], С.В. ЕФИМЕНКО[1],
Э.М. КАРИМОВ[2], К.Ч. КОЖОГУЛОВ[3],
[1]Томский государственный архитектурно-строительный университет,
[2]Ошский технологический университет,
[3]Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

ОСОБЕННОСТИ ДОРОЖНО-КЛИМАТИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ЗАПАДНОГО КЫРГЫЗСТАНА

Рассмотрены вопросы обеспечения качества проектирования объектов транспортной инфраструктуры и увеличения их межремонтного периода с учетом региональных особенностей географического комплекса территории Республики Кыргызстан при уточнении границ дорожно-климатического районирования.

При нормировании границ дорожного зонирования территории Кыргызстана в качестве доминирующих признаков были приняты абсолютные высотные отметки рельефа и годовое количество осадков, фиксируемое сетью гидрометеорологических станций. Сложный рельеф местности, отличающийся резко приподнятыми вершинами, разделёнными глубокими долинами, существенное сокращение сети станций, ведущих наблюдения за метеорологическими переменными, ограничивают возможность корректного районирования исследуемой территории.

В статье показана (проанализирована) возможность привлечения технологий обработки результатов аэрокосмических наблюдений при рассмотрении актуальной для дорожной отрасли Кыргызстана проблемы – уточнения дорожно-климатического районирования его территории.

Ключевые слова: автомобильная дорога; дорожно-климатическое районирование; таксон; зона; подзона; рельеф; перевал; программа Google Earth Pro; геоморфологические условия.

Для цитирования: Ефименко В.Н., Ефименко С.В., Каримов Э.М., Кожогулов К.Ч. Особенности дорожно-климатического районирования территории Юго-Западного Кыргызстана // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2022. Т. 24. № 2. С. 161–171.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-161-171

© Ефименко В.Н., Ефименко С.В., Каримов Э.М., Кожогулов К.Ч., 2022

V.N. EFIMENKO[1], S.V. EFIMENKO[1],
E.M. KARIMOV[2], K.Ch. KOZHOGULOV[3],
[1]Tomsk State University of Architecture and Building,
[2]Osh Technological University,
[3]The Institute of Geomechanics and Subsoil Development of The National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic

ROAD-BUILDING CLIMATE ZONING OF THE TERRITORY OF SOUTH-WEST KYRGYZSTAN

The paper studies the quality improvement of the transportation infrastructure and the increase in their inter-repair period with respect to regional conditions of the Kyrgyz Republic in clarifying the boundaries of road-building climatic zones. The boundary standardization of the territory zoning is based on absolute height topography marks and the annual precipitations recorded by. The rugged topography with peaks and valleys, a significant reduction in the number of hydrometeorological stations restrict the possibility of correct territory zoning. The paper proposes the data processing technique for the analysis of road-building climatic zoning on the Kyrgyzstan territory, which is one of the urgent problems of the road industry.

Keywords: automobile road; road-building climatic zone; taxon; zone; subzone; topography; passage; Google Earth Pro; geomorphological conditions.

For citation: Efimenko V.N., Efimenko S.V., Karimov E.M., Kozhogulov K.Ch. Osobennosti dorozhno-klimaticheskogo raionirovaniya territorii yugo-zapadnogo Kyrgyzstana [Road-building climate zoning of the territory of south-west kyrgyzstan]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2022. V. 24. No. 2. Pp. 161–171.
DOI: 10.31675/1607-1859-2022-24-2-161-171

Введение

Участки автомобильных дорог Ош – Бишкек, Ош – Исфана, расположенные на территории Юго-Западного Кыргызстана, в основном относятся к V дорожно-климатической зоне [1]. Однако некоторые участки обозначенных дорог по элементам географического комплекса (температура воздуха, почвенно-грунтовые условия, геомеханические процессы) отражают условия, характерные для IV дорожно-климатической зоны. Указанные элементы имеют ярко выраженную зависимость от рельефа местности. Для наглядного восприятия элементов рельефа по протяжённости автомобильных дорог применяли программный продукт Google Earth Pro, который отображает информацию, визуализированную в виде цифрового аналога земного шара, иллюстрирующего поверхность нашей планеты с применением односоставных изображений больших масштабов. При увеличении масштаба изображения появляется возможность работы с отдельными участками земной поверхности, имеющими различные интерпретации изображения в разные временные периоды как по дате, так и по времени снимка [2].

Возможность отображения в программе плана и продольного профиля участков автомобильных дорог помогает детально рассматривать и анализировать рельеф исследуемой местности. Известно, что более 90 % территории Республики Кыргызстан относится к горной местности.

Методы

Имеющиеся работы, направленные на уточнение действующего дорожно-климатического районирования [3–9], схожи в части наличия интереса исследователей к локальным территориям, однако для них характерно отсутствие единой системы в выполнении подобного вида работ. Существующие методы районирования не позволяют учесть многообразие природно-климатических условий регионов, влияние их на особенности влагонакопления и, соответственно, на прочность и устойчивость грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Для современных исследований в области дорожно-климатического районирования характерны недостаточная разработанность критериев однородности и целостности выделяемых территорий, правил выбора элементов наблюдения, картирования границ, а также отсутствие единых приёмов сбора и обработки исходных данных. Определённые затруднения исследователи испытывают при сравнении или объединении результатов районирования, полученных по разным методическим схемам [10].

Для территории Республики Кыргызстан доминирующим признаком, участвующим в выделении дорожно-климатических зон, является рельеф местности [11]. С увеличением значений высотных отметок рельефа местности характеристики элементов геокомплекса изменяются. На рис. 1 отражена сложность рельефа предгорно-горной местности, где чередуются различные геолого-геомеханические процессы, влияющие на качество и объем работ при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог.

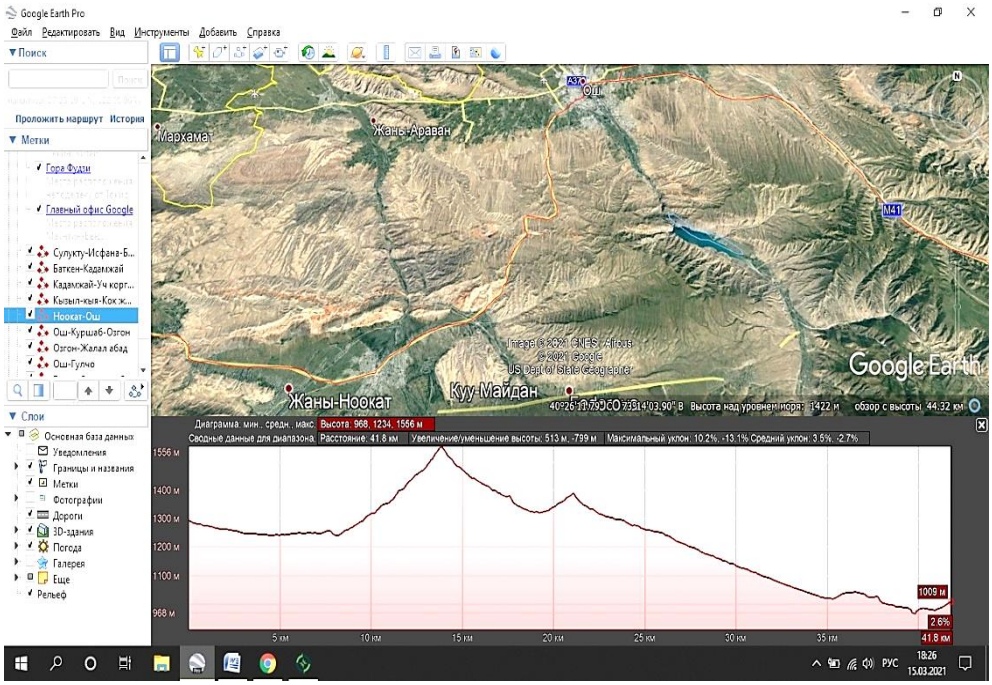


Рис. 1. Диалоговое окно программы Google Earth Pro, отражающее рельеф местности, схему плана автомобильной дороги Ош – Исфана и её продольный профиль

Геоморфологическое районирование – это сложный процесс, требующий изучения всего многообразия данных, обусловливающих внутрирегиональные различия исследуемой территории. Как правило, геоморфологические условия оценивают посредством небольшого числа морфометрических характеристик рельефа. Для оценки рельефа по высотным отметкам используют гипсометрические карты, которые служат основой для составления карт-схем высотных поясов.

Районирование позволяет проследить закономерности распределения, с одной стороны, морфоструктурных особенностей, а с другой – морфоскульптурных отличий, геоморфологических процессов в зависимости от совокупного действия экзогенных факторов. Поэтому геоморфологическое районирование территории является одним из важнейших этапов геоморфологического изучения [12].

В.Н. Ченцов, при районировании территории Горьковской области по степени и глубине расчленения рельефа местности [13], рекомендовал к применению показатели, характеризующие частоту чередования повышенных и пониженных точек местности, а также среднюю глубину расчленения. Частоту чередования повышенных и пониженных точек местности (ритм рельефа) и среднюю глубину расчленения определяют по геомофологическому профилю. На длине профиля L с количеством перегибов m и количеством интервалов между перегибами $m + 1$ среднее расстояние r рельефа устанавливают по выражению

$$r = \frac{L}{m+1}. \qquad (1)$$

Средняя глубина расчленения по профилю может быть определена как среднее превышение более высоких точек рельефа над соседними, более низкими. Общее количество точек на профиле m, а разность высот двух смежных перегибов линии профиля $h_1, h_2, ..., h_{m+1}$ устанавливают по выражению

$$h = \frac{h_1 + h_2 + \ldots + h_{m+1}}{m+1}. \qquad (2)$$

С помощью вышеприведенных формул, путем непосредственного учета количества пониженных и повышенных точек, были рассчитаны характеристики рельефа для участка автодорог Ноокат – Ош. Результаты определения средней глубины расчленения по профилю представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения средней глубину расчленения рельефа по профилю на участке автомобильной дороги Ноокат – Ош

№ п/п	Высоты абсолютные, м	Пункты на автомобильной дороге Ноокат – Ош	Разница соседних высот, по модулю, м
1	1283	Ноокат	38
2	1245	Коммунизм	88
3	1333	Кафе	223
4	1556	Перевал Дабан	97
5	1459	1-й поворот	104

Окончание табл. 1

№ п/п	Высоты абсолютные, м	Пункты на автомобильной дороге Ноокат – Ош	Разница соседних высот, по модулю, м
6	1355	Карагаш	36
7	1391	Перевал Малый Дабан	131
8	1260	Ак-Терек	132
9	1128	Промзона	108
10	1020	Жапалак	24
11	996	Ош	0
		Сумма	981
		Средняя глубина расчленения	**81,75**

Анализ сведений, отражённых в табл. 1, позволяет сделать вывод о том, что средняя глубина расчленения рельефа составляет 81,75 м. Для участка автомобильной дороги (рис. 1) определены ритм и средняя глубина расчленения рельефа. Морфометрические характеристики рельефа могут быть востребованы при выделении однородных территорий Республики Кыргызстан, а также при уточнении границ дорожно-климатических зон на территории Юго-Западного Кыргызстана.

Представленная на рис. 1 территория, по СНиП КР 32-01:2004 «Проектирование автомобильных дорог», отнесена к V дорожно-климатической зоне. Для территории V ДКЗ характерны абсолютные высотные отметки от 500 до 1700 м, а годовое количество осадков находится в пределах от 120 до 300 мм. Несмотря на принятое деление территории Республики Кыргызстан на дорожно-климатические зоны по таким признакам геокомплекса, как абсолютные высотные отметки зоны над уровнем моря (рис. 2) и годовое количество осадков в мм, в реальных условиях проектирование автомобильных дорог с применением только таксона «зона», не позволяет учесть многообразия региональных природно-климатических условий. В горных условиях необходимо выделение таксонов более низкого порядка, например «подзона».

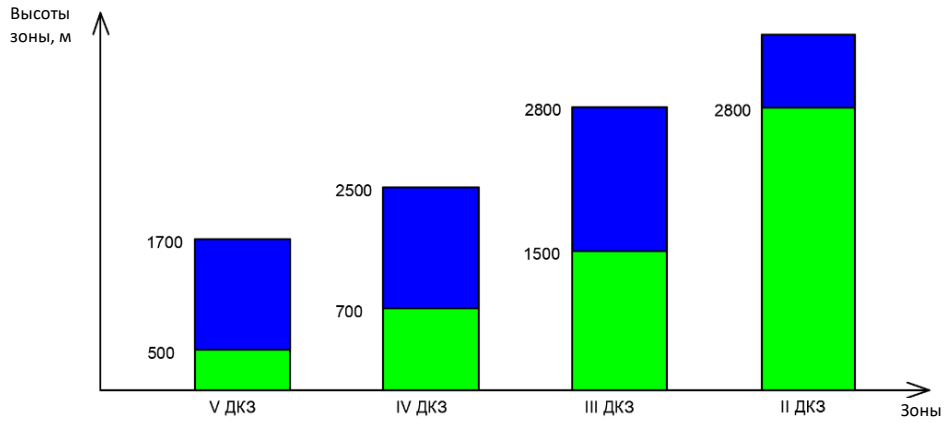


Рис. 2. Распределение дорожно-климатических зон по значениям абсолютных высотных отметок над уровнем моря (по СНиП КР 32-01:2004)

Автомобильные дороги по сложности элементов плана и продольного профиля, проложенные на перевальных участках предгорной зоны, фактически не отличаются от автомобильных дорог, запроектированных в горных условиях. Перевалы – это пониженные участки в гребне горного хребта или массива, которые служат путями наиболее лёгкого и удобного перехода из одной горной долины в другую. Подробная характеристика и классификация для перевалов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика и классификация перевалов для целей эксплуатации автомобильного транспорта

№ п/п	Наименование показателя	Перевальный участок		
		1	2	3
1	Высота над уровнем моря, м	1000…2000	2000…4100	4100…4700
2	Форма вершины перевала	Плоско-округлая	С острым гребнем	Плоско-округлая
3	Конструкция земляного полотна на вершине перевала (выемка, тоннель или продольный профиль в нулевых отметках)	В нулевых отметках	Тоннель	В нулевых отметках
4	Устойчивость склонов	Устойчивы, за исключением отдельных мест	Неустойчивы, за исключением отдельных мест	Устойчивы
5	Температура, °С, среднемесячная: января июля среднегодовая минимальная максимальная	 –4…–6 +18…+25 +6 –26,1 +42,3	 –4…–27,7 +5…+17 –7…+7 –53,6 +33,6	 –19,7 +13,4 –7 –63 +25,6
6	Селевые явления и их повторяемость	1 раз в год и более	1 раз в год и менее	Отсутствует
7	Снежные лавины	Отсутствует	Есть повсеместно	Отсутствует
8	Осадки, мм	400…650	300…900	70…120
9	Число дней со снежными покровом	50…100	100…200	–
10	Грунтовые условия	Лессовидные	Скальные	Гравелистые
11	Положение снеговой линии, м	–	3500…4200	5000…5500
12	Коэффициент увлажнения	До 0,60	Более 0,60	До 0,60
13	Дорожно-климатическая зона	IV	III	IV…V

Приведенные в табл. 2 сведения отражают показатели перевальных участков. Форма сечения вершины перевальных участков учитывается при

назначении конструкций земляного полотна и проектировании продольного профиля перевала. П.К. Дуюнов [14] подробно описывал условия эксплуатации горных автомобильных дорог среднеазиатских республик, выделяя дорожно-климатические зоны для целей эксплуатации автомобильного транспорта. В условиях горной местности при проектировании автомобильных дорог необходимо учитывать не только особенности рельефа местности, но и другие элементы геокомплекса, такие как климатические и геологические условия. Перевальные участки относят к самым опасными участкам автомобильных дорог для движения транспортных средств. Это связано не только со сложностью рельефа, затрудняющего движение автомобильного транспорта, но и с наличием большого количества различных деформаций дорожных конструкций, влияющих на скорость движения и возникновение аварийных ситуаций. Кроме того, движение на перевальных участках усложняют такие климатические явления, как чередующиеся гололед, туман, сель.

Вышеприведенные сведения позволяют сделать вывод, что перевальные участки при дорожно-климатическом районировании Республики Кыргызстан являются определяющими при региональном инженерном районировании.

Результаты

Многообразие природных и климатических факторов, присущих горному массиву, не позволяют применять для установления границ зон хребтов и перевалов какой-либо один ведущий фактор [14]. Существующий подход выделения дорожно-климатических зон по абсолютным высотным отметкам над уровнем моря не способен обеспечить надёжное функционирование автомобильных дорог на территории Республики Кыргызстан. Для совершенствования методов проектирования автомобильных дорог необходим научно-практический подход, основанный на результатах научно-исследовательских работ, выполненных для исследуемой территории. В период с 2005 по 2021 г. на различных участках автомобильных дорог на территории Юго-Западного Кыргызстана выполнены инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрогеологические, изыскательские работы, результаты которых позволили выявить процессы, влияющие на работу дорожных конструкций, эксплуатируемых в сложных условиях горной местности [15–17].

Почвообразующими породами межгорных долин, на которых сформировались серозёмы туранские, присутствуют лёссовидные суглинки, конгломераты и галечники четвертичного периода, в составе которых имеются карбонаты и другие легкорастворимые соли. На склонах гор, окружающих Ферганскую долину, преобладают древние палеозойские породы, состоящие в основном из известняков, сланцев и песчаников. Здесь чётко проявляется высотная поясность почвенного покрова. Основной причиной проблем, возникающих с дорожными конструкциями в условиях V дорожно-климатической зоны, является земляное полотно автомобильных дорог, сложенное глинистыми грунтами. В Ферганской долине серозёмы занимают почти все равнинные пространства и предгорья [15]. От переувлажнения грунтов на откосах насыпей и выемок автомобильных дорог появляются местные дефор-

мации в виде просадок дорожных конструкций и оплывания приповерхностного выветрелого слоя грунта.

С учетом сложного геологического и орографического строения Кыргызстана для автомобильных дорог на территории Джалал-Абадской, Ошской и Баткенской областей выделено 9 подзон (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика основных элементов геокомплекса подзон на территории Республики Кыргызстан

№ п/п	Дорожно-климатическая зона	Высотные отметки	Подзона	Индекс территории
1	V	500…600	1	V.1
2		600…900	2	V.2
3		900…1200	3	V.3
4		1200…1700	4	V.4
5	IV	1700…2000	5	IV.1
6		2000…2500	6	IV.2
7	III	2500…2800	7	III.1
8	II	2800…3500	8	II.1
9		3500 и свыше	9	II.2

Следует учитывать, что предложенный авторами вариант дорожно-климатического районирования для территории климатической провинции Юго-Западного Кыргызстана основывается также на результатах исследования водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог, опубликованных ранее [15, 18, 19].

Заключение

Выполненные на территории Юго-Западного Кыргызстана исследования позволяют сформулировать следующие предварительные выводы:

– Территория Республики Кыргызстан относится к горно-складчатым областям, в которых продолжается процесс орогенеза. Все гравитационные склоновые процессы, а также устойчивость и объемы работ дорожных конструкций зависят от высотных отметок.

– Высотная климатическая зональность является главной чертой, присущей горному климату, высотная зависимость годовых и сезонных сумм атмосферных осадков чётко прослеживается. При этом характеристики количества атмосферных осадков и температуры воздуха считаются важнейшими элементами горного климата.

– Предлагаемый подход учитывает сложность геологических и орографических строений Кыргызстана и обеспечивает качество проектирования и строительства автомобильных дорог.

Сведения, приведённые в статье, служат основой для совершенствования дорожно-климатического районирования в горной местности территории Кыргызстана.

Библиографический список

1. *СНиП КР 32–01:2004*. Проектирование автомобильных дорог. Бишкек : Госкомархстрой при Правительстве Кыргызской Республики, 2004. 85 с.
2. *Google Earth*. URL: https://google-earth.download-windows.org (дата обращения: 20.01.2022).
3. *Алексиков С.В., Волченко Ф.В.* Районирование г. Волгограда по условиям зимнего содержания // Инженерные проблемы строительного материаловедения, геотехнического и дорожного строительства : материалы IV Международной науч.-техн. конф. Волгоград : Изд-во Волгог. гос. архит.-строит. ун-та, 2013. С. 46–52.
4. *Боброва Т.В., Коденцева Ю.В.* Районирование территорий по климатическим характеристикам для обоснования ресурсоемкости зимнего содержания сети дорог // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. 2006. № 1. С. 72–78.
5. *Виноградский А.К.* Дорожное районирование. Москва : Транспорт, 1989. 95 с.
6. *Ефименко В.Н., Ефименко С.В., Сухоруков А.В., Кожухарь Т.А.* К обоснованию территориального распространения границы II–III дорожно-климатических зон в Западно-Сибирском регионе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 5 (46). С. 133–142.
7. *Ефименко В.Н., Ефименко С.В., Бадина М.В., Григорьев А.В.* Технология учёта региональных природно-климатических условий при проектировании транспортных сооружений (на примере территории Западной Сибири) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2011. № 4 (33). С. 221–227.
8. *Кулижников А.М., Юфряков А.В.* Моделирование рельефа, элементов геологии и гидрогеологии местности. Архангельск : Изд-во АГТУ, 1997. 125 с.
9. *Ярмолинский В.А.* Районирование территории Хабаровского края при проведении снегоочистки автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 5. С. 152–158.
10. *Yankovskaya A., Efimenko S., Cherepanov D.* Structurization of Data and Knowledge for the Information Technology of Road-Climatic Zoning // Innovative Technologies and Economics in Engineering : selected, peer reviewed papers from the V International Scientific Practical Conference, May 22–23, 2014. Yurga, Russia. P. 561–566. (Applied Mechanics and Materials V. 682 (2014)).
11. *Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Каримов Э.М., Мамажакыпова Г.Т.* Прикладное значение спутниковой модели TMPA при установлении нормы годового количества атмосферных осадков по дорожно-климатическим зонам на территории Юго-Западного Кыргызстана // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 4. С. 147–158.
12. *Выркин В.Б., Масютина Ю.А.* Геоморфологическое районирование Окинского плоскогорья (Восточный Саян) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Наука о земле». 2017. Т. 19. С. 32–47.
13. *Ченцов В.Н.* Морфометрические показатели на геоморфологической карте мелкого масштаба // Тр. Ин-та географии АН СССР. 1948. С. 48–51.
14. *Дуюнов П.К.* Дороги в горной местности. Самара : СГАСУ, 2015. 220 с.
15. *Каримов Э.М.* Влияние водно-теплового режима на техническое состояние земляного полотна автомобильных дорог в условиях V дорожно-климатической зоны Кыргызстана // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. № 1. С. 193–204.
16. *Каримов Э.М., Тешаев Э.А., Эркалиуулу У.* Оценка устойчивости нагорных склонов // Вестник КРСУ. 2018. Т. 18. № 12 (93). С. 93–95.
17. *Каримов Э.М.* Причины появлении деформации после реконструкции автомобильных дорог на участках со сложными инженерно-геологическими условиями // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2016. № 9. С. 93–95.
18. *Каримов Э.М.* Использование бентонитовой глины в качестве гидроизоляционного материала для основания и откосов автомобильной дороги южного региона Кыргызстана // Инженерный вестник Дона. 2018. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4957
19. *Каримов Э.М.* Методы дорожного районирования при проектировании, строительстве и эксплуатации горных дорог // Современные проблемы механики. 2020. № 41 (3). С. 334–341.

REFERENCE

1. SNiP KR 32–01:2004. Proektirovanie avtomobil'nyh dorog. Bishkek: Goskomarhstroj pri Pravitel'stve Kyrgyzskoj Respubliki. [SNiP KR 32-01:2004. Design of automobile roads]. Bishkek: Goskomarkhstroy under the Government of the Kyrgyz Republic, 2004. 85 p. (rus)
2. Google Earth. Available: https://google-earth.download-windows.org (accessed January 20, 2022).
3. *Aleksikov S.V., Volchenko F.V.* Rajonirovanie g. Volgograda po usloviyam zimnego soderzhaniya [Volgograd zoning under in winter conditions]. In: Inzhenernye problemy stroitel'nogo materialovedeniya, geotekhnicheskogo i dorozhnogo stroitel'stva: materialy IV Mezhdunarodnoi nauch.-tekhn. konf (*Proc. 4th Int. Sci. Conf. 'Engineering Problems of Materials Science in Construction and Geotechnical and Road Engineering'*). Volgograd, 2013. Pp. 46–52. (rus)
4. *Bobrova T.V., Kodenceva Yu.V.* Rajonirovanie territorij po klimaticheskim harakteristikam dlya obosnovaniya resursoemkosti zimnego soderzhaniya seti dorog [Zoning of territories according to climatic characteristics to justify the resource intensity of winter maintenance of the road network]. *Vestnik Irkutskogo gos. tekhn. un-ta*. 2006. No. 1. Pp. 72−78. (rus)
5. *Vinogradskij A.K.* Dorozhnoe rajonirovanie [Road-building zoning]. Moscow: Transport, 1989. 95 p. (rus)
6. *Efimenko V.N., Efimenko S.V., Suhorukov A.V., Kozhuhar' T.A.* K obosnovaniyu territorial'nogo rasprostraneniya granicy II–III dorozhno-klimaticheskih zon v Zapadno-Sibirskom regione [Rationale for boundaries of climatic zones II–III in West Siberia]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 5 (46). Pp. 133–142. (rus)
7. *Efimenko V.N., Efimenko S.V., Badina M.V., Grigor'ev A.V.* Tekhnologiya uchyota regional'nyh prirodno-klimaticheskih uslovij pri proektirovanii transportnyh sooruzhenij (na primere territorii Zapadnoj Sibiri) [Regional natural and climatic conditions in transport facilities design in West Siberia]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2011. No. 4 (33). Pp. 221–227. (rus)
8. *Kulizhnikov A.M., Yufryakov A.V.* Modelirovanie rel'efa, elementov geologii i gidrogeologii mestnosti [Modeling of relief, geology and hydrogeology of territories]. Arkhangelsk: AGTU, 1997. 125 p. (rus)
9. *Yarmolinskii V.A.* Rajonirovanie territorii Habarovskogo kraya pri provedenii snegoochistki avtomobil'nyh dorog [Khabarovsk territory zoning in snow cleaning of roads]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 5. Pp. 152−158. (rus)
10. *Yankovskaya A., Efimenko S., Cherepanov D.* Structurization of data and knowledge for the information technology of road-climatic zoning. In: *Selected Papers 5th Int. Sci. Conf. 'Innovative Technologies and Economics in Engineering'*. Yurga, Russia. 2014. Pp. 561–566. (rus)
11. *Efimenko V.N., Efimenko S.V., Karimov E.M., Mamagakipova G.T.* Prikladnoe znachenie sputnikovoi modeli TMPA pri ustanovlenii normy godovogo kolichestva atmosfernykh osadkov po dorozhno-klimaticheskim zonam na territorii Yugo-Zapadnogo Kyrgyzstana [TMPA satellite model applied for determination of annual precipitations in road-building climatic zones in Southwest Kyrgyzstan]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2021. V. 23. No. 4. Pp. 147−158. (rus)
12. *Vyrkin V.B., Masyutina Yu.A.* Geomorfologicheskoe raionirovanie Okinskogo ploskogor'ya (Vostochnyi Sayan) [Geomorphological zoning of Okinsky Plateau in Eastern Sayan]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Nauka o zemle"*. 2017. V. 19. Pp. 32–47. (rus)
13. *Chentsov V.N.* Morfometricheskie pokazateli na geomorfologicheskoi karte melkogo masshtaba [Morphometric indicators on a small-scale geomorphological map]. Tr. in-ta geografii AN SSSR. 1948. Pp. 48–51. (rus)
14. *Duyunov P.K.* Dorogi v gornoi mestnosti [Roads in mountainous terrain]. Samara: SGASU, 2015. 220 p. (rus)
15. *Karimov E.M.* Vliyanie vodno-teplovogo rezhima na tekhnicheskoe sostoyanie zemlyanogo polotna avtomobil"nykh dorog v usloviyakh V dorozhno-klimaticheskoi zony Kyrgyzstana [Impact of water and temperature conditions on subgrade in road-building climatic zone V in

Kyrgyzstan]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 1. Pp. 193–204. (rus)
16. *Karimov E.M., Teshaev E.A., Erkaliuulu U.* Otsenka ustoichivosti nagornykh sklonov [Assessment of upland slope stability]. *Vestnik KRSU*. 2018. V. 18. No. 12 (93). Pp. 93–95. (rus)
17. *Karimov E.M.* Prichiny poyavlenii deformatsii posle rekonstruktsii avtomobil'nykh dorog na uchastkakh so slozhnymi inzhenerno-geologicheskimi usloviyami [Deformation after road reconstruction in engineering and geological conditions]. *Nauka, novye tekhnologii i innovatsii Kyrgyzstana*. 2016. No. 9. Pp. 93–95. (rus)
18. *Karimov E.M.* Ispol'zovanie bentonitovoi gliny v kachestve gidroizolyatsionnogo materiala dlya osnovaniya i otkosov avtomobil'noi dorogi yuzhnogo regiona Kyrgyzstana [Bentonite clay as waterproofing material for subgrades and slopes in southern Kyrgyzstan]. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2018. Available: www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4957 (rus)
19. *Karimov E.M.* Metody dorozhnogo raionirovaniya pri proektirovanii, stroitel'stva i ekspluatatsii, gornykh dorog [Mountain road-building zoning in design, construction, and operation]. *Sovremennye problemy mekhaniki*. 2020. No. 41 (3). Pp. 334–341. (rus)

Сведения об авторах

Ефименко Владимир Николаевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, svefimenko_80@mail.ru

Ефименко Сергей Владимирович, докт. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, svefimenko80@gmail.com

Каримов Эркинбек Машанович, канд. техн. наук, доцент, Ошский технологический университет, 723503, Киргизская Республика, г. Ош, ул. Н. Исанова, 81, erkin.karimov.71@mail.ru

Кожогулов Камчибек Чонмурунович, докт. техн. наук, академик, директор, Институт геомеханики и освоения недр НАН КР, 720055, Киргизская Республика, г. Бишкек, ул. Медерова, 98.

Authors Details

Vladimir N. Efimenko, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, svefimenko_80@mail.ru

Sergei V. Efimenko, DSc, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, svefimenko80@gmail.com

Erkinbek M. Karimov, PhD, A/Professor, Osh Technological University, 81, Isanov Str., 723503, Osh, Kyrgyz Republic, erkin.karimov.71@mail.ru

Kamchibek Ch. Kozhogulov, DSc, Academician, The Institute of Geomechanics and Subsoil Development of the National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic, ifmgp@yandex.ru