

Томский государственный
архитектурно-строительный университет

ВЕСТНИК

ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

TOM 22

№ 6 2020
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с апреля 1999 г.

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ляхович Л.С., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, зав. кафедрой строительной механики ТГАСУ; 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; vvg-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
Иняхотов И.С., докт. техн. наук, профессор, директор инженерно-строительного института СФУ; iinzhotov@sfu-kras.ru; г. Красноярск
Князя 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
Кумляк 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
Плациди 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/>; «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

ВЕСТИНИК ТГАСУ № 6 – 2020

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)

ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

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

Редакторы Т.С. Володина, Г.Г. Семухина.
Переводчик М.В. Воробьева. Дизайн Е.И. Кардаш.
Технический редактор Н.В. Удлер.
Подписано в печать 24.12.2020. Формат 70×108/16. Гарнитура Таймс.
Уч.-изд. л. 13,78. Усл. печ. л. 16,36. Тираж 200 экз.
Зак. № 129.

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

© Томский государственный
архитектурно-строительный
университет, 2020

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

VESTNIK
TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO
ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA

JOURNAL
OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Volume 22

№ 6 2020
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Published since April 1999

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

EDITORIAL STAFF

1. Lyakhovich L.S., DSc, Professor, RAACS Academician, Chief Editor, Head of Structural Mechanics Dept., TSUAB; lls@tsuab.ru, Tomsk, Russia
2. Akimov P.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Chief Academic Secretary; pavel.akimov@gmail.com, Moscow, Russia
3. Belostotskii A.M., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Director General Research Center StaDiO; amb@stadyo.ru, Moscow, Russia
4. 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
5. Chernyshov E.M., DSc, Professor, RAACS Academician, Chairman of the Presidium of RAACS Central Regional Branch; chem@vgasu.vrn.ru, Voronezh, Russia
6. Chiaia B., PhD, Professor, Politecnico di Torino (Polytechnic University of Turin); bernardino.chiaia@polito.it, Turin, Italy
7. 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
8. Dzyubo V.V., DSc, Professor, Department of Water Supply and Sewage Systems, TSUAB; dzv1956@mail.ru, Tomsk, Russia
9. Efimenko V. N., DSc, Professor, Dean of Road Engineering and Construction Faculty, Head of Automobile Roads Dept., TSUAB; svefimenko_80@mail.ru, Tomsk, Russia
10. Efimenko S.V., DSc, Dean of Road Engineering and Construction Faculty, TSUAB; svefimenko_80@mail.ru, Tomsk, Russia
11. Esaulov G.V., DSc, Professor, RAACS Academician, Vice-Rector for Research of Moscow Architectural Institute (State Academy); esaulovgv@raasn.ru, Moscow, Russia
12. Girardot M.C., DSc, Professor, Engineering Dept., International Telematic University UNINETTUNO; g.cennamo@uninettunouniversity.net, Roma, Italy
13. Gnyrya A.I., DSc, Professor, RAACS Adviser, Head of Construction Engineering Technology Dept., TSUAB; tsp_tgasu@mail.ru, Tomsk, Russia
14. Il'ichev V.A., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President; ilyichev@raasn.ru, Moscow, Russia
15. Inzhutov I.S., DSc, Professor, Director School of Engineering and Construction, SibFU; iinzhutov@sfu-kras.ru, Krasnoyarsk, Russia
16. Kopanitsa N.O., DSc, Professor, Building Materials and Technologies Dept., TSUAB; kopanitsa@mail.ru, Tomsk, Russia
17. 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
18. Kudyakov A.I., DSc, Professor; RAACS Adviser, Head of Construction Engineering Technology Dept., TSUAB (Tomsk, Russia); kudyakov@tsuab.ru
19. Kumpyak O.G., DSc, Professor; RAACS Adviser, Head of Reinforced Concrete and Masonry Structures Dept., TSUAB; kumpyak@yandex.ru, Tomsk, Russia
20. Lezhava I.G., DSc, Professor, RAACS Academician, RAACS Vice President, Moscow Architectural Institute (State Academy); lezhavailia@gmail.com, Moscow, Russia
21. Morozov V.I., DSc, Professor, RAACS Corresponding Member, Head of Engineering Constructions Dept., SPSUACE; morozov@spbgasu.ru, St-Petersburg, Russia
22. Ovsyannikov S.N., DSc, Professor, Head of Architecture of Civil and Industrial Buildings Dept., TSUAB; ovsnn@tsuab.ru, Tomsk, Russia
23. Plachidi L.L., DSc, A/Professor, Engineering Dept., International Telematic University UNINETTUNO; luca.placidi@uninettunouniversity.net, Roma, Italy
24. 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
25. Pustovetov G.I., DSc, Professor, RAACS Correspondent Member, Adviser Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts; pustovetovgi@gmail.com, Novosibirsk, Russia
26. Skolubovich Yu.L., DSc, Professor, RAACS Correspondent Member, Rector Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering; sjl1964@mail.ru, Novosibirsk, Russia
27. Shubin I.L., DSc, RAACS Corresponding Member, Director Structural Physics Research Institute, RAACS; niisf@niisf.ru, Moscow, Russia
28. Tsvetkov N.A., DSc, Professor, Head of Heat and Gas Supply Dept., TSUAB; nac@tsuab.ru, Tomsk, Russia
29. Travush V.I., DSc, Professor, RAACS Vice President, RAACS Academician; travush@mail.ru, Moscow, Russia
30. Vlasov V.A., DSc, Professor, Rector, TSUAB; rector@tsuab.ru, Tomsk, Russia
31. Volokitin G.G., DSc, Professor, Head of Applied Mechanics and Materials Science Dept., TSUAB; vgg-tomsk@mail.ru, Tomsk, Russia
32. 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.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 № 6 – 2020

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.

Editors T.S. Volodina, G.G. Semukhina
Translator M.V. Vorob'eva. Design: E.I. Kardash
Technical editor N.V. Udler
Passed for printing: 24.12.2020. Paper size: 70×108/16. Typeface: Times New Roman
Published sheets: 13,78. Conventional printed sheets: 16,36. Print run: 200 copies
Order N 120.

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

© Tomsk State University
of Architecture and Building, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Литвинова О.Г. Система русских поселений в прибрежной полосе р. Селенги в XVII–XIX вв. (ТГАСУ, г. Томск)	9
Полянцева Е.Р. Безопасность и устойчивое развитие с учетом местных особенностей в условиях российских городов (УрГЭУ, г. Екатеринбург)	30
Новиков С.В., Осина В.Л. Агротуризм как фактор устойчивого развития территории на примере Новошешминского района Республики Татарстан (ООО «Проектно-реставрационная мастерская Казанской епархии РПЦ (МП)», КГАСУ, г. Казань)	40
Булгач Р.В. Квартальная структура г. Новосибирска. Возможности развития (НГУАДИ, г. Новосибирск)	51
Ильвицкая С.В., Михайлова И.В. Устойчивая архитектура как вектор развития в проектировании дошкольных образовательных организаций (НИ МГСУ, ГУЗ, г. Москва)	61
Коренев В.И. Использование цифровых технологий и 3D-моделирования в градостроительной деятельности (на примере города Томска) (ТГАСУ, г. Томск)	70

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Белоус А.Н., Котов Г.А., Сапронов Д.А., Новиков Б.А. Определение сопротивления теплопередаче при нестационарном тепловом режиме (ДонНАСА, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка)	83
Коянкин А.А., Митасов В.М. Контактный шов сопряжения бетонов разного возраста и вида (СФУ, г. Красноярск, НГАСУ, г. Новосибирск)	94
Исаков Ю.И. Виртуальная акустическая реконструкция архитектуры зрительного зала филармонии на основе технологии активного управления звуковым полем (НГУАДИ, г. Новосибирск, ООО «Ямаха Мюзик», г. Москва)	105

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Кривошеин Ю.О., Цветков Н.А., Толстых А.В., Хуторной А.Н., Колесникова А.В., Петрова А.В. Эффективная солнечная система горячего водоснабжения для северных территорий (ТГАСУ, г. Томск)	119
Белоус А.Н., Оверченко М.В. Исследование бытовых теплоступлений в образовательных учреждениях (ДонНАСА, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка)	132
Медведева О.Н., Бессонова Н.С. Экономическая эффективность оптимального распределения перепадов давления между участками газовой сети (СГТУ, ООО НПФ «ЭТНА ПЛЮС», г. Саратов)	141

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

Ефимов С.В., Жунев К.О. Моделирование динамического взаимодействия подвижного состава и железнодорожных мостов (СГУПС, г. Новосибирск).....	154
Хижняков В.И., Негодин А.В., Шелков В.А., Тоз А.Н. Особенности проектирования и строительства линейной части магистральных нефтегазопроводов на заболоченных участках трассы (ТГАСУ, г. Томск).....	167
Чурилин В.С., Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Сухоруков А.В., Дроздов Ю.В. Стандартизация расчётных характеристик глинистых грунтов Томской области для обеспечения качества проектирования автомобильных дорог (ТГАСУ, Областное государственное казённое учреждение «Томскавтодор», г. Томск)	177

C O N T E N T S

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Litvinova O.G. Russian settlements in the coastal area of the Selenga River in the 17–19th centuries (Tomsk)	9
Polyantseva E.R. Architectural safety and sustainable development of Russian cities (Ekaterinburg)	30
Novikov S.V., Osina V.L. Rural tourism as a factor of sustainable development in the Novosheshminsky region in Tatarstan (Kazan)	40
Bulgach R.V. Square system in Novosibirsk. Development opportunities (Novosibirsk)	51
Ilvitskaya S.V., Mykhaylova I.V. Sustainable architecture development in preschool educational establishments (Moscow)	61
Korenev V.I. Digital technologies and 3D-modeling of urban planning (the Tomsk case study) (Tomsk)	70

BUILDING AND CONSTRUCTION

Belous A.N., Kotov G.A., Sapronov D.A. Novikov B.A. Heat transfer resistance in non-stationary thermal conditions (Makiivka, Donetsk People's Republic)	83
Koyankin A.A., Mitasov V.M. Joints in concretes of different age and type (Krasnoyarsk, Novosibirsk)	94
Isakov Yu.I. Virtual acoustic reconstruction of the great hall of the Tyumen philharmonic architecture based on active field control (Novosibirsk, Moscow)	105

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

Krivoshein Yu.O., Tsvetkov N.A., Tolstykh A.V., Khutornoy A.N., Kolesnikova A.V., Petrova A.V. Effective solar hot water system for northern territories (Tomsk)	119
Belous A.N., Overchenko M.V. Heat consumption in academic institutions (Makiivka, Donetsk People's Republic)	132
Medvedeva O.N., Bessonova N.S. Optimization of differential pressure distribution between gas supply system sections (Saratov)	141

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

Efimov S.V., Zhunev K.O. Finite element model of dynamic train-bridge interaction (Novosibirsk).....	154
Khizhnyakov V.I., Negodin A.V., Shelkov V.A., Toz A.N. Design and construction of linear main pipeline on water-logged grounds (Tomsk).....	167
Churilin V.S., Efimenko S.V., Efimenko V.N., Suhorukov A.V., Drozdov Yu.V. Estimated performance standardization of clayey soils in the Tomsk region for the quality assurance in road construction (Tomsk).....	177

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 711.4.01

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-9-29

О.Г. ЛИТВИНОВА,

Томский государственный архитектурно-строительный университет

СИСТЕМА РУССКИХ ПОСЕЛЕНИЙ В ПРИБРЕЖНОЙ ПОЛОСЕ Р. СЕЛЕНГИ В XVII–XIX ВВ.*

Основная цель исследования направлена на определение общих и частных закономерностей градостроительного развития сибирских систем расселения, созданных в береговой линии Обь-Енисейского водного пути. В статье рассмотрен фрагмент транзитного направления от оз. Байкал к границе с Монголией, вдоль береговой линии р. Селенги. Задачей исследования являлось определение различий в типологических, количественных, пространственных характеристиках населённых пунктов Селенгинской системы расселения с XVII по XIX в. В основе собранных данных лежат коллекции картографических и статистических источников, полученных в ходе историко-архивных изысканий в отечественных архивах, а также электронных ресурсах крупнейших библиотек России. Все выявленные типы поселений были топографически привязаны к современной геоподоснове (использована свободная платформа QGIS) с учётом основных этапов заселения Забайкалья.

Совокупность результатов выявила три основные хронологические модели расселения, которые были изучены по основным показателям: внутренние взаимосвязи, иерархия и территориальное распределение компактных групп поселений. Пространственные взаимосвязи выявили прямую зависимость формирования поселений относительно транспортных путей сообщения. С точки зрения эволюционного процесса Селенгинскую систему расселения отличает поступательное развитие в сторону увеличения числа малых и средних поселений, стремление к компактности распределения селитебных групп, кросскультурное взаимодействие с поселениями селенгинских бурят и колониями русских переселенцев.

Ключевые слова: система расселения; градостроительство; исторические поселения; Забайкальский край; р. Селенга.

Для цитирования: Литвинова О.Г. Система русских поселений в прибрежной полосе р. Селенги в XVII–XIX вв. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 9–29.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-9-29

* Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований № 18-012-00464 А «Градостроительная ретроспектива средних и малых населённых пунктов на Обь-Енисейском водном пути», 2018–2020 гг.

O.G. LITVINOVA,
Tomsk State University of Architecture and Building

RUSSIAN SETTLEMENTS IN THE COASTAL AREA OF THE SELENGA RIVER IN THE 17–19th CENTURIES

Purpose. The aim of this work is to determine the patterns of urban planning in Siberian settlements in the coastal area of the Ob-Yenisei waterway. The paper considers the fragment of the route from Lake Baikal to Mongolia border, along the Selenga River. The differences are identified for the settlement type, number and location along the Selenga River in the 17–19th centuries. **Design/methodology/approach.** Research is based on the collection of maps and archival documents as well as electronic resources from the largest libraries of Russia. All settlement types are tied to a modern satellite map using the free and open-source cross-platform desktop geographic information system QGIS with regard to the main settlement stages in Transbaikalia. **Research findings.** Three main chronological settlements are identified, which are studied allowing for the internal territorial ties, hierarchy and territorial distribution of compact groups of settlements. Spatial interconnections directly depend on the settlement formation and transport routes. The settlement development is progressive and oriented towards an increase in the number of small and medium-sized settlements, compact residential groups, cross-cultural interaction with Buryat settlements and colonies of Russian settlers.

Keywords: settlement; urban planning; historical settlements; Transbaikalia; the Selenga River.

For citation: Litvinova O.G. Sistema russkikh poselenii v pribrezhnoi polose r. Selengi v XVII–XIX vv. [Russian settlements in the coastal area of the Selenga River in the 17–19th centuries]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 9–29.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-9-29

Введение

Селенга – это последняя река, участвующая в системе Обь-Енисейского водного пути. Торговый водный путь здесь завершался в районе г. Селенгинска, в устье р. Чикой, откуда он дублировался сухопутной дорогой в Кяхтинскую торговую слободу. Многообразие форм жизнедеятельности человека в Селенгинской системе расселения можно с легкостью определить по местоположению и градостроительным особенностям поселений. Традиционная типология XVII в., в современном понимании человека, здесь выглядит несколько наивной, поскольку не имеет сложных многофункциональных процессов. В XVIII в. она усложняется под влиянием масштабных правительственных реформ, а в XIX в. приобретает первые черты агломераций. Забайкальский регион и его система русских поселений в береговой зоне реки на первый взгляд имеют схожие черты в Западной и Восточной Сибири. Однако процесс формирования имел собственную хронологию, предпосылки и особенности. Именно эти характеристики представляют научный интерес для историко-градостроительного исследования, необходимого для определения целостной картины этапов хозяйственного освоения всей Сибири вдоль Обь-Енисейского водного пути. Ландшафтные особенности речных долин определили принципы закрепления первопоселенцев на землях Сибири, а также заложили основу пространственной структуры распределения селитебных зон. Технологическое, экономиче-

ское, политическое и социокультурное развитие на разных этапах по-разному влияло на структурные преобразования внутри систем расселения по рекам, в связи с чем и определились существующие отличия между западным, восточным и юго-восточным регионами. В настоящем исследовании представлен анализ типологии поселений Селенгинской береговой системы с целью определения характерных особенностей, которые в дальнейшем позволят разработать градостроительную ретроспективу средних и малых населённых пунктов всего Обь-Енисейского водного пути.

Источники и методы исследования

Методология исследования была определена в соответствии с поставленными задачами. Поиск и систематизация историко-архивных материалов осуществлялись на основе принципа наибольшей достоверности. Выборка картографических источников опиралась на предварительный анализ государственных учреждений, в деятельность которых входила картография и сбор статистических данных: Министерства внутренних дел, Министерства земледелия, Министерства путей сообщения. В фондах центральных и региональных архивов собраны сведения о переписях населения, перечни населённых пунктов, землеустроительные, переселенческие и судоходные карты. Сравнение картографических источников позволило выявить характерные особенности типологии средних и малых поселений в береговой системе р. Селенги. Дополнительные статистические данные уточнили и подтвердили факты существования того или иного поселения, позволили определить национальный состав и виды хозяйственной деятельности. Метод моделирования применялся в виде интерпретации сводных данных на современной картографической подоснове (спутниковые карты Yandex). Всего было составлено три модели в виде схем системы расселения на XVII, XVIII и XIX столетия, которые в дальнейшем подверглись сравнительному анализу. К значимым результатам моделирования следует отнести сводные количественные данные по малым и средним населённым пунктам, т. к. они, как правило, не попадают в круг интересов современных исследователей-градостроителей. Системный анализ позволил сопоставить факты исторических событий с количественными данными по хронологическим периодам. В итоге была сформирована целостная картина градостроительной ретроспективы прибрежной полосы реки, описание которой представлено в данном исследовании.

XVII в. – период заселения: формирование каркаса системы русских поселений

Специфику расселения первых русских поселенцев XVII в. в Забайкалье можно оценить по немногочисленным данным. Наиболее наглядными и известными в этой группе являются картографические источники, созданные С.У. Ремезовым [1, 2]. Ревизские сказки воевод этого же периода дополняют информацию о числе, сословиях и родах деятельности населения. Смысловая составляющая графических изображений в Чертёжной книге Сибири (рис. 1) отличается от рисунков той же местности, указанной в Хорографической карте Сибири (рис. 2). Принципиальным отличием здесь является то, что в Хоро-

графической карте автор более достоверно показал характер местности (рельеф, растительность, водные объекты), но при этом нанес мало информации о населённых пунктах. В Чертёжной книге Сибири район р. Селенги представлен с точностью наоборот – подробно перечислены населённые пункты, но без точной привязки к природным объектам. Интересующие нас малые поселения, основанные в XVII в., в обоих источниках интерпретированы по-разному. Например, на рисунках из Хорографической карты особое внимание уделено Троицкому монастырю, его географическое положение зафиксировано автором напротив устья правого притока (р. Итанца), впадающего в р. Селенгу (у Ремезова приток обозначен под гидронимом Ританца). Постройки монастыря здесь показаны в границах острожных стен, выполненных в виде заплота, и окружены защитным рвом. Большая часть указанных автором деревень на карте не подписана.



Рис. 1. Копия из Чертёжной книги Сибири. Лист 39. Чертёж земли Иркутского города [1]

Информативность карты оз. Байкал и р. Селенги из Чертёжной книги Сибири, напротив, позволяет распознать типологию поселений и в целом изучить сложившуюся русскую «агломерацию» в русле реки. В обоих источниках, в долине р. Селенги, не сделаны указания на существование стойбищ бурятских родов или тунгусских юрт. Инородческие поселения обозначены на соседних реках: Кика (у Ремезова это р. Ика), Баргузин, Верхняя Ангара. Отсутствуют указания на коренных жителей и на р. Иркут, впадающей в Ангару. Сама же р. Селенга с крупными притоками на карте помечена как судоходная, для прохода по ней дощаников.

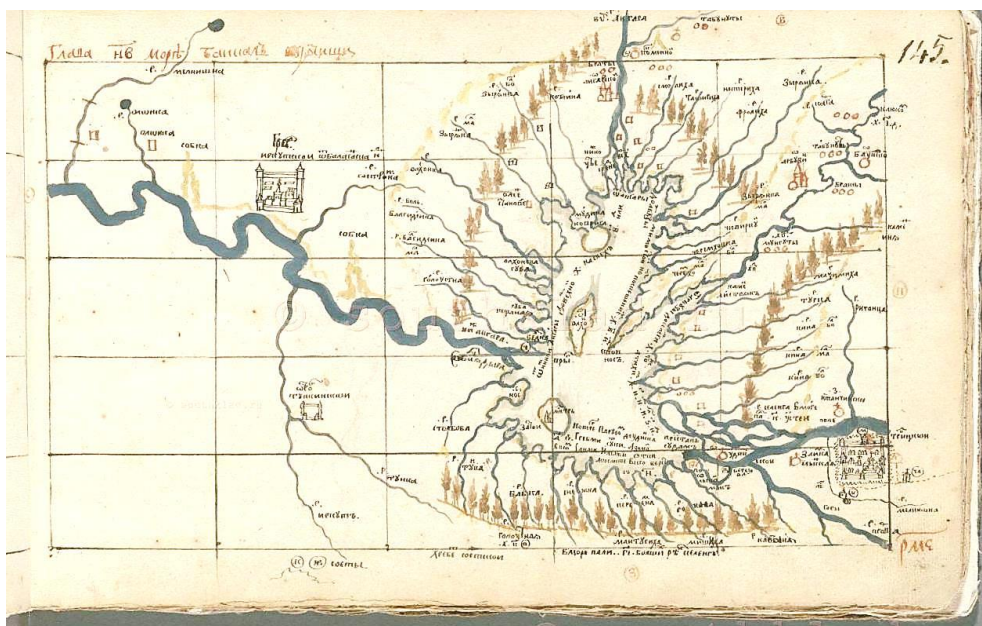


Рис. 2. Копия карты из Хорографической чертёжной книги. Лист 145. Град на море Байкал Енисейск [2]

Всего на территориях, прилегающих к реке, на обеих картах представлено шесть типов поселений (общим числом 19) – это 2 города, 1 острог, 2 села, 1 слобода, 2 монастыря, 9 деревень и 2 заимки. На картах из Чертёжной книги красным цветом обозначены самостоятельные поселения или отдельные объекты, а чёрной краской отмечены объекты, которые относились к одной смысловой группе, например, град и окружающие его дома говорят нам о том, что вокруг города существовала система посадов или слободок. Город (град), в графической трактовке С.Ю. Ремезова, представляет собой населённый пункт, укреплённый оборонительной стеной и рвами, вокруг которого сложилась система малых подворий. В случае с территорией Забайкалья подворья вокруг городских укреплённых стен следует именовать слободками, т. к. их жители в XVI–XVII вв. в основном находились на государственной службе, включая пашенных крестьян [3].

Графические изображения картографа С.У. Ремезова дают возможность визуально оценить планировочные особенности населённых мест. Например, расположение слободок относительно укреплённых городских стен – это всегда юг и восток, за редким исключением западная сторона. С севера территория, прилегающая к защитным стенам городов и острогов, практически не заселялась, поскольку являлась склонами горных хребтов, неудобными для хозяйствования.

Местоположение града Удинского (сегодня это г. Улан-Удэ) указано в устье р. Уды. Образ города здесь представлен двумя казенными постройками в виде вытянутого прямоугольника, окружёнными стенами с пятью башнями. С западной стороны к городским стенам примыкает территория храма,

окружённая рвом с надолбами. Центральный въезд расположен на южной стене и отмечен более крупной надвратной башней. С востока от стены шла сухопутная дорога в верховья р. Уды. Примечательно, что в условных обозначениях Ремезова всегда просматривается различие между проезжими и непроезжими башнями, что позволяет оценить планировочную ориентацию на водный путь. Главные въездные ворота Удинска обращены не на р. Селенгу, которая была основной транспортной артерией этого периода, а на р. Уду (её правый приток). В целом этот город на карте является самым крупным населённым пунктом Забайкалья.

Следующий по значимости г. Селенгинск (сегодня утрачен) указан в устье р. Хилок. Селенга в этом месте отмечена уже как судоходная для малых лодок. Конфигурация городских укреплений отображена в виде равностороннего квадрата с глубокими рвами с севера, востока и юга. Западная стена также имела ров, но без надолбов. Проезжих башен в условных обозначениях указано три. Одна башня на западной стене обращена к р. Селенге, другая башня с воротами выходила на р. Хилок, третья была расположена в юго-восточной части острога и вела в сторону жилой слободы. В статье А.Р. Артемьева «Строительство городов и острогов Забайкалья и Приамурья во второй половине XVII–XVIII веке и типы оборонительных сооружений» отмечено, что укрепление стен Удинска и Селенгинска рвами с надолбами было выполнено в конце XVII в. Примечательно то, что по их расположению можно увидеть, где находился выход к реке и, соответственно, наиболее значимый планировочный элемент – торжище.

Кабанский острог отображен на карте близ устья р. Кабаньей, что соответствует современному местоположению близ с. Кабанск. В отличие от городов, вокруг тыновых стен не указаны посады и слободки. Острог имел всего две башни, обращённые на восток к реке.

Кроме городов и острогов в прибрежной полосе, в Чертёжной книге Сибири показано два крупных поселения без подписи. Расположение первого можно трактовать как Троицкий монастырь, т. к. он расположен на левом берегу напротив устья р. Итанцы. Второе поселение обозначено также на левом берегу, выше по течению между устьями рек Иволга и Оронгой. В обоих случаях условные обозначения включают церкви, окруженные тыновыми стенами с башнями, что указывает на защитные функции мест. В окружении каждого отмечена «россыпь» жилых подворий. В Хорографической карте есть указание только на Троицкий монастырь, второго крупного поселения с церковью в этом районе мы не обнаружили. Возможно, что автор картографического источника не придавал особого значения точной топографической привязке или получил недостоверные сведения, тем не менее нами этот объект условно принят как «Монастырь» с прилегающей обжитой территорией.

Данные о местоположении прибрежных сел и деревень на обоих картографических источниках также разнятся. Поэтому обобщение сведений в итоге выявило 2 села – это с. Посольское и с. Итанчинское. Деревень в этот период насчитывалось 9: Кокорицкое, Кудары, Колесникова, Селенгинская Варница (озёрная). Остальные 5 деревень помечены без наименований (рис. 3). Также С.У. Ремезов отметил на своих картах 2 часовни, одна из них – Ни-

кольская – размещалась в дельте р. Селенги, другая – рядом с Троицким монастырем. На правом берегу от устья р. Чикой показано начало сухопутной дороги, где размещались амбары для караванной торговли с Китаем [4]. В дальнейшем именно в это место был перенесён г. Селенгинск.

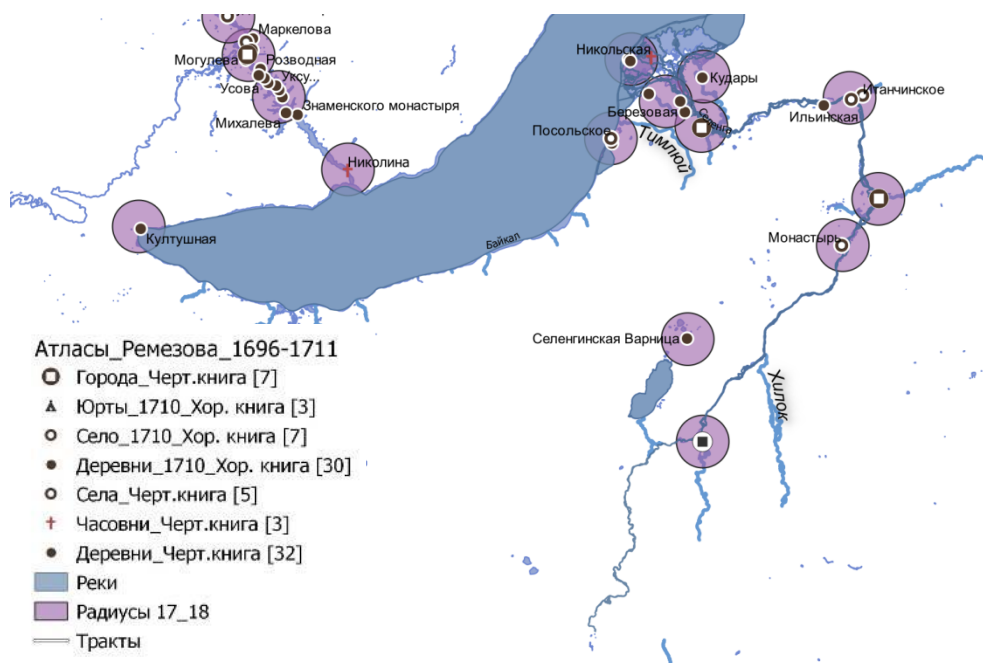


Рис. 3. Схема расселения русских в долине р. Селенги в XVII в., по данным картографических источников С.У. Ремезова. Выполнила О.Г. Литвинова

Отдельное внимание заслуживают поселения на побережье оз. Байкал. На картах С.У. Ремезова здесь присутствует только одно зимовье Култушное и отмечено место, где добывали слюду (сегодня это г. Слюдянка). Южный берег озера в изучаемом районе до конца XVII в. оставался незаселённым.

В конце XVII в. русское население прибрежной полосы проживало в поселениях, которые имели непосредственную связь с Обь-Енисейским водным путём. Планировка крупных населённых пунктов была ориентирована на притоки, впадавшие в р. Селенгу. Более мелкие, такие как сёла, слободки и деревни, размещались вдоль стариц, имеющих сообщение с главной речной артерией. Исключением являлся населённый пункт Селенгинская Варница – это озёрное поселение, где был построен первый солеваренный завод. В целом система расселения в дельте и на юго-западном побережье оз. Байкал состояла из 11 компактных групп поселений, рассредоточенных вдоль реки, преимущественно по левому берегу.

Селенгинская система расселения имела смешанную форму, т. е. в верховьях реки она была дисперсная, а в дельте компактная (рис. 3). Компактные группы поселений располагались на расстоянии от 18 до 30 км между их территориальными центрами (сёлами). Далее, в среднем течении, компакт-

ные группы размещались в дисперсной форме, расстояние между центрами варьировалось от 30 до 50 км. Минимальное расстояние между деревнями, заимками и зимовьями внутри компактных групп варьировалось от 4 до 7 км, что соответствует радиусу взаимодействий поселений в прибрежной системе расселения Обского и Енисейского бассейнов.

Система компактных групп поселений на рубеже XVII–XVIII вв. заложила основной планировочный каркас для дальнейшего расселения русских в Забайкальском регионе. В дальнейшем этот каркас дополнялся новыми группами, но не изменялся принципиальным образом. Характеристика системы расселения была полностью продиктована тремя основными факторами: судоходным ландшафтом реки, наличием удобных земель для земледелия, административно-территориальными потребностями закрепления русских на территории Забайкалья. При этом именно физические характеристики реки, а также расположение радиусов селитебных зон показывают, что крупные административные центры более активно формируют вокруг себя сопутствующие поселения (а значит, имеют предпосылки к экономическому развитию), если они расположены в местах более благоприятного земледелия. Наличие удобной транспортной артерии, плодородие земли в дельте способствовало развитию компактной формы расселения, тогда как в среднем течении развитие системы шло по административной необходимости. Здесь мы наблюдаем дисперсную форму расселения. Ключевыми экономическими точками Селенгинской системы были: с. Посольское – место прибытия судов от р. Ангары, начало водного маршрута по р. Селенге; г. Селенгинск, имевший оборонное значение, здесь размещались государственная таможня, склады для перераспределения товаров по разным направлениям.

XVIII в. – освоение: усиление каркаса системы расселения новыми населёнными пунктами, распределение природных ресурсов

Генеральное межевание, организованное императрицей Екатериной II во второй половине XVIII в., длилось 71 год. Особое внимание получил Сибирский регион, поскольку у Правительства России отсутствовали однозначные данные о его экономическом потенциале. Все имевшиеся сведения базировались на отчётах губернаторов, которые составлялись редко и давали лишь общее представление о территориальном освоении региона. Только в конце XVIII в. [5] межевыми отрядами были проинспектированы наиболее удалённые от правительственного центра территории. Забайкальский край с точки зрения достоверных сведений о населении был обследован и нанесен на карты только в 1797 г. (рис. 4) [6].

Из числа коллекции карт Генерального межевания отдельный интерес представляет план Верхнеудинского округа, где показаны южное побережье оз. Байкал, р. Селенга от устья до границ с Монголией. В картографическом источнике достаточно достоверно показаны конфигурация и характер природного рельефа, что позволяет сопоставить интерпретацию картографических данных с современной топографической ситуацией. Условные обозначения достаточно подробно отображают типологию населённых пунктов, а также характер их взаимосвязей.

Согласно плану транспортная схема Забайкалья в XVIII в. дополнилась новым видом путей сообщения – сухопутными сообщениями. Дороги делились на два типа: просёлочные между поселениями и почтовые между уездами. Отдельно на плане округа показано сообщение, организованное межевым отрядом от ст. Култукской до р. Джиды, в южном направлении от оз. Байкал – оно отмечено как «перспективная колёсная дорога, с целью сокращения пути».

Главная почтовая дорога в конце XVIII в. построена от с. Посольское вдоль левого берега р. Селенги до уже бывшего г. Селенгинска¹ через солеваренные заводы на Гусином озере, затем, пересекая реку в устье р. Чикой, дорога шла по правому берегу в сторону Троицкосавской крепости, расположенной вблизи торговой слободы Кяхта, у северных границ Монголии. Водные пути на карте отдельно не обозначены, однако, по данным Десятого округа путей сообщения, известно, что р. Селенга оставалась главной транспортной артерией для перевозки грузов от рудных и солеваренных заводов Забайкалья (рис. 4) [7].

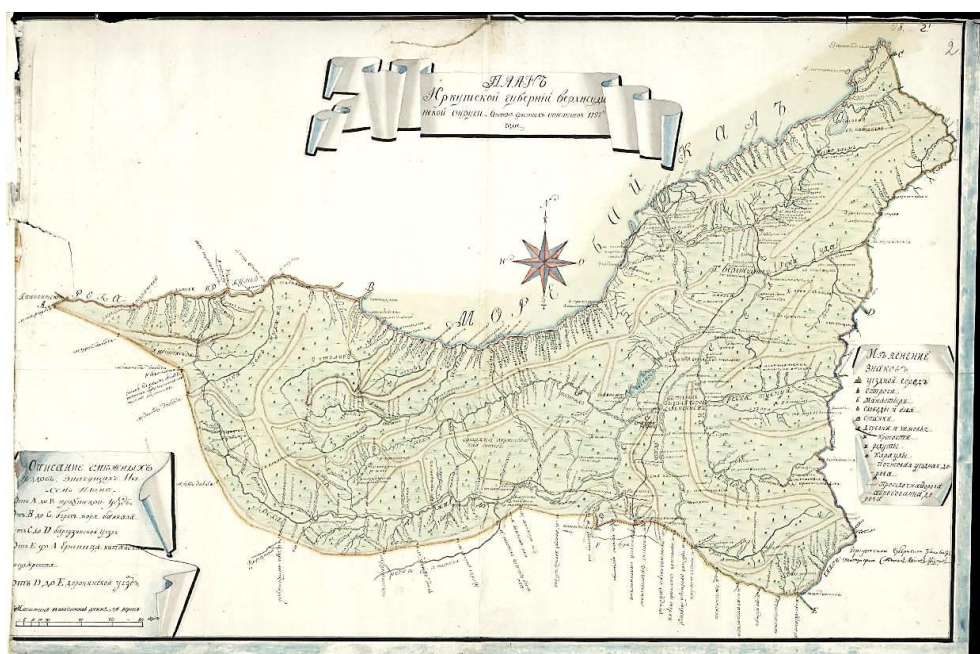


Рис. 4. План Иркутской губернии Верхнеудинского округа (карты Генерального межевания) 1797 г. Масштаб 20 верст в дюйме. План сочинен с разных описаний в 1797 г.

В системе расселения за столетний период значительно увеличилось количество поселений. На плане Верхнеудинской округи в конце XVIII в. зафиксированы места проживания селенгинских бурят и их культовые места. Напомним, что в конце XVII – начале XVIII в. картограф С.У. Ремезов на сво-

¹ Город Селенгинск был перенесён на противоположный берег из-за природно-климатических факторов, которые снижали качество проживания горожан.

их картах не стремился отобразить полную картину расселения жителей Забайкалья, а ограничился обозначением русских острогов и деревень.

Окружной град Удинский на обновленной карте сменил свое название, здесь он именуется как Верхнеудинской. Селенгинск обозначен как «Прежде бывший город Селенгинск». Кабанский острог сохранил свой административный статус, а вот заимка Ильинская отмечена как острог Ильинский. В устье р. Чикой стоит указание на новую Петропавловскую крепость, вблизи деревни Стрелка (оседлые буряты) [8]. В начале XVIII в. основаны Кяхтинская торговая слобода на границе с Монголией, а в 4,5 км от неё – Троицкосавская крепость. Особенностью слободы являлось то, что она была укреплена острожной стеной и рвами с 6 бастионами, это само по себе выделяло её из общей типологии [9].

В системе малых поселений к концу XVIII в. были сформированы классические типы русских селений – монастырь, село, деревня, заимка, зимовье. Типологическую линейку малых поселений Забайкалья выделил факт сохранения слобод (рис. 5). В Западной и Восточной Сибири к этому моменту они уже были переведены либо в деревни, либо в села.

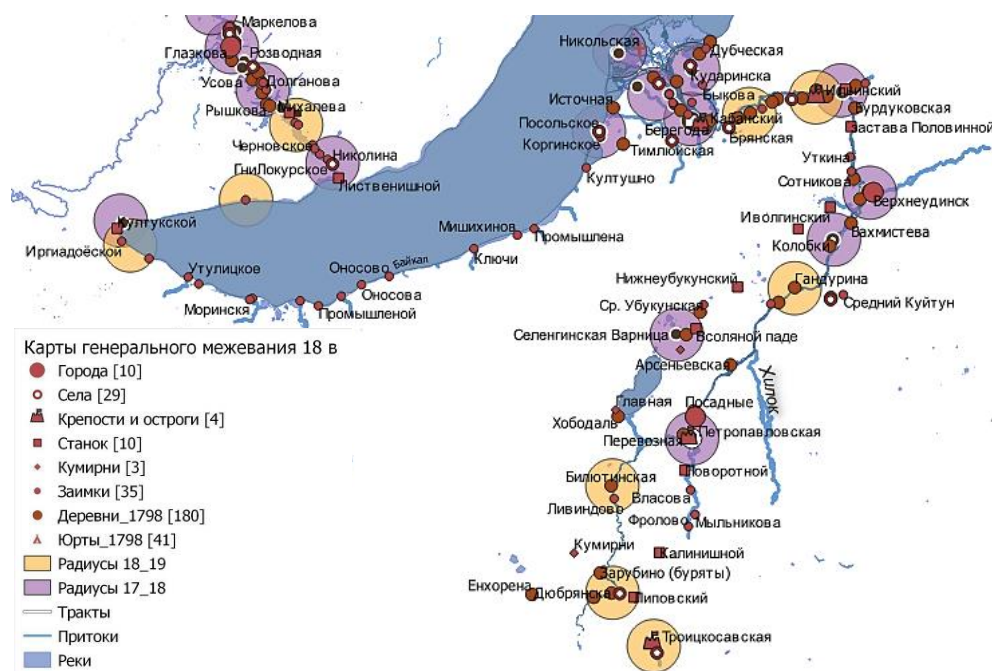


Рис. 5. Схема расселения русских в долине р. Селенги в XVIII в., по данным карт Генерального межевания. Выполнила О.Г. Литвинова

Вдоль реки, на сухопутной Кяхтинской дороге, построены станции (или станки) как самостоятельные жилые локации. Позднее большая их часть преобразовалась в полноценные поселения. Ещё одной особенностью является отображение на карте буддийских кумирней – моленных, при этом с указанием их статуса. Сейчас эти культовые места называют дацанами, и они также

по смыслу относятся к понятию населённый пункт, т. к. при культовой постройке всегда формировались жилые зоны.

Южное побережье оз. Байкал оставалось недоступным для сухопутных почтовых и грузовых перевозок. В середине XVIII в. здесь фиксируется «россыпь» промысловых зимовий, располагавшихся в устьях мелких речек и ручьёв. Только на западном побережье зимовье Култушное было преобразовано в станцию. Отсутствие сухопутной дороги вдоль южного побережья озера подтверждают труды многих исследователей XVIII столетия [10].

Всего в конце XVIII в. на территории Забайкальского региона, в прибрежной полосе Селенги, оз. Байкал и оз. Гусиное, насчитывалось 11 типов поселений: 2 города, 2 острога, 2 крепости, 1 село, 2 монастыря, 7 слобод, 10 станций, 36 деревень, 35 зимовий и заимок, 3 кумирни. Всего 100 населённых пунктов. Относительно XVII в. число поселений увеличилось в пять с половиной раз (рис. 5).

Населённые пункты Селенги сформировали 18 компактных групп расселения. Две группы, сформированные в XVII в., исчезли – это монастырское поселение на левом берегу Селенги у о. Опалиха (на его месте в XVIII в. отмечена д. Колобки) и группа деревень в дельте реки, у основного русла. Возникло 7 новых групп селений, из них 4 выше по течению реки, ближе к границе с Монголией. Качественным отличием новых групп является их преимущественная ориентация не на водную артерию, а на сухопутные транзиты, т. к. стала активно развиваться караванная сухопутная торговля. Из 8 сёл и слобод планировочную связь с рекой имели только три, а из 36 деревень только 9 имели прямой выход к реке. Прочие деревни по планировочной структуре относились к трактовым поселениям линейного типа, их функциональная модель была ориентирована на гужевые перевозки, животноводческие и земледельческие хозяйства.

Важно понимать, что русские поселения основывались на землях селенгинских бурят. Так же, как и в Обском бассейне, первые русские поселенцы должны были привнести особенности своего жизненного уклада в уже существующую систему землепользования. Коренные народы Забайкалья на тот момент распределялись на четыре основные группы по виду хозяйственной деятельности. Первая, самая многочисленная, группа вела полностью кочевой образ жизнедеятельности, вторая – полукочевой. Обе группы постоянно перемещались и занимали достаточно обширные угодья, предназначенные для пастбищ и сенокосов. Третья группа вела полуседлый образ жизни – в их вид хозяйственной деятельности, помимо скотоводства, частично включалось и земледелие. Жизненный уклад четвёртой группы – селенгинских бурят – практически ничем не отличался от русского населения. До середины XIX в. эта группа была крайне незначительной, всего два населённых пункта: Зарубина и Стрелка [11].

Пространственное расположение компактных групп, а также их внутренняя иерархия и структура практически ничем не отличались от прибрежных систем расселения Обского и Енисейского бассейнов. Радиус социокультурного, экономического и политического взаимодействия между деревнями, заимками и зимовьями равнялся 4–5 км, а между малыми поселениями и сёлами (центрами компактных групп) – в среднем 8–9 км. Промысловые заимки

на южном побережье Байкала были расположены друг от друга на расстоянии от 6 до 16–19 км.

Территория Забайкалья в XVIII в. получила государственную границу, закреплённую в Кяхтинском договоре 1727 г. [12]. К этому моменту каркас системы расселения уже усилился новыми компактными группами, которые формировались в основном по политическим и торговым предпосылкам. Именно вопросы геополитики XVIII в. способствовали возникновению двух новых крепостей и укреплённой торговой слободы в пограничной зоне.

Торговые договоренности России и Китая стали главной и прочной основой для развития русской системы расселения и значительно преобразовали её. Новые группы селений формировались по двум видам транспортных путей сообщения, предпочтение вновь прибывших отдавалось сухопутному тракту, т. к. можно было заниматься гужевым извозом. Промышленность в регионе развивалась локальными зонами и не оказывала значительного влияния на каркас расселения, однако солеваренные заводы и каторжная ссылка давали пусть и незначительный, но стабильный прирост населения. Создание чайного торгового пути стало ключевым фактором формирования новых селитебных зон. Отметим, что на протяжении всего Обь-Енисейского водного пути именно Забайкалье стало единственным регионом, где интенсивное развитие системы расселения наблюдается уже в начале XVIII в.

XIX в. – развитие: закрепление системы расселения, интенсивное освоение природных ресурсов, уплотнение компактных групп

На рубеже XVIII–XIX вв. значимым с точки зрения развития системы расселения региона должен был стать указ императора Николая I о переселении жителей внутренних губерний из центральной части России в Забайкалье. Главным побудительным мотивом являлась потребность в снижении стоимости хлебных запасов, которыми государство продолжало снабжать промышленные и пограничные территории юга Восточной Сибири. Кроме этого, требовалось увеличить число русского населения на земле бурят, тем самым укрепляя границы государства. Переселенческая кампания началась в 1801 г., планировалось переселить 10 000 крестьян, отставных солдат и подозреваемых в совершении легких преступлений. Согласно указу, для первых 2000 поселенцев за государственный счет необходимо было построить дома на 30 десятинах земли (30 га) для каждой семьи, снабдить посевным материалом, скотом, инструментарием, одеждой, обеспечить полное довольствие на период переезда. В течение 6 лет за Урал было отправлено 11 745 душ, но большая их часть остановилась в Тобольской и Томской губерниях. Предположительно погибло в пути 1315 душ. До Иркутской губернии смогли дойти чуть более полутора тысяч человек. В итоге к 1806 г. в Забайкалье расселились только 236 семей. Места для расселения были выкуплены у хоринских бурят в долине р. Ингоды [13]. В указах императора также есть указания на принципы расселения, согласно которым необходимо было учитывать особенности вероисповедания, например, представителей католической веры нужно было селить в одной деревни. Лиц, подозреваемых в преступлениях, нельзя было размещать близко к границам государства, т. е. между поселени-

ями преступников и границей обязательно нужно было размещать крестьянские деревни. Как видно из источника, вопрос о наращивании ресурсного потенциала региона стал актуальным уже в конце XVIII в.

Объём картографических источников XIX в. значительно обширнее предыдущего века, он позволяет отследить преобразование системы русских поселений более подробно. В этот период были созданы статистические источники данных о природных ресурсах, численности населения и хозяйственном освоении Сибири, что дополняет исследования конкретными фактами.

Типология поселений на картах начала XIX в. фиксирует результаты проведенной Губернской реформы 1775 г. Екатерины II. Здесь впервые уже фиксируются губернские и заштатные города, система малых поселений показана с большей тщательностью и достоверностью. Начальный этап процесса оседлости коренных жителей Забайкалья продемонстрирован в новых условных обозначениях, что говорит о начале интенсивного освоения региона коренными жителями. Например, на карте Байкала 1806 г. [14] указаны стойбища селенгинских бурят. Достоверно нанесены новые деревни Дворец, Ньюки, Быкова, Шергина, Фофонова. Деревня Архангельская переименована в станок Тараканов, что говорит как о прямом (новая станция служила началом поселения), так и обратном процессе формирования поселений на путях сообщения. В первой половине XIX в. каркас системы расселения базировался в основном на водном пути от Кяхты до Байкала, но дублирующая его сухопутная дорога также имела значение для развития селитьбы. Ссылные поселенцы прибывали в регион достаточно системно, определёнными партиями, и расселялись в узкой полосе береговой линии, между Селенгой и Кяхтинской дорогой, что позволяло жителям участвовать в обслуживании торговых караванов на обоих видах транспортного сообщения. Например, в деревне Колесникова размещались купеческие верфи для перегрузки товаров с речных судов на более крупные для оз. Байкал, летом перегружали товары с сухопутных подвод на суда. Более важным транспортным узлом служил Посольский монастырь на побережье залива Прорва, где размещались судоверфь, затон для зимовки судов и пристань. Слобода Усть-Кяхта также служила своеобразным логистическим центром. Выше по течению речные грузовые суда не могли войти в сужающееся русло реки, поэтому товары перегружали в повозки. От монгольской границы до села Усть-Кяхта дорога практически не покрывалась снегом в зимние месяцы, поэтому караваны должны были с колёсных подвод перегружать товары в сани и далее следовать по льду реки.

Первая половина XIX в., в статистических и картографических источниках, отмечена приростом малых поселений в дельте р. Селенги. Как на правом, так и на левом берегу формировались новые селитебные компактные группы. При этом правый берег дельты в большей степени заселяли буряты, на левый селились переселенцы из Польши, Украины и внутренних губерний центральной части России.

Следующая карта Восточной Сибири 1859 г. [15] отображает промежуточный этап заселения прибрежной зоны р. Селенги. Нанесены основные транзитные пункты, впервые появляется слобода Твороговская. Ильинский острог отмечен как село. Город Селенгинск расположен на левом берегу, напротив

устья р. Чикой, в том месте, где находится сегодня п. Новоселенгинск. Но из статистических данных и отчётов путешественников становится ясно, что Селенгинск находился только в начале переселения. Троицкосавская крепость приобрела статус уездного города, при этом Кяхта оставалась торговой слободой в приграничной зоне Монголии, напротив поселения Маймачин.

Следующая карта Забайкалья 1893 г. [16] была составлена по распоряжению министра внутренних дел и отличается высоким качеством топографической съёмки, но классификация населённых пунктов показана без детализировки. Единственная типологическая градация – деревня, волостной центр и город. Частично отмечены главные монастыри ламаистов. Совсем отсутствует такой вид поселения, как стойбище, хотя к концу XIX в. число оседлых бурят увеличилось значительно и примерно равнялось числу русских поселений. На месте станций почтового тракта уже образовались деревни с одноимённым названием. В редких случаях эти названия изменялись.

Более информативная карта была обнаружена в фондах Краеведческого музея Красноярского края – карта оз. Байкал (10 в.) 1896 г., фонд ОФ 11811/26 КМКК. По сути, это фиксационный план, позволяющий понять многообразие форм хозяйственной жизни региона. Данные этой карты показаны на схеме расселения (рис. 6).

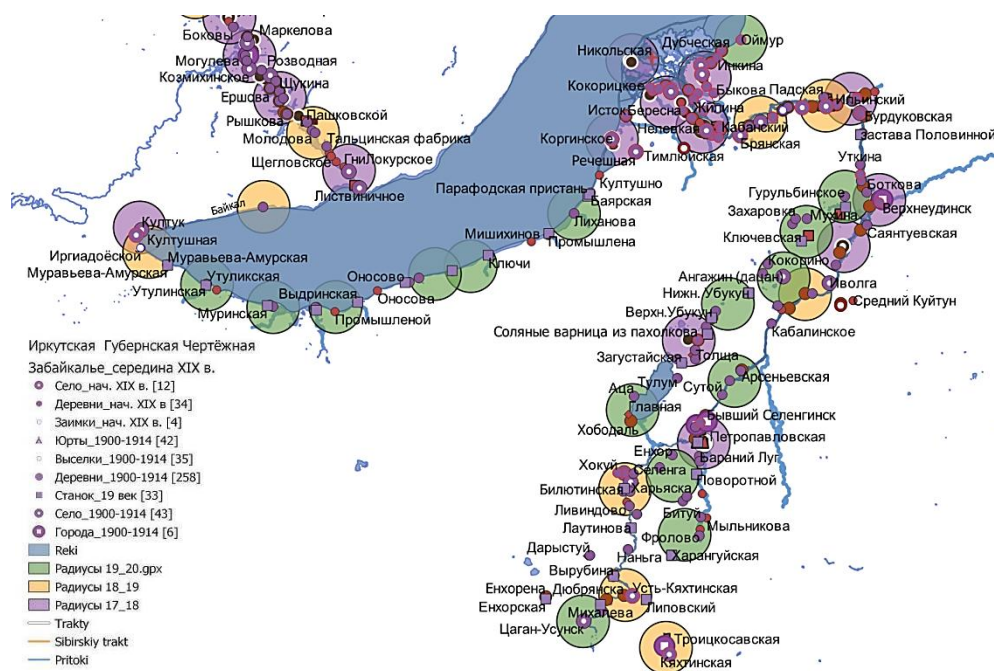


Рис. 6. Схема расселения русских в долине р. Селенги в XIX в. по данным картографических источников: Атлас Российской Империи (1823–1890); Карта губерний и областей Российской Империи, по которым пролегает намеченная высочайшей волей Сибирская железная дорога; Карта Байкала, моря, озера, или Ангарского провала в Иркутской губернии, состоящего, со всеми его окружностями, который математическим измерением окончен и приведен в совершенную известность в 1806 г. Выполнила О.Г. Литвинова

Город Селенгинск отображен в его более достоверной переходной стадии, когда старый город уже был упразднен и на старом месте оставалось незначительное количество жилых дворов. Слободки получили статус сел. На карту уже нанесены сухопутные дороги, которые были опробованы землемерами в период проведения генерального межевания, а промысловые зимовья вдоль южного побережья Байкала реорганизованы в станции на Сибирском тракте. Примечательно, что на карте зафиксированы бурятские поселения с учётом их статусов: Селенгинская степная Дума, Кударинская степная Дума, стойбища и улусы.

Большой вклад в изучение территории Забайкальского региона внесли известные путешественники и члены Русского географического общества. Из описаний их эмпирических наблюдений мы узнаём, что в 60-х гг. XIX столетия значительный прирост мелких населённых пунктов происходил за счёт ссыльных поляков, старообрядцев и каторжан. При этом ими отмечается, что именно поляки внесли значительный вклад в сельскохозяйственное освоение долины Селенги [17, 18].

Таким образом, с учетом взаимодополняющих сведений картографических источников XIX в. была воссоздана полная картина системы расселения, выявлена типологическая линейка населённых пунктов, определены новые группы селитебного каркаса побережья оз. Байкал и р. Селенги (рис. 6).

Экономические центры Селенгинской системы расселения XIX в. изменили свое стратегическое местоположение. Город Селенгинск окончательно покинули жители, переселившись в заштатный город Новоселенгинск, а крепость Троицкосавская стала именоваться уездным городом. Свой изначальный статус уездного центра сохранил только Верхнеудинск из-за наиболее выгодного расположения на пересечении транспортных путей сообщения. В середине века оборонительные крепости Кабанская и Петропавловская, Ильинский острог были упразднены, став провинциальными селами.

Строительство колесного тракта вдоль берега Байкала увеличило число почтовых станций (на 12), которые разместили на расстоянии 15 км друг от друга. Десять станций из двенадцати заняли место бывших промысловых зимовий. Как и в других частях Сибирского региона, строительство Транссибирской железнодорожной магистрали стало не только мощным экономическим рывком для развития Забайкалья, но и в корне изменило политику организации транспортной системы. Развитие получили в первую очередь подъездные пути, необходимые для доставки строительных материалов, а значит, и существовавшая система поселений была включена в этот процесс.

Кругобайкальскую железную дорогу проложили по линии сухопутного тракта, а упомянутые выше 12 прибайкальских станций были реорганизованы в железнодорожные. Планировочная структура новых станций полностью изменила схему селитебных зон на побережье, сохранив только их исторические наименования.

Селенгинская система расселения в XIX в. включала 10 основных типов поселений: 3 города, 24 села, 1 слободу, 116 деревень, 33 станции, 1 монастырь, 1 выселок, 1 стойбище, 4 заимки, 8 храмов. Всего 192 населённых пункта. Исключительно на сухопутном тракте располагались 34 деревни, ко-

торые не имели прямого доступа к водным путям. Функциональная модель этих поселений, заложенная в XVIII в., не изменилась. Основу хозяйственной деятельности составляли гужевые перевозки, земледелие и скотоводство. Соответственно зона жилых подворий имела линейную структуру с однорядным расположением застройки (согласно правилам землеустройства). К деревне относились земли для выгона скота, и, если это позволял ландшафт, организовывались участки для посадки зерновых культур. На расстоянии не менее 400 саженей от жилых дворов устраивалось кладбище, а также кузни и гумна. Исключениями здесь являются поселения селенгинских бурят, их центральные стойбища, где размещался совет старейшин родов. Среди традиционных жилищ (войлочных и деревянных юрт) здесь организовывались центральная и рыночные площади с необходимым набором каменных казённых зданий, для условного соответствия статусу заштатного города, но при этом данные поселения сохраняли статус деревни.

Расположение в пойме крупных и мелких притоков характерно для 37 деревень, большая их часть сконцентрирована в дельте. Планировка этих поселений имеет более компактную структуру со свободным принципом размещения застройки. Характерна обязательная планировочная связка с выездом к пристани. Остальные 107 малых поселений расположены в прибрежной полосе Селенги. Из общего числа 24 сел 8 размещались в прибрежной полосе, остальные по планировочной и функциональной модели относились к сухопутному тракту.

Каркас Селенгинской системы расселения в конце XIX – начале XX в. был дополнен осью Кругобайкальской железной дороги, акцентировавшей транспортные узлы, расположенные в нижнем течении реки. Чайная торговля, с одной стороны, усилила обороты за счёт более скоростного вида транспорта, а с другой – снизила себестоимость провоза грузов. По той же причине государственная таможня была перенесена в г. Иркутск, что и отразилось на статусе Кяхтинской слободы и г. Троицкосавска, которые стали обычным пунктом по перегрузке товаров.

Экономический центр региона снова сместился и уже навсегда закрепился за г. Верхнеудинском (ныне г. Улан-удэ). Верхнеудинская группа поселений уплотнилась, на ее окраинах в пойме рек Уды и Селенги появились новые деревни. Структура всей системы расселения дополнилась новыми 16 компактными группами поселений. Организованы они были за счет трактовых и железнодорожных станций – добавилось 10 селитебных зон. Поселения оседлых бурят сформировали 3 новые группы, и ещё 3 группы возникли за счёт русских переселенцев. Большое количество сел и деревень создавалось на территориях уже существовавших компактных групп, т. е. система уплотнялась. Новые компактные группы создавались в тех частях системы, где она имела дисперсную форму. Таким образом, эволюция заключалась в уходе от распределенной пространственной структуры к более компактной и, соответственно, более удобной.

Заключение

Сравнительный анализ данных по приросту селитебных участков наглядно демонстрирует стабильное поступательное развитие системы рассе-

ления. Относительно XVII в. число русских поселений в XVIII в. выросло более чем в 5 раз, а в XIX в. – более чем в 10 раз. На протяжении 300 лет типология видоизменялась, как правило, по административным причинам. Территориальные правительственные реформы преобразовали иерархическую структуру системы, возникали новые функциональные модели губернских и уездных городов, но малые поселения оставались неизменной единицей, т. к. составляли самую стабильную компоненту расселения, приносящую продовольственную и территориальную безопасность региону.

Наибольшее увеличение числа деревень происходило в периоды крупных переселенческих компаний, их количество стремительно выросло именно в XIX в. Также значительный прирост произошел в системе волостных сел, здесь фиксировалось три основных процесса: села возникали на основе упразднения статусов слободы, острогов и крепостей; по причине торгово-ремесленного развития деревни (увеличения численности населения); создания новых бурятских административных поселений.

Как и в соседних сибирских областях, эволюция системы расселения имела характерную прямую зависимость от наличия транзитных путей сообщения, но в отличие от Западной и Восточной Сибири никогда не подвергалась переустройству. В Забайкалье водный и сухопутные пути сообщения дублировали друг друга. Даже Кругобайкальская железная дорога, а в последующем железная дорога в Монголию также дублировали главную водную артерию. Поэтому в регионе не наблюдалось процессов стагнации или деградации ее отдельных районов, например, как это происходило на Обь-Енисейском водоразделе в результате строительства Транссибирской магистрали [19]. Активный прирост населённых пунктов здесь снизил темпы только в момент сокращения торговых оборотов с Китаем и с последующей Гражданской войной.

Ключевым фактором, стимулирующим развитие системы расселения в прибрежной полосе р. Селенги, являлась караванная торговля чаем между Россией и Китаем.

Вторым важным фактором увеличения числа селитебных зон следует принять переселенческие кампании, которые способствовали формированию своеобразных «колоний». Половину всех ссыльных поселенцев составили поляки и малороссы, которые заметно изменили сельскохозяйственный уклад забайкальской деревни, привнося собственные технологические и агротехнические особенности освоения земли. В системе расселения заметное место занимали коренные жители Забайкалья, которые в середине XIX в. приняли совершенно новый для себя образ жизни, организовав собственные селения, при этом полностью сохранив самобытность культурных традиций. Пожалуй, это один из немногих регионов Сибири, где коренной народ сохранил свою многочисленность, культуру и традиции. Особенностью является то, что русские поселенцы пришли на территорию, где, по сути, не существовало закреплённой системы расселения, только ареалы родовых кочевий. При этом процесс закрепления бурят на земле осуществлялся уже по образу русской модели расселения.

В заключение стоит выделить главные факторы и особенности развития Селенгинской береговой системы расселения, которые приведены в порядке убывания значимости:

- геополитические мотивы закрепления государственной границы России;
- торгово-экономические отношения между Россией, Монголией и Китаем;
- увеличение темпов добычи природных ресурсов;
- внутренняя продовольственная безопасность;
- развитие транспортной системы региона.

Особенности береговой системы расселения можно перечислять с разных научных позиций, но с точки зрения градостроительства наиболее важны типологические характеристики. Для Селенгинской системы характерны кросскультурные отношения между двумя основными группами национальностей. Если в Западной и Восточной Сибири система русских поселений внедрялась в структуру расселения коренных жителей и вытесняла их [20], то в Забайкалье кочевым народам пришлось, наоборот, создавать свои поселения в уже существовавшей системе или включаться в неё отдельными группами. Характерной особенностью являются культовые места бурят, их монастыри с достаточно большим числом жителей. Здесь наблюдается их явное преобладание над православными, и эта тенденция не менялась на протяжении всего изучаемого периода.

Особенностью следует считать идентичность принципов организации селитебных зон (как в Обском и Енисейских бассейнах) – расположение селений компактными группами с учётом иерархической модели русских поселений на основе радиусов взаимосвязей.

В целом Селенгинская система расселения развивалась в сторону поступательного увеличения числа деревень и сел без периодов стагнаций, чем и выделяет эту часть Обь-Енисейского водного пути относительно Обской, Енисейской и Ангарской систем расселения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ремезов С.У. Чертёжная книга Сибири 1701 г., составленная 1699–1700 гг. С.У. Ремезовым и его сыновьями. Москва : Рипол Классик, 2013. С. 39–40.
2. Ремезов С.У. Хорографическая чертежная книга Сибири Семёна Ульяновича Ремезова. Тобольск : Обществ. благотворит. фонд «Возрождение Тобольска», 2011. 690 с. Факсим. изд. рукописи «Хорографической чертежной книги Сибири» С.У. Ремезова. Напечатано в типограф. Grafiche Stella, Италия.
3. Слобода // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.). Санкт-Петербург, 1890–1907.
4. Артемьев А.Р. Строительство городов и острогов Забайкалья и Приамурья во второй половине XVII–XVIII веков и типы оборонительных сооружений // Отечественная история. 1998. № 5. С. 140–147.
5. Исторический взгляд на межевание в России до 1765 г. Санкт-Петербург, 1844.
6. План Иркутской губернии Верхнеудинского округа (карты Генерального межевания) 1797 г. Масштаб 20 верст в дюйме. План сочинен с разных описаний в 1797 году.
7. Баккаревич М.Н. Статистическое обозрение Сибири. Санкт-Петербург : Типография Шнора, 1810. С. 333.
8. Море Байкал с частями рек Лены, Аргуни, Селенги и Ангары с около лежащими уездами. 1772. Полное название карты: «Море Байкал с частями рек Лены, Аргуни, Селенги и Ангары с около лежащими уездами». Вырезал карту гравёр А. Медведев. Сочинил

- карту титулярный советник, адъютант Петербургской Академии наук Иван Фомич Трускотт. Масштаб 50 верст в дюйме.
9. *Бантыш-Каменский Н.Н.* Дипломатическое собрание дел между Российским и Китайским государствами с 1619 по 1792-й год: Сост. по документам, хранящимся в моск. арх. Гос. коллегии иностр. дел. Изд. в память истекшего 300-летия Сибири В.Ф. Флоринским. Казань, 1882. С. 156–165.
 10. *Риттер К.* Землеведение Азии: география стран, находящихся в непосредственных сношениях с Россией, т. е. Китайской империи, Независимой Татарии, Персии и Сибири / перевод по поручению Русского географического о-ва с доп., служащими продолжением Риттерова труда для материалов, обнародов. с 1832 г. и сост. П. Семеновым, д. чл. Русского геогр. о-ва. Санкт-Петербург : Типография Имп. акад. наук, 1856–1874. Т. 5. Вып. 1: Восточная Сибирь: озеро Байкал и прибайкальские страны, Забайкалье и степь Гоби / текст Риттера ; пер и изд. по поручению Русского геогр. о-ва, под руководством П. Семенова. 1879. [4] VI, II. С. 108.
 11. *Бадмаев А.А.* Жилищно-поселенческий комплекс селенгинских бурят во второй половине XIX – начале XX века // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: История. Филология. 2012. Т. 11. №. 3. С. 348–354. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/zhilishchno-poselencheskii-kompleks-selenginskih-buryat-vo-vtoroy-pолоvine-xix-nachale-xx-veka> (дата обращения: 25.10.2020).
 12. *Русско-китайские отношения.* 1689–1916. Официальные документы. Москва : Изд-во восточной литературы, 1958. 138 с
 13. *Санкт-Петербургский журнал* / Изд. М-ва внутр. дел. Санкт... копии: ПБ 1806, № 12 (дек.). Мед. тип., 1806. С. 27–59.
 14. *Байкал на карте начала XIX века.* Оригинальное название: «Карта Байкала, моря, озера, или Ангарского провала в Иркутской губернии состоящего, со всеми его окружностями, который математическим измерением окончен и приведен в совершенную известность в 1806 году». Масштаб 20 верст в дюйме, 1814.
 15. *Подробный атлас Российской Империи* был составлен Никитой Ивановичем Зуевым (1823–1890), картографом и писателем, по поручению Господина министра Народного просвещения в 1860 году. Атлас содержит топографические и гидрографические карты России, карты губерний и областей с изображением их гербов, генеральные политические карты азиатской и европейской частей России, а также карту киргизских степей.
 16. *Карта губерний и областей Российской Империи*, по которым пролегает намеченная высочайшей волей Сибирская железная дорога.
 17. *Риттер К.* Землеведение Азии: география стран, находящихся в непосредственных сношениях с Россией, т. е. Китайской империи, Независимой Татарии, Персии и Сибири / пер. по поручению Русского географического о-ва с доп., служащими продолжением Риттерова труда для материалов, обнародов. с 1832 г. и сост. П. Семеновым, д. чл. Русского геогр. о-ва. Санкт-Петербург : тип. Имп. Акад. наук, 1856–1874. Т. 5. Вып. 1 : Восточная Сибирь: озеро Байкал и прибайкальские страны, Забайкалье и степь Гоби / текст Риттера; пер. и изд. по поручению Русского геогр. о-ва, под руководством П. Семенова, 1879. [4], VI, II. 477 с.
 18. *Литвинова О.Г.* История инженерных изысканий на водных путях Сибири // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов : Грамота, 2015. № 3. Ч. 3. С. 111–116.
 19. *Litvinova O.* Retrospective of Settlement Scheme Formation in Coastal Zone of Ob-Yenisei Waterway in 18th and 19th Centuries: The 2nd International Conference on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations (АНТИ 2020). 2020. DOI <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200923.062>
 20. *Литвинова О.Г.* Формирование антропогенного ландшафта в прибрежной зоне Обь-Енисейского водного пути XVIII–XIX вв. (Обской бассейн) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 5. С. 53–61. DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-5-53-61.

REFERENCES

1. Remezov S.U. Chertyozhnaya kniga Sibiri 1701 g., sostavlennaya 1699–1700 gg., S.U. Remezovym i ego synov'yami [Drawing book of Siberia 1701, compiled by Remezov and his sons in 1699–1700]. Moscow: Ripol Klassik, 2013. Pp. 39–40. (rus)
2. Remezov S.U. Horograficheskaya chertezhnaya kniga Sibiri Semena Ul'yanovicha Remezova [Chorographic drawing book of Siberia by Semyon Remezov]. Tobol'sk, 2011. 690 p. (rus)
3. Sloboda. Enciklopedicheskij slovar' Brokgauza i Efrona [Brockhaus and Efron Encyclopedic Dictionary], in 86 vol. Saint-Petersburg, 1890–1907. (rus)
4. Artem'ev A.R. Stroitel'stvo gorodov i ostrogoz Zabajkal'ya i Priamur'ya vo vtoroj polovine XVII–XVIII veke i tipy oboronitel'nyh sooruzhenij [Construction of towns and prisons in Transbaikalia and the Amur Region in the 17–18th centuries]. In: *Otechestvennaya istoriya*. 1998. No. 5. Pp. 140–147. (rus)
5. Istoricheskij vzglyad na mezhevanie v Rossii do 1765 g [Historical view on boundary settlement in Russia till 1765]. Saint-Petersburg, 1844. (rus)
6. Plan Irkutskoj gubernii Verkhneudinskogo okruga (Karty General'nogo mezhevaniya) 1797 g. Masshtab 20 verst v dyujme. Plan sochinen s raznyh opisaniy v 1797 godu [Plan of Irkutsk province of the Verkhneudinsk district (general boundary maps) in 1797. The plan was composed in 1797 with different descriptions]. (rus)
7. Bakkarevich M.N. Statisticheskoe obozrenie Sibiri [Statistical review of Siberia]. Saint-Petersburg: Tipografiya Shnora, 1810. P. 333. (rus)
8. Medvedev A. More Bajkal s chast'mi rek Leny, Arguni, Selengi i Angary s okolo lezhashchimi uezdami [The Baikal sea with parts of the rivers Lena, Argun, Selenga and Angara with near counties]. (rus)
9. Bantysh-Kamensky N.N. Diplomacheskoe sobranie del mezhdru Rossijskim i Kitajskim gosudarstvami s 1619 po 1792 [Diplomatic collection of cases between Russian and Chinese states from 1619 to 1792]. Kazan, 1882. Pp. 156–165. (rus)
10. Ritter K. Zemleveden'e Azii: geografiya stran, nahodyashchih'sya v neposredstvennyh snosheniyah s Rossiej, t.e. Kitajskoj imperii, Nezavisimoj Tatarii, Persii i Sibiri [Land management in Asia: geography of countries in direct relations with Russia, i.e. the Chinese Empire, Independent Tatarstan, Persia and Siberia]. 1879. P. 108. (rus)
11. Badmaev A.A. Zhilishchno-poselencheskij kompleks selenginskih buryat vo vtoroj polovine xix-nachale XX veka [Housing and settlement complex of Selenga Buryats in the 19–20th centuries]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Istoriya. Filologiya*. 2012. V. 11. No. 3. Pp. 348–354. (rus)
12. Russko-kitajskie otnosheniya 1689–1916 [Russian-Chinese relations in 1689–1916]. Moscow: Izdatel'stvo vostochnoj literatury, 1958. 138 p. (rus)
13. *Sankt-Peterburgskij zhurnal*. 1806. No. 12. Pp. 27–59. (rus)
14. Karta Bajkala, morya, ozera, ili Angarskogo provala v Irkutskoj gubernii sostoyashchego, so vseimi ego okruzhnostyami, kotoryj matematicheskim izmereniem okonchen i priveden v sovershennuyu izvestnost' v 1806 godu [Map of Baikal, sea, lake, or Angarsk sinkhole in the Irkutsk province, with all its circles, which is mathematically complete and brought to perfect map in 1806]. 1814. (rus)
15. Podrobnij atlas Rossijskoj Imperii byl sostavljen Nikitoj Ivanovichem Zuevym (1823–1890), kartografoj i pisatelem, po porucheniju Gospodina ministra Narodnogo prosveshcheniya v 1860 godu [A detailed atlas of the Russian Empire compiled by Nikita Ivanovich Zuev (1823–1890), a cartographer and writer, by order of the Minister of National Education in 1860]. (rus)
16. Karta gubernij i oblastej Rossijskoj Imperii, po kotorym prolegaet namechennaya vysochajshej volej Sibirskaya zheleznaya doroga [Map of provinces and regions of the Russian Empire, on which the Siberian Railway is planned by the highest will]. (rus)
17. Ritter K. Zemlevedenie Azii: geografiya stran, nahodyashchih'sya v neposredstvennyh snosheniyah s Rossiej, t. e. Kitajskoj imperii, Nezavisimoj Tatarii, Persii i Sibiri [Geology of Asia: geography of countries in direct relations with Russia, i.e. the Chinese Empire, the Independent Tataria, Persia and Siberia]. 1879. 477 p. (rus)
18. Litvinova O.G. Istoriya inzhenernykh izyskaniy na vodnykh pu-tyakh Sibiri (konets XVIII–XIX v.) [The history of engineering surveys on Siberian water-ways]. In: *Istoricheski-*

- ye, filosofskiye, politicheskiye i yuridicheskiye nauki. *Kulturologiya i iskusstvovedeniye. Voprosy teorii i praktiki*. 2015. No. 3–3 (53). Pp. 111–116. (rus)
19. Litvinova O.G. Retrospective of settlement scheme formation in coastal zone of Ob-Yenisei waterway in the 18–19th centuries. *Proc. 2nd Int. Conf. on Architecture: Heritage, Traditions and Innovations*. 2020. DOI: 10.2991/assehr.k.200923.062
 20. Litvinova O.G. Formirovanie antropogennogo landshafta v pribrezhnoi zone Ob"-Eniseiskogo vodnogo puti XVIII–XIX vv. (Obskoi bassein) [Anthropogenic landscape in Ob-Yenisei waterway in the 18–19th centuries]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 5. Pp. 53–61. (rus)

Сведения об авторе

Литвинова Ольга Геннадьевна, канд. ист. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, litvinova-olga1982@gmail.com

Author Details

Olga G. Litvinova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, litvinovaolga1982@gmail.com

УДК 72.01

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-30-39

*Е.Р. ПОЛЯНЦЕВА,**Уральский государственный экономический университет*

БЕЗОПАСНОСТЬ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ С УЧЕТОМ МЕСТНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ РОССИЙСКИХ ГОРОДОВ

Решение проблем безопасности городской среды имеет высокую актуальность. Целью статьи является поиск точек соприкосновения между теорией предотвращения преступлений средствами архитектуры и дизайна среды и между теорией устойчивого развития, а также изучение особенностей застройки российских городов и сравнение особенностей создания безопасной и комфортной среды в России и за рубежом. Сравниваются подходы к обеспечению безопасности различных типов жилой городской среды. На основании анализа исследований результативности разных подходов выявлены применимые и наиболее подходящие для российских городов принципы и средства обеспечения безопасности. Предлагаются способы включения архитектурно-планировочных средств обеспечения безопасности с привязкой к условиям застройки в городах России. В качестве трех важных аспектов выделены: использование экологически чистых местных материалов, применение вандалоустойчивых решений, использование озеленения и ландшафта как для целей безопасности, так и улучшения экологии.

Ключевые слова: безопасность; контроль доступа; наблюдение; устойчивое развитие; озеленение; новый урбанизм.

Для цитирования: Полянцева Е.Р. Безопасность и устойчивое развитие с учетом местных особенностей в условиях российских городов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 30–39.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-30-39

*E.R. POLYANTSEVA,**The Ural State University of Economics*

SAFETY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RUSSIAN CITIES

Purpose: The purpose of this paper is to find common ground between the theory of crime prevention by means of architecture and environment design and between the theory of sustainable development. The importance of creating a visually and environmentally friendly urban environment is shown as a means of involving people in the urban infrastructure, and, consequently, increasing the safety level. **Methodology/approach:** The interdisciplinary approach based on knowledge of urban studies, architecture, town planning, criminology and sociology. The analysis of safety of the urban environment and foreign experience. Exploration of approaches and techniques for creating a safe urban environment based on foreign experience. Modern methods include architectural means, planning and environmental design: lighting, gardening, anti-vandal measures, safe building construction. **Research findings:** The urban development indicates criminogenic and a relatively safe areas. The use of eco-friendly materials and architectural means is aimed at energy conservation and their positive impact on the urban environment as a whole. The identified aspects of the public safety, sustainable development, ecology and architecture include use of local natural materials or composites that can accumulate energy or respond to environmental changes; vandal-resistant materials; landscaping not only as a decoration, but also as a defense against criminal encroachments and en-

vironmental improvement; more intensive planting in the urban structure to improve the environment. **Practical implications:** Multi-storey apartments are more typical for large Russian cities like in South Korea. Due to their high density, such areas do not experience problems with accessibility and developed infrastructure, but control and security are more important. The reconstruction of existing or creation of new objects (building, park or area) consists of the following algorithm: collection of information about the site, analysis of analogs, the implementation of the selected principles, selection of appropriate tools and materials, and post-project research for quality assessment. The discussed examples can help in the building design and reconstruction. The proposed algorithm for assessing the safety of the urban environment can be introduced into the design process. **Originality/value:** The value of research lies in the comparison of different concepts of safe built environment. A study of the foreign experience in the urban places and living environment. The paper makes an attempt to draw analogies between different types of multi-storey urban development and identifies the greatest criminality of this or that type of development. The paper provides an overview of the latest studies of the urban environment. For the first time, an attempt is made to adapt the principles of decriminalization to the specific features of the Russian cities. The paper suggests the reconstruction algorithm for the urban areas, taking into account the requirements of criminogenic safety, and proposes the principles of decriminalization.

Keywords: safety; access control; surveillance; sustainable development; planting; new urbanism.

For citation: Polyantseva E.R. Bezopasnost' i ustoichivoe razvitie s uchetom mestnykh osobennostei v usloviyakh rossiiskikh gorodov [Architectural safety and sustainable development of Russian cities]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 30–39.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-30-39

1. Устойчивое развитие и безопасность архитектурной среды

Устойчивое развитие как общемировое направление подразумевает создание новых средств развития человечества, обеспечение комфортных и безопасных условий жизни и одновременно с этим сохранение и бережное отношение к природным ресурсам и биосфере. Сохранение уникальных местных традиций и поддержка локальных сообществ входят в понятие социальной экологии, которая объединяет устойчивое развитие с заботой о безопасности городов. В целом создание комфортной и защищенной городской среды, развитие методов создания защищенных и удобных в использовании зданий и применение безопасных материалов, входящие в теорию предотвращения преступлений средствами архитектуры и дизайна среды, соответствуют направлению устойчивого развития.

В свою очередь, архитектурные принципы обеспечения безопасности подразумевают под собой обеспечение условий для наблюдения, контроля доступа, разграничения зон ответственности, функционального зонирования. Тенденции последних десятилетий – это перенос акцента с физических условий места преступления на социальные условия, которые создают некоторые из мотивов преступлений. Последние теоретические разработки включают в себя работы по безопасности как ключевому пункту на пути к устойчивости с акцентом на социальный аспект [1, с. 81–89].

Несмотря на то что градостроители стремятся включить принципы устойчивого развития в городскую среду, пространственная организация горо-

дов по структуре и формам быстро подвергается влиянию экономических сил в ущерб социальным и экологическим факторам. По этой причине для городов характерны физические и экологические проблемы в виде неадекватной инфраструктуры, ухудшения качества окружающей среды и заторов [2, с. 410–411].

Современные исследования в области обеспечения безопасности средствами архитектуры указывают на важность привязки к местности, сбора и учета цифровых данных и учета социальной составляющей.

Еще один вопрос заключается в выборе между закрытыми и открытыми уличными сетями и городскими районами. Данные криминологических исследований свидетельствуют о решительном превосходстве проницаемых уличных сетей в том, чтобы снизить уровень преступности. Проектировщики и градостроители выделяют несколько проблемных черт, не связанных с преступностью, включая увеличение расстояний движения, зависимость от автомобиля, менее эффективное использование земли и трудности в размещении общественного транспорта в непосредственной близости от жилых объектов [3, с. 13].

2. Современные исследования устойчивой и безопасной городской среды и анализ различных типов застройки

Два подхода к обеспечению безопасности возникли с зарождением теории предотвращения преступлений. Д. Джекобс, журналистка и исследовательница жилой городской среды, предполагала, что для безопасности города важны смешанное землепользование и присутствие наблюдателей, чей взгляд обращен на улицу, для чего важно поддерживать уличную пешеходную активность. Позднее эти ее предположения были учтены в появившейся теории нового урбанизма [4].

В свою очередь, архитектор-градостроитель и теоретик архитектуры О. Ньюман предлагал территориальность: деление на зоны влияния внутри городской застройки, тоже поддерживал принцип наблюдения, указывая, что архитектурные элементы и организация среды должны предполагать эту возможность. Также он указывал на важность образа архитектурного объекта и на способность его влиять на восприятие окружающего городского пространства в целом. Реконструируя проблемные городские районы, Ньюман призывал учитывать способность окружения влиять на уровень преступности даже в новом районе, поскольку ни один квартал не существует в изоляции от окружения, и говорил о важности формирования чувства ответственности за свое окружение у жильцов [5, с. 14–22].

Современная литература по предотвращению преступности делится на ту, что исследует методы воздействия на преступность от прямых до опосредованных, и на ту, что основывается на факторах психологических, социальных и физических – окружение и место.

В число современных направлений входит изучение данных ГИС-систем и географического позиционирования, сопоставления. Первоначально на важность анализа ближайшего географического окружения мест уличной преступности указывал О. Ньюман. Но более поздние исследования говорят о важности анализа более широкого набора факторов различной удаленности от места преступления. В рамках его выделяются четыре категории: микро-

масштаб (факторы, действующие на месте преступления), масштаб приближения (ближнее окружение), средний, или мезомасштаб (факторы, воздействующие на преступность, которые присутствуют в смежных районах), и макромасштаб (факторы, влияющие на преступность в рамках всего города) [6, с. 3]. Исследователи приходят к тем выводам, что связь между преступностью и местом не прямая, а опосредованная и неверно оценивать преступность, исходя из строго экологического или социального детерминизма. Исследователи указывают на важность анализа рисков, поскольку в случае прогнозирования преступности важна вероятность, а не точность [7, с. 8–13].

Социальная экология, используемая для обеспечения безопасности, указывает на работу с населением, подчеркивает важность устойчивых социальных связей, сохранение культурного кода, памяти и описывает поэтапное формирование этих свойств. Иерархия уровней развития жилых городских сообществ и их социальных связей начинается с базового уровня, который характеризуется бедной социальной инфраструктурой, недостатком социальных связей, в том числе по причине частой смены жителей и присутствия большого числа многоквартирных домов и квартир, сдающихся внаем. При среднем уровне появляются возможности для развития социальной активности и взаимодействия жителей, и на уровне высокого развития происходит полное вовлечение жителей в жизнь их микрорайона, в их жилую среду интегрированы решения по безопасности, и они активно используются [8, с. 10].

Связь между преступностью и типами застройки рассматривается двояко. Первая точка зрения заключается в том, что сочетание различных типов застройки и функциональных зон способствует развитию городской среды, разнообразию, постоянному использованию и обеспечивает большее число наблюдателей на улицах, что может способствовать снижению уровня уличной преступности. Вторая точка зрения состоит в том, что смешанное использование сокращает степень восприятия людьми пространства как своего, снижает уровень ответственности и зоны влияния, разрывая их, вследствие чего сокращается уровень неформального социального контроля. Данные о фактическом уровне преступности свидетельствуют, что в смешанной застройке для жилья уровень преступности выше, чем в закрытых жилых кварталах, а для коммерческой недвижимости, напротив, ниже, чем если бы подобные объекты находились полностью в коммерческой среде. Исследователи считают, что смешанное использование связано с увеличением, а не сокращением преступности и однородные жилые районы имеют более низкие показатели уличных краж и преступлений против собственности [6, с. 9; 9].

Влияние типов жилой городской застройки и различных функциональных зон указывает, что различные объекты, притягивающие преступность, могут распространять зоны влияния за пределы своих границ на расстояние более 50 м. Разные исследования указывают на то, что функциональная принадлежность зон, притягивающих преступность, – торговля, спорт, отдых, в меньшей степени зеленые и промышленные зоны. В качестве объектов, притягивающих преступность, называются транспортные узлы, торговые центры, клубы и кафе, функционирующие ночами [10, с. 8–11].

Различные исследования жизнеспособности городских пространств и воспринимаемого людьми уровня безопасности в русле теории устойчивого развития сравнивают между собой городские районы, строившиеся с применением принципов нового урбанизма (Сент-Луис, США) [11] и теории устойчивого развития (Пангио, Южная Корея) [12–14]. Новый урбанизм выступает за плотные, доступные для пешеходных передвижений районы, способствующие созданию и поддержке социальных связей, в то время как предотвращение преступлений выступает за создание зон влияния для жильцов, деление больших районов на микрорайоны из нескольких жилых домов, объединенных общим входом. Исследования его социальных эффектов подтверждают положительное влияние этих качеств среды на устойчивость городских сообществ [15, с. 443–444]. Однако традиционная для США малоэтажная жилая застройка делает планировочные приемы этих двух направлений малоприменимыми к условиям России. В свою очередь, автором в статье «Анализ внедрения элементов теории предотвращения преступлений средствами архитектуры и дизайна среды в Южной Кореи» изучен эффект влияния использованных при строительстве двух жилых районов принципов теории: контроля доступа, наблюдения, территориальности, поддержки и ухода за городской средой. Один из районов в пригороде Сеула, Пангио, строился с учетом принципов теории устойчивого развития: с более низкой плотностью населения, с внедрением энергоэффективных технологий, озеленением общественных прогулочных зон, разделением транспортного и пешеходного движения, закрытыми подземными паркингами и пешеходными дворами, а также делением на микрорайоны, состоящие из нескольких дворов, объединенных общим закрытым входом. В это же время второй район Сеула, Йатап, проектировался в более традиционном ключе, с плотной многоэтажной застройкой, пронизываемыми жилыми дворами, которые использовались большей частью для парковок автомобилей, а не создания пешеходных зон и площадок для отдыха и общения жильцов [12, с. 48–87]. Анализ преступности в первом районе с момента его реконструкции показывает снижение числа краж на треть и падение уровня уличных нападений на четверть, в то время как во втором внедрение видеонаблюдения и контроля на входе в жилые зоны не приносило подобного сокращения преступности, контроль был формальным, озеленение было неухоженным и мешало наблюдению и визуальной проницаемости, а паркинги по причине отсутствия людей становились криминогенными зонами [14, с. 13–15].

Исследования, сравнивающие уровень преступности в жилых районах, спроектированных как с изначально внедренными при проектировании принципами обеспечения безопасности, так и без них, показывают на преимущество первых, однако указывают на проблемы изначальной теории, которая была создана для малоэтажной среды американских пригородов. Принципы наблюдения, контроля доступа и территориальности не могут воплощаться теми же средствами в условиях растущего уровня урбанизации и плотного населения городского центра и районов, застроенных многоэтажными жилыми домами [13, 14, 16].

3. Применение западного опыта в условиях российских городов

Включение методов создания безопасной среды при формировании и реконструкции городских районов за рубежом произошло впервые в рамках концепции нового урбанизма, движения, направленного на сокращение разрастания пригородов, характерного для США, и на улучшение благосостояния общества за счет изменений в среде застройки – создания компактных, социально разнообразных и ориентированных на нужды людей районов [1, с. 435]. Взаимосвязь устойчивого развития и декриминализации городской среды состоит в том, что в числе триггеров, срабатывающих для преступников, могут быть заброшенные здания, замусоренная и неухоженная городская среда [7], на более высоком уровне – чувство отторжения при отсутствии связей с подавляющей или дезориентирующей человека средой, в которой не сохранен привычный культурный код, масштаб, не учтены исторические, климатические и ландшафтные особенности.

Применение изученных подходов к созданию устойчивой и защищенной, насколько возможно, от криминала городской среды в условиях нашей страны должно учитывать характерные для нее типы застройки. Малоэтажные пригороды, которые в данный момент застраиваются чаще стихийно, опираясь на изученные теории, стоит делить на меньшие территориальные единицы, объединяя их вокруг локальных центров активности, развивая инфраструктуру и поддерживая локальные пешеходные связи. Однако для крупных российских городов более характерна застройка многоэтажными многоквартирными домами – ситуация, схожая с описанной в исследованиях Южной Кореи. Деление на общественные и private, предназначенные только для жильцов зоны, высокая, но не чрезмерная плотность населения, развитие местной активности жильцов и поддержка взаимодействия. В силу высокой плотности такие районы не испытывают проблем с доступностью и развитой инфраструктурой, но вопросы контроля и безопасности в них стоят острее. Местная защита не может быть обеспечена одними жильцами, и помимо архитектурных и социальных средств контроля доступа и наблюдения становятся необходимы службы охраны и выделение зон публичных, полупубличных и частных.

Процесс реконструкции существующего или создания нового объекта (здания, парка или района) состоит из следующего алгоритма: сбор информации об участке, анализ аналогов, формирование модели с внедрением выбранных принципов, выбор соответствующих средств и материалов и пост-проектное исследование для оценки качества.

Следующее – анализ характера застройки. Это ее этажность, возраст, уровень комфорта. Отдельную проблему представляет общественная застройка, поскольку ее посетители и работники не являются постоянными жителями и менее заинтересованы в безопасности, однако этот вопрос решается большими организационными мерами и присутствием нанятых для обеспечения безопасности работников, а также контролем не в рамках микрорайона, а каждого отдельного объекта с прилегающей территорией, включая входы и подъездные пути. Отдельно среди застройки следует выделять проблемные участки с заброшенными или просто пришедшими в упадок зданиями. Небла-

гополучные участки могут формироваться отдельными объектами, которые тянут за собой окружение.

Помимо анализа внешних связей может присутствовать анализ внутренних связей, который покажет пути передвижения людей внутри района. Выявление слабых связей и участков с проблемной застройкой необходимо для понимания направлений дальнейшей работы, зон, которым следует уделить особое внимание.

Дополнительными средствами предварительного анализа будут опрос жителей района, анализ их активности, маршрутов передвижений, анализ характерных для района типов преступлений. Целями являются выявление проблемных участков физической среды и недостатков, пробелов в существующем обеспечении безопасности.

Заключение

Проанализированные в статье работы относительно разного рода городской застройки указывают на то, что наиболее криминогенными являются районы смешанной застройки, а относительно однородная жилая среда более безопасна в силу того, что жильцы заинтересованы в ее защите; кроме того, магнитами для преступлений могут являться некоторые виды объектов сами по себе – они обладают зонами влияния, которые должны находиться под особым контролем посредством наблюдения. Исследования по устойчивому развитию и безопасности указывают на успешность интеграции экологии и средовой криминологии. Визуальная экология, использование возобновляемых дружелюбных природе источников энергии, безопасных материалов и поддержка культурных традиций одинаково способствуют как благоприятному восприятию городской среды, так и фактическому сокращению числа преступлений. Грамотное городское планирование в этом случае учитывает характер застройки той или иной зоны и помогает тем или иным способом вернуть ощущение дружелюбности и защиты. Поддержка социального взаимодействия как основа местной безопасности тоже должна сопровождаться поддерживающими ее мероприятиями: созданием мест, подходящих для подобной активности, грамотным разграничением публичных и частных пространств и использованием архитектурно-планировочных средств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Atlas R.I.* 21st Century Security and CPTED: Designing for Critical Infrastructure Protection and Crime Prevention. Los Angeles : CRC Press, Taylor and Francis Group, 2008. С. 405–411.
2. *Marvi T., Behzadfar M.* Local Sustainability with Emphasis on CPTED Approach, The case of Ab-kooh Neighborhood in Mash-had // Asian Conference on Environment-Behaviour Studies, 20–22 February 2015, Tehran, Iran. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 201. 2015. P. 409–417. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815048429/pdf?md5=a8daa27bc213a857ab0ebe9d48adcef2&pid=1-s2.0-S1877042815048429-main.pdf> (дата обращения: 08.01.2020 г.).
3. *Корсаков К.В.* Городское пространство в ракурсе уголовно-правовой науки // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2016. № 1.

4. Джекобс Д. Смерть и жизнь больших американских городов. Москва : Новое издательство, 2011. 460 с.
5. Newman O. Defensible Space: Crime Prevention through Urban Design. New York : Macmillan, 1972. P. 14–22. URL: <http://www.defensiblespace.com/book.htm> (дата обращения: 08.01.2020 г.).
6. Cozens P., Love T. Geographical Juxtaposition: A New Direction in CPTED // Social Sciences, MDPI, Open Access Journal. 2019. September. V. 8 (9). P. 1–22. URL: https://www.researchgate.net/publication/335629880_Geographical_Juxtaposition_A_New_Direction_in_CPTED (дата обращения: 08.05.2020 г.).
7. Cozens P., Love T. A Review and Current Status of Crime Prevention through Environmental Design (CPTED) // Journal of Planning Literature. 2015. August. 30 (4). P. 1–20. URL: https://www.researchgate.net/publication/281604957_A_Review_and_Current_Status_of_Crime_Prevention_through_Environmental_Design_CPTED (дата обращения: 08.01.2020 г.).
8. Mihnjac M., Saville G. Third-Generation Crime Prevention Through Environmental Design (CPTED) // Social Sciences, MDPI, Open Access Journal. 2019. June. V. 8 (6). P. 1–20. URL: <https://www.mdpi.com/2076-0760/8/6/182/pdf> (дата обращения: 08.05.2020 г.).
9. Anderson J. Reducing Crime by Shaping the Built Environment with Zoning: An Empirical Study of Los Angeles // University of Pennsylvania Law Review. 2013. P. 699–756. URL: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2109511> (дата обращения: 08.01.2020 г.).
10. Sypion-Dutkowska N., Leitner M. Land use influencing the spatial distribution study of Szczecin, Poland // International Journal of Geo-Information 6(3). 2017. March. URL: https://www.researchgate.net/profile/Natalia_Sypion-Dutkowska/publication/314286460_Geo-Information_Land_Use_Influencing_the_Spatial_Distribution_of_Urban_Crime_A_Case_Study_of_Szczecin_Poland/links/5d0a1d9392851cfcc622d23d/Geo-Information-Land-Use-Influencing-the-Spatial-Distribution-of-Urban-Crime-A-Case-Study-of-Szczecin-Poland.pdf (дата обращения: 08.05.2020 г.).
11. Stanislav A., Chin J. Evaluating Livability and Perceived Values of Sustainable Neighborhood Design: New Urbanism and Original Urban // Suburbs Sustainable Cities and Society 47. 2019. May. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670718326581> (дата обращения: 08.05.2020 г.).
12. Ha T. Comparative CPTED Analysis Of Residential Communities In Pangyo And Yatap Towns In South Korea // University Of Florida. URL: https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/UF/E0/04/54/41/00001/HA_T.pdf (дата обращения: 08.05.2020 г.).
13. Ha T., Oh G. Comparative analysis of Defensible Space in CPTED housing and non-CPTED // International Journal of Law Crime and Justice 43(4). 2014. December. URL: https://www.researchgate.net/publication/270053319_Comparative_analysis_of_Defensible_Space_in_CPTED_housing_and_non-CPTED_housing (дата обращения: 08.05.2020 г.).
14. Dahee K. Crime Prevention Effect of the Second Generation Crime Prevention through Environmental Design Project in South Korea: An Analysis // Social Sciences. 2019. June. 8 187. URL: https://www.researchgate.net/profile/Yongwook_Jeong/publication/333763535_Crime_Prevention_Effect_of_the_Second_Generation_Crime_Prevention_through_Environmental_Design_Project_in_South_Korea_An_Analysis/links/5dce7cdf92851c382f3e7a98/Crime-Prevention-Effect-of-the-Second-Generation-Crime-Prevention-through-Environmental-Design-Project-in-South-Korea-An-Analysis.pdf (дата обращения: 08.05.2020 г.).
15. Trudeau D. New Urbanism as Sustainable Development? // Geography Compass 7(6). 2013. June. P. 435–448. URL: https://www.researchgate.net/publication/264326682_New_Urbanism_as_Sustainable_Development (дата обращения: 08.01.2020 г.).
16. Han Y., Zhu X. The influence of urban built environment on residential burglary in China: Testing the encounter and enclosure hypotheses // Criminology and Criminal Justice. 2019. September. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1748895819874868> (дата обращения: 08.05.2020 г.).

REFERENCES

1. Atlas R.L. 21st century security and CPTED: designing for critical infrastructure protection and crime prevention. Los-Angeles: CRC Press, Taylor & Francis Ltd., 2008.

2. Marvi T., Behzadfar M. Local sustainability with emphasis on CPTED approach. The case of Ab-kooh Neighborhood in Mash-had. *Proc. Asian Conf. on Environment-Behaviour Studies*, 20–22 February 2015, Tehran, Iran; *Procedia. Social and Behavioral Sciences*, 2015. V. 201. Pp. 409–417. Available: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815048429/pdf?md5=a8daa27bc213a857ab0ebe9d48adcef2&pid=1-s2.0-S1877042815048429-main.pdf (accessed January 08, 2020).
3. Korsakov K.V. Gorodskoe prostranstvo v rakurse ugolovno-pravovoi nauki [Urban space from the perspective of criminal law science]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2016. No. 1. (rus)
4. Jacobs J. Smert' izhizn' bol'shikh amerikanskikh gorodov [The death and life of great American cities]. Moscow: Novoe izdatel'stvo, 2011. 460 p. (transl. from Engl.)
5. Newman O. Defensible space: Crime prevention through urban design. New York: Macmillan, 1972. Pp. 14–22. Available: www.defensiblespace.com/book.htm (accessed January 08, 2020).
6. Cozens P., Love T. Geographical juxtaposition: A new direction in CPTED. *Social Sciences, MDPI, Open Access Journal*. 2019. V. 8. No. 9. Pp. 1–22. Available: www.researchgate.net/publication/335629880_Geographical_Juxtaposition_A_New_Direction_in_CPTED (accessed May 08, 2020).
7. Cozens P., Love T. A review and current status of crime prevention through environmental design. *Journal of Planning Literature*. 2015. V. 30 No. 4. Pp. 1–20. Available: www.researchgate.net/publication/281604957_A_Review_and_Current_Status_of_Crime_Prevention_through_Environmental_Design_CPTED (accessed January 08, 2020).
8. Mihinjac M., Saville G. Third-generation crime prevention through environmental design. *Social Sciences, MDPI, Open Access Journal*. 2019. V. 8 No. 6. Pp. 1–20. Available: www.mdpi.com/2076-0760/8/6/182/pdf (accessed May 08, 2020).
9. Anderson J. Reducing crime by shaping the built environment with zoning: An empirical study of Los Angeles. *University of Pennsylvania Law Review*. 2013. Pp. 699–756. Available: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2109511> (accessed January 08, 2020).
10. Syption-Dutkowska N., Leitner M. Land use influencing the spatial distribution study of Szczecin, Poland. *International Journal of Geo-Information*. 2017. No. 6 (3). Available: www.researchgate.net/profile/Natalia_Syption-Dutkowska/publication/314286460_Geo-Information_Land_Use_Influencing_the_Spatial_Distribution_of_Urban_Crime_A_Case_Study_of_Szczecin_Poland/links/5d0a1d9392851cfcc622d23d/Geo-Information-Land-Use-Influencing-the-Spatial-Distribution-of-Urban-Crime-A-Case-Study-of-Szczecin-Poland.pdf (accessed May 08, 2020).
11. Stanislav A., Chin J. Evaluating livability and perceived values of sustainable neighborhood design: New urbanism and original urban. *Suburbs Sustainable Cities and Society*, 2019. V. 47. Available: www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670718326581 (accessed May 08, 2020).
12. Ha T. Comparative CPTED analysis of residential communities in Pangyo and Yatap towns in South Korea. University of Florida. Available: https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/UF/E0/04/54/41/00001/HA_T.pdf (accessed May 08, 2020).
13. Ha T., Oh G. Comparative analysis of defensible space in CPTED housing and non-CPTED. *International Journal of Law Crime and Justice*. 2014. V. 43. No. 4. Available: www.researchgate.net/publication/270053319_Comparative_analysis_of_Defensible_Space_in_CPTED_housing_and_non-CPTED_housing (accessed May 08, 2020).
14. Dahee K. Crime prevention effect of the second generation crime prevention through environmental design project in South Korea: An analysis. *Social Sciences*. 2019. No. 8. P. 187. Available: www.researchgate.net/profile/Yongwook_Jeong/publication/333763535_Crime_Prevention_Effect_of_the_Second_Generation_Crime_Prevention_through_Environmental_Design_Project_in_South_Korea_An_Analysis/links/5dce7cdf92851c382f3e7a98/Crime-Prevention-Effect-of-the-Second-Generation-Crime-Prevention-through-Environmental-Design-Project-in-South-Korea-An-Analysis.pdf (accessed May 08, 2020).
15. Trudeau D. New urbanism as sustainable development? *Geography Compass*. 2013. V. 7 No. 6. Pp. 435–448. Available: www.researchgate.net/publication/264326682_New_Urbanism_as_Sustainable_Development (accessed January 08, 2020).

16. Han Y., Zhu X. The influence of urban built environment on residential burglary in China: Testing the encounter and enclosure hypotheses. *Criminology and Criminal Justice*. 2019. DOI: 10.1177/1748895819874868 (accessed May 08, 2020).

Сведения об авторе

Полянцева Екатерина Романовна, Уральский государственный экономический университет, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62, notneb@yandex.ru

Author Details

Ekaterina R. Polyantseva, The Ural State University of Economics, 62, 8 Marta Str., 620144, Ekaterinburg, Russia, notneb@yandex.ru

УДК 711.437+338.482.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-40-50

*С.В. НОВИКОВ¹, В.Л. ОСИНА²,**ООО «Проектно-реставрационная мастерская**Казанской епархии РПЦ (МП)»,**Казанский государственный архитектурно-строительный университет*

АГРОТУРИЗМ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ НА ПРИМЕРЕ НОВОШЕШМИНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Настоящая работа направлена на выработку принципов формирования архитектурно-градостроительной среды сельского туризма на территории Новошешминского района Республики Татарстан. Характеристика понятия «сельский туризм», всесторонний анализ туристского потенциала Новошешминского района и рассмотренный отечественный и зарубежный опыт позволили сформировать ряд принципов для создания комфортной туристской среды. В ходе исследования выявлены значимые аспекты организации инфраструктуры туризма в сельской местности и методы их корректного использования в заданных условиях, а именно на территории Новошешминского района. Выводы, полученные в ходе исследования, дают возможность дальнейшей проработки концепции устойчивого развития района.

Ключевые слова: сельский туризм; агротуризм; историко-культурное наследие; сельское хозяйство; туристская инфраструктура; устойчивое развитие.

Для цитирования: Новиков С.В., Осина В.Л. Агротуризм как фактор устойчивого развития территории на примере Новошешминского района Республики Татарстан // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 40–50.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-40-50

*S.V. NOVIKOV¹, V.L. OSINA²,**¹ООО “Design and Restoration Workshop of Kazan Eparchy”,**²Kazan State University of Architecture and Engineering*

RURAL TOURISM AS A FACTOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE NOVOSHESHMINSKY REGION IN TATARSTAN

This paper develops the principles of the architectural and urban development environment of rural tourism in the e Novosheshminsky region of the Republic of Tatarstan. The concept of rural tourism, a comprehensive analysis of the tourist potential of the Novosheshminsky region and Tatarstan and foreign experience allow developing principles of creating a comfortable tourist environment. The paper identifies significant aspects of organizing the touristic infrastructure in the rural areas and their correct use in the given conditions, the Novosheshminsky region, in particular. The concept of the sustainable development of this region will be further developed.

Keywords: rural tourism; historical and cultural heritage; agriculture; touristic infrastructure; sustainable development.

For citation: Novikov S.V., Osina V.L. Agroturizm kak faktor ustoichivogo razvitiya territorii Novosheshminskogo raiona Respubliki Tatarstan [Rural tourism as a factor of sustainable development in the Novosheshminsky region in Tatarstan].

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 40–50.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-40-50

Введение

На современном этапе развития туризм занимает одну из перспективных позиций в экономике регионов России. Он выступает стимулом к комплексному совершенствованию многих отраслей: связи, транспортной инфраструктуры, строительства, сельского хозяйства и т. д.

За последние годы на разном уровне ориентир все сильнее обращается в сторону развития внутреннего туризма. Во многих регионах России, в том числе и в Республике Татарстан, набирает популярность новое направление – сельский туризм, или агротуризм. Это в первую очередь вызвано стремлением к развитию территорий сельских поселений и сохранению историко-культурного наследия коренного населения посредством увеличения внутренних туристических потоков.

Формирование комплексной инфраструктуры туризма на территории Новошешминского района будет стимулом к образованию внутреннего и внешнего (международного) туризма с дальнейшим привлечением инвестиций и созданием новых рабочих мест. Местная культурная идентичность способна отразиться в эстетике современного архитектурно-градостроительного оформления района. Агротуризм в сочетании с культурно-познавательным и «транзитным» видами туризма может дать интенсивный толчок в динамике устойчивого развития сельской территории района.

Цель исследования: выработать принципы формирования архитектурно-градостроительной среды сельского туризма на территории Новошешминского района Республики Татарстан с учётом местных культурных и территориальных особенностей.

Задачи:

1. Характеристика понятия «агротуризм» и технологии его развития на территории сельских поселений.
2. Выявление туристического потенциала и исследование территории Новошешминского района на предмет наличия объектов туристской инфраструктуры.
3. Применение принципов формирования архитектурно-градостроительной среды сельского туризма на территории Новошешминского района.

Понятие «агротуризм»

Агротуризм (сельский, деревенский) – динамично развивающееся направление туризма, предполагающее посещение туристами сельской местности с целью отдыха, организации развлечений в экологически чистых (относительно городских поселений) районах. Предпосылки для его развития и распространения следующие: рост уровня урбанизации, доступность и возможность проведения отдыха в экологически чистых районах [1].

Обособление агротуризма как самостоятельного вида было обусловлено специфическими формами проведения досуга – знакомство с сельским укла-

дом жизни, обычаями и традициями жителей сел. Он направлен на использование природных, историко-культурных и других ресурсов сельской местности. Кроме того, агротуризм принято причислять к социально-ориентированному туризму, т. к. он дает возможность удовлетворения запросов различных групп населения, в том числе и малообеспеченных.

Сельский туризм синтезирует несколько разных и специфичных направлений туризма: гастрономический, спортивный (велоспорт, катание на лодках и пр.), экотуризм, этнический туризм и геотуризм.

Инфраструктура агротуризма содержит:

- средства проживания, питания и отдыха;
- комфортную транспортную коммуникацию;
- анимационные программы проведения досуга для туристов.

Формы и направления развития агротуризма варьируются в зависимости от регионов мира и стран [2]. В странах Европы и Северной Америки функционируют небольшие частные предприятия, базирующиеся на уже имеющихся частных домах. Основным доходом владельцев такого рода средств размещения является традиционное занятие сельским хозяйством, прием туристов – дополнительный заработок. В странах, менее развитых экономически, практикуется формирование достаточно крупных туристических кластеров, ориентированных на эксплуатацию ресурсов территорий сельских поселений либо организацию агропарков с задействованием национального сельского хозяйства и параллельно приносящих прибыль от туристов [3, 4].

В Европе на международном уровне созданы международно признанные стандарты качества услуг и средств размещения в сфере сельского туризма. Работа проводится в рамках международных программ ЕС при активном участии ассоциаций субъектов агротуристической деятельности (например, EUROGITES – Европейской федерации фермерского и деревенского туризма, ECEAT – Европейского центра эко-агротуризма и др.) Фирмы организуют досуг и размещение в предпочитаемых условиях. Самая популярная организация в сфере агротуризма – WWOOF (World Wide Opportunities on Organic Farms). WWOOF работает в 53 странах, так что и география, и спектр предлагаемых занятий достаточно широки [5].

В России организацией агротуров занимается Росагротуризм. Образование российского агротуризма как направления началось с конца XX в., несмотря на то, что поездки «к бабушке в деревню» были известны ранее. С совершенствованием информационных технологий, на основе зарубежного опыта, стала прослеживаться динамика развития отечественного сельского туризма.

В Распоряжении правительства от 2 февраля 2015 года № 151-р «Стратегия устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2030 года» сельский туризм остается преобладающим направлением в решении проблем развития сел.

Однако развитию отечественного агротуризма не способствует удручающее состояние сельских территорий. Россия не может похвастаться избытком комфортных объектов размещения туристов. Вопреки этому направление не сбивает темп развития благодаря организации «точек притяжения» местными жителями. К примеру, арт-парк «Никола-Ленивец», который располо-

жен неподалеку от деревни в Калужской области, где в совокупности с живописными природными ландшафтами представлена коллекция произведений современного искусства и архитектуры, созданная художником Николаем Полисским и участниками фестиваля «Архстояние». Арт-парк предназначен для создания естественной среды для жизни, отдыха и творчества в гармонии с природой. Обеспечивает питание посетителям ферма Анны и Сергея Морозовых, на которой выращивается огромное количество различных сортов и культур без использования химических добавок.

Однако в то время как другие, не менее развитые туристические страны, уже давно активно содействуют распространению агротуризма, Россия находится на начальном этапе осознания перспектив данного направления [6, 7].

Несмотря на это, в России уже имеется немало случаев успешного введения сельского туризма. Примерами могут служить: реализованный фермерским хозяйством проект в Тульской области «Суслов, Кузнецовы и Ко», занимающийся коневодством, проведением конных прогулок и туров и предлагающий гостям пожить традиционным укладом жизни сельских жителей; деревни в Ярославской области, организующие гостям мастер-классы по различным видам народных промыслов, и др.

В Республике Татарстан 18 муниципальных районов, каждый из которых способен предоставить различные услуги в сфере агротуризма. Одной из потенциальных территорий развития полноценной инфраструктуры сельского туризма может стать Новошешминский район.

Район, расположенный в центральной части Республики Татарстан, обладает значительным историко-культурным потенциалом, богат природными ресурсами, процветающим сельским хозяйством и коневодством.

Но для того чтобы привлечь поток туристов, в Новошешминском районе необходимо создать целостную туристскую инфраструктуру, которой на данный момент эта территория не характеризуется.

В 2008 г. было начато строительство транспортного коридора «Западная Европа – Западный Китай», один из отрезков которого будет проходить на территории Новошешминского района [8]. Этот фактор также будет способствовать притоку «транзитных» туристов.

На сегодняшний день проблема развития территории Новошешминского района, с точки зрения туриста, заключается в полной «туристической неосвоенности», вызванной его ориентированностью в направлении аграрной промышленности и добычи полезных ископаемых.

Историко-культурная привлекательность и потенциал Новошешминского района Республики Татарстан

Новошешминский район расположен в центральной части Республики Татарстан. Административным центром территории является село Новошешминск. Будучи в кон. XVI – нач. XVII в. одним из городищ Старой Засечной черты Российского государства, Новошешминск десятки раз сдерживал опустошительные набеги военных кочевых народов на Закамские населенные пункты.

Вокруг Новошешминской крепости, построенной в 1652 г., для усиления военной мощи закладываются следующие поселения: Петропавловская,

Екатерининская, Архангельская, Волчья и Черемуховая слободы, в которых с течением времени сформировался собственный колорит и архитектурные особенности. Слободы заселяются служивыми людьми, которым давали освобождение от денежных платежей и податей и отправляли разные военные повинности. Но после окончательного усмирения всех кочевых племен и народов и присоединения их к России всем военным предложили перейти на мирный образ жизни, т. е. на самостоятельное проживание и обслуживание. Так выяснилось, что наличие вокруг обильного леса создает благоприятные условия для строительства жилья, наличие хищных пушных зверей обеспечивает возможность заготавливать и продавать пушнину, а переполненная рыбой р. Шешма и близлежащие озера позволили заниматься рыболовством. Люди стали вырубать леса, заниматься хлебопашеством и разводить скот. Впоследствии Новошешминск стал большим и зажиточным селом [9].

Объекты культурного наследия, расположенные на территории Новошешминского района, являются свидетелями и подлинными источниками развития культуры и истории Новошешминского района. Валы и рвы – памятники былых времен – в большей части разрушены, как результат давно минувших лет. Однако по дороге к Петропавловской и Екатерининской слободам еще сохранились останки древних укрепленных поселений, обнесённых двойной, а то и тройной системой глубоких рвов и высоких валов, а также иные оборонительные сооружения [10].

На сегодняшний день на территории района выявлено 8 памятников истории и культуры. В селе Новошешминск – Троицкая Церковь (1794 г.) – архитектурное сооружение эпохи барокко. В трёх слободах (Архангельской, Екатерининской и Петропавловской) сохранились исторические храмы, имеющие схожие объёмно-планировочные решения и выстроенные объёмно-пространственной композицией «кораблём» – колокольня, трапезная, основной объём храма «восьмерик на четверике» и апсида (рис. 1). Храмы построены примерно в одно и то же время, однако, состояние и сохранность у объектов разные. В Архангельской – церковь Вознесенская (1876 г.) – образец периода эклектики в стиле псевдоренессанс, на сегодняшний день храм функционирует, в интерьерах сохранились росписи (рис. 1, а). В Петропавловской – церковь Петропавловская (1885 г., 1915 г.) – образец культовой архитектуры с элементами классицизма и барокко, частично функционирует, находится в аварийном состоянии, происходит обрушение основного купола и отслоение росписей в интерьере (рис. 1, б). В Екатерининской – церковь Троицкая (1875–1883 гг.) – смещение псевдоренессанса и псевдорусского стиля, храм не функционирует и пребывает в руинированном состоянии (рис. 1, в). Помимо храмов в Новошешминском районе в с. Ерыклы сохранились мост тракта Казань – Оренбург (1897–1907 гг.), мечеть 1907 г. и пр. [11].

Исторически р. Шешма, проходящая посередине села, разделяла Новошешминск на две части. Половина, расположенная на горе, называлась городской частью, а за рекой Шешмой – слободской частью. Здесь на р. Шешме, во время зимних праздников, разыгрывались разного рода торжественные сборы и катание молодых на сани с разукрашенными конями, особенно в масленицу. А после обеда и к вечеру бушевали во всю кулачные бои слободских с го-

родскими. В 2005 г. р. Шешма признана памятником природы регионального значения (рис. 2). В районе, помимо р. Шешмы (памятник природы), сосредоточены богатые природные ресурсы – Урганчинский ботанический заказник по сохранению адониса весеннего и Склоны Коржинского (государственные природные заказники).



Рис. 1. Православные храмы в слободах Новошешминского района Республики Татарстан: *а* – Архангельская слобода, Вознесенская церковь. Фото С.В. Новикова, июль 2019 г.; *б* – Петропавловская слобода, Петропавловская церковь. Фото С.В. Новикова, март 2019 г.; *в* – Екатерининская слобода, церковь Троицкая. Фото С.В. Новикова, июль 2019 г.



Рис. 2. Живописные заречные дали р. Шешмы. Фото С.В. Новикова, июль 2019 г.

В районе активно развивается сельскохозяйственный вектор. Сельскохозяйственные угодья составляют 108, 432 тыс. га: пашни – 90,785 тыс. га, пастбища – 17,058 тыс. га, леса – 14,523 тыс. га. В районе возделываются яровая пшеница, озимая рожь, ячмень, овес, просо, горох. Ведущие отрасли животноводства – мясо-молочное скотоводство, овцеводство и коневодство.

Несмотря на историческую ценность Новошешминского района и обилие природных ресурсов, представляющих интерес для организации экскурсионного, научного или событийного туризма, территория не обладает должным уровнем организации туристической инфраструктуры.

В ходе проведенного натурного анализа района на наличие объектов туристской инфраструктуры выявлено, что транспортная составляющая не рас-

полагает возможностью проезда туристического транспорта, средства размещения ограничены одной мини-гостиницей на 4 номера, а заведения общественного питания – четыре кафе. На территории отсутствует навигация и информирование.

Сохранившиеся памятники культурного наследия «простаивают» не численными ни к объектам показа, ни к объектам «приспособления». Ценные свидетели истории и архитектуры постепенно превращаются в руины, т. к. работы по их реставрации и реконструкции не ведутся.

В Новошешминске ежегодно проводятся различные развлекательные мероприятия и праздники, как общепринятые, так и религиозные, несмотря на нехватку специализированных обустроенных площадок. То же самое можно сказать и про рекреационные пространства.

Применение подходов и принципов формирования архитектурно-градостроительной среды сельского туризма на территории Новошешминского района

Агротуризм с каждым годом все глубже врастает корнями в рынок туристической продукции. Зарубежный и отечественный опыт показывает, что существуют определенные тенденции, благоприятные для развития сельского туризма на территории населенных пунктов:

- ориентированность гостей на комфортные структуры размещения, в которых преобладает уютная семейная атмосфера;
- активный досуг (экскурсии, прогулки, специфические виды спорта и спортивные мероприятия, фестивали, ярмарки, мастер-классы, праздники и пр.);
- особый интерес к культурному достоянию, традициям, обычаям и истории местности и проживающих народов.

В статье А.Б. Минязовой и Г.Н. Айдаровой описываются подходы и принципы организации архитектурно-градостроительной среды сельского туризма, выявленные на основании анализа европейского опыта (Тосканская область, Италия): принцип сценарности, принцип экологичности, принцип доступности, принцип безопасности и принцип информативности [12]. Данные принципы применимы к территории Новошешминского района.

Согласно принципу сценарности, для формирования качественной инфраструктуры агротуризма на территории Новошешминского района необходимо в первую очередь создать главный и второстепенные туристические маршруты. Концепция маршрутов состоит в синтезе объектов историко-культурного и этнического наследия, сельскохозяйственных и природных ресурсов региона в целостную туристическую систему, объединенную общим сценарием. Предложением является введение маршрута, соединяющего Слободы кольцевой дорогой. Центром композиции будет являться село Новошешминск. Обладающие разными историко-культурными и природными ресурсами, поселения способны организовать целостную агросреду благодаря специфике своих «сходств и различий».

Помимо достопримечательностей сценарий предполагает наличие базовых элементов туристской инфраструктуры: средств размещения и общественного питания, что предусматривается принципом комфортабельности.

Типология объектов обслуживания будет варьироваться в зависимости от локации: в центре – селе Новошешминск – они будут представлены комплексной гостиницей, в Петропавловской слободе предполагается создание агрофермы на базе конюшни с выращиванием экологически чистых продуктов, а во всех остальных слободах – «приспосабливание» частных домиков под гостевые дома для туристов (рис. 3).



Рис. 3. Каменные дома в Архангельской слободе. Фото С.В. Новикова, июнь 2020 г.

Сохранением, восстановлением и приспособлением объектов культурного наследия характеризуется принцип регенерации среды. Принцип подразумевает реставрацию, реконструкцию и воссоздание знаковых объектов и ансамблей в угоду историко-культурному развитию территории. В данном случае территория Новошешминского района богата памятниками истории, которые по тем или иным причинам находятся в удручающем состоянии. Каменные дома в Архангельской слободе могут стать отличным средством для воссоздания атмосферы старого сельского быта. Православные храмы, доселе увядающие, станут замечательными примерами отреставрированной религиозной архитектуры прошлых веков. Воссоздание Новошешминской крепости послужит стимулом к повышению интереса со стороны ценителей истории и обычных туристов.

Однако не только памятники архитектуры требуют восстановления, но и природные объекты. Последнее формируется принципом экологичности. Он обеспечивает доступ к природным памятникам и дает возможность стать частью среды. Памятник природы р. Шешма, природный заказник Склоны Коржинского – немаловажные элементы в организации целостной среды. Организация досуга с участием природных комплексов и сельскохозяйственных угодий позволит гостям региона ближе ознакомиться с культурой, традициями и обычаями поселений, стать участниками процессов хозяйственных работ и ощутить связь с природой.

Принцип информативности подразумевает создание навигационной сети для ориентации на местности и информационных стендов, для удовлетворения познавательной потребности туристов. Такие точки будут содержать информацию об объектах, местах или исторических событиях. Для утраченных объектов истории и культуры предлагается применение различных вари-

антов архитектурной реконструкции: элементы графического визуального воссоздания объекта, фрагментарного воссоздания исторических фундаментов, археологических консерваций и полного восстановления объектов и др.

Способы и пути перемещения вдоль маршрута определяет принцип доступности. Он предусматривает, на каком транспорте и по каким траекториям целесообразнее преодолевать ландшафтные препятствия. В Новошешминском районе предполагается передвижение не только на авто- и велотранспорте, но предусмотрены и конные прогулки, и передвижения на лодках по Шешме, там, где это представится возможным (есть участки мелководья). Доступность тесно связана с принципом безопасности, который состоит в разделении потоков транспорта и других видов передвижения во избежание аварийных ситуаций. Кроме этого, он обеспечивает комфортное пребывание в пунктах остановок.

Заключение

В последние годы в России растет динамика развития событийного и стихийного внутреннего туризма, при этом чем большее количество функций он синтезирует, тем более востребован среди туристов.

Одним из быстроразвивающихся отраслей стал сельский туризм. В сочетании с культурно-познавательным вектором он дает возможность повысить туристическую популярность регионов, раскрыть культурный потенциал исторически значимых территорий, при этом создать новый бренд и проходимость не новых, а хорошо забытых старых точек историко-культурного и рекреационного притяжения.

Формирование инфраструктуры агротуризма на территориях сельских поселений позволяет решить ряд проблем: возрождение истории, традиций и обычаев народа, повышение уровня культуры и социальной значимости регионов, создание дополнительного источника дохода и новых рабочих мест, а также комплексное развитие инфраструктуры села. Помимо организации качественной инфраструктуры размещения и транспорта, агротуризм является катализатором создания многостороннего досуга для различных категорий туристов и местного населения, экономической и социальной стабильности.

При комплексном анализе потенциала Новошешминского района выявлено, что территория богата неиспользуемыми турпродуктами как природного, так и культурного характера. Создание комфортной среды на основе принципов формирования архитектурно-градостроительной среды и современных комплексов, наряду с вовлечением в оборот отреставрированных объектов историко-культурного наследия, даст условия для разработки целого ряда новых туристских маршрутов различной направленности, позволит удовлетворить потребительский спрос различных категорий туристов, обеспечить все-сезонное функционирование туристских объектов и стабильный рост туристского потока. Местное сельское хозяйство и коневодство может служить поводом для формирования агротуризма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *World Wide Opportunities on Organic Farms (WWOOF)* : [официальный сайт]. URL: <https://wwof.net/> (дата обращения: 26.03.2020).

2. *Международный транспортный маршрут «Западная Европа – Западный Китай»* : [официальный сайт]. URL: <https://www.mintrans.ru/activities/215/217/25/28> (дата обращения: 19.03.2020).
3. *Минязова А.Б., Айдарова Г.Н.* Подходы и принципы формирования архитектурно-градостроительной среды сельского экотуризма в Тоскане // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2019. № 1 (47). С. 121–129.
4. *Коробова О.П.* Агротуризм как стимул развития сельских территорий / РААСН, ЦНИИП Минстроя России. Москва.
5. *История села Нововошемишминск* Нововошемишминского района Республики Татарстан : [официальный сайт]. URL: https://novosheshminsk.tatarstan.ru/rus/1/vajno_n12s.ru (дата обращения: 26.03.2020).
6. *Заворохин Л.И.* История села Нововошемишминск // *Шешминская новь*. 2015. URL: <http://novoshishminsk.ru/news/lyudi-zemli-novosheshminskoy/istoriya-sela-novosheshminsk-avtor-zavorohin-leont> (дата обращения: 26.03.2020).
7. *Объекты культурного наследия Республики Татарстан*: Административные районы : иллюстрированный каталог / под ред. А.М. Тарунова. Москва : НИИЦентр, 2017. 928 с.
8. *Мударисов Р.Г., Соловьева Е.Г.* Концептуальные проблемы государственного регулирования развития сельского туризма в Республике Татарстан // *Сервис в России и за рубежом*. 2018. № 12 (3). С. 50–62.
9. *Кабиров И.С.* Концептуальная модель организации сельского туризма в регионах России // *Научное обозрение*. 2016. № 22. С. 167–171.
10. *Шарафиева Д.Р.* Функция туризма в социально-экономической структуре общества // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2012. № 4 (22). С. 78–86.
11. *Paranyushkin D.* Eco-Tourism in Russia and the Russian Countryside. URL: <https://waytorussia.net/Countryside/Ecotourism-Village-Life.html> (дата обращения: 1.04.2020).
12. *Udovč A., Perpar A.* Role of rural tourism for development of rural areas // *Journal of Central European Agriculture*. 2007. January. № 8 (2).

REFERENCES

1. World Wide Opportunities on Organic Farms. Available: <https://wwwoof.net/> (accessed March 26, 2020).
2. *Mezhdunarodnyi transportnyi marshrut Zapadnaya Evropa – Zapadnyi Kitai* [International transport route Western Europe – Western China]. Available: www.mintrans.ru/activities/215/217/25/28 (accessed March 19, 2020).
3. *Minyazova A.B., Aidarova G.N.* Podkhody i printsipy formirovaniya arkhitekturno-gradostroitel'noi sredy sel'skogo ekoturizma v Toskane [Approaches to architectural and urban environment for rural ecotourism in Tuscany]. *Izvestiya Kazan state University of Architecture and Construction*. 2019. No. 1 (47). Pp. 121–129. (rus)
4. *Korobova O.P.* Agroturizm kak stimul razvitiya sel'skikh territorii [Rural tourism as a stimulus for rural development]. Moscow. (rus)
5. *Istoriya sela Novosheshminsk* [History of the village of Novosheshminsk]. Available: https://novosheshminsk.tatarstan.ru/rus/1/vajno_n12s.ru (accessed March 26, 2020) (rus)
6. *Zavorokhin L.I.* Istoriya sela Novosheshminsk [History of the village of Novosheshminsk]. 2015. Available: <http://novoshishminsk.ru/news/lyudi-zemli-novosheshminskoy/istoriya-sela-novosheshminsk-avtor-zavorohin-leont> (accessed March 26, 2020). (rus)
7. *Tarunov A.M.* Ob"ekty kul'turnogo naslediya Respubliki Tatarstan: Administrativnye raiony [Cultural heritage of the Republic of Tatarstan. Administration regions]. Moscow, 2017. 928 p. (rus)
8. *Mudarisov R.G., Solovieva E.G.* Kontseptual'nye problemy gosudarstvennogo regulirovaniya razvitiya sel'skogo turizma v Respublike Tatarstan [Governmental regulation of rural tourism in Tatarstan]. *Servis v Rossii i za rubezhom*. 2018. No. 12 (3). Pp. 50–62. (rus)
9. *Kabirov I.S.* Kontseptual'naya model' organizatsii sel'skogo turizma v regionakh Rossii [Conceptual model of rural tourism organization in Russia]. *Nauchnoe obozrenie*. 2016. No. 22. Pp. 167–171. (rus)

10. *Sharafieva D.R.* Funktsiya turizma v sotsial'no-ekonomicheskoi strukture obshchestva [Tourism in socio-economic society]. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2012. No. 4 (22). Pp. 78–86. (rus)
11. *Paranyushkin D.* Eco-tourism in Russia and Russian countryside. Available: <https://waytorussia.net/Countryside/Ecotourism-Village-Life.html> (accessed April 1, 2020).
12. *Udovč A., Perpar A.* Role of rural tourism for development of rural areas. *Journal of Central European Agriculture*. 2007. No. 8 (2). (rus)

Сведения об авторах

Новиков Степан Викторович, директор, ООО «Проектно-реставрационная мастерская Казанской Епархии РПЦ (МП)», 420111, г. Казань, ул. Карла Маркса, 9/15, помещ. 2, to-stepa@mail.ru

Осина Валерия Леонидовна, магистр, Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1, losina1998@mail.ru

Authors Details

Stepan V. Novikov, Director, ООО “Design and Restoration Workshop of Kazan Eparchy”, 9/15, Karl Marks Str., Kazan, Tatarstan, Russia, to-stepa@mail.ru

Valeriya L. Osina, MsD, Kazan State University of Architecture and Engineering, 1, Zelenaya Str., 420043, Kazan, Tatarstan, Russia, losina1998@mail.ru

УДК 728

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-51-60

*Р.В. БУЛГАЧ,
Новосибирский государственный университет
архитектуры, дизайна и искусств*

КВАРТАЛЬНАЯ СТРУКТУРА Г. НОВОСИБИРСКА. ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ

Рассматривается возможность возрождения и дальнейшего преемственного развития исторической квартальной структуры планировки г. Новосибирска с учетом современных изменений в жизни городского организма в условиях постиндустриальной парадигмы открытого гуманитарного общества. Определяются условия возникновения традиционной квартальной планировки Новосибирска с учетом базовых факторов. Прослеживается динамика изменений квартальной структуры с учетом развития города и сочетания различных видов планировки и застройки Новосибирска как города, удобного для жизни.

Ключевые слова: планировочная структура; традиционный квартал; квартальная решётка; преемственность планировочной организации; жилая застройка; жилой район; укрупненный квартал; сталинская застройка; городская улица; свободная планировка; микрорайон; качество городской среды; постиндустриальный город; гуманитарная парадигма развития.

Для цитирования: Булгач Р.В. Квартальная структура г. Новосибирска. Возможности развития // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 51–60.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-51-60

*R.V. BULGACH,
Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts*

SQUARE SYSTEM IN NOVOSIBIRSK. DEVELOPMENT OPPORTUNITIES

The paper considers the possibility of revival and further development of the historical square system in the Novosibirsk-city with regard to its modern changes in the context of the post-industrial paradigm of the open humanitarian society. The conditions are determined for the emergence of the traditional square system in the city taking into account the basic factors. The dynamics of changes in the square system is observed allowing for the different types of the city planning and development for comfortable living.

Keywords: planning structure; traditional quarter; quarter grid; planning organization; residential development; residential district; enlarged quarter; Stalinist housing; city street; free planning; microrailon; urban environment quality; post-industrial city; humanitarian paradigm.

For citation: Bulgach R.V. Kvartal'naya struktura g. Novosibirska. Vozmozhnosti razvitiya [Square system in Novosibirsk. Development opportunities]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 51–60.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-51-60

Архитектурные дискуссии и практика урбанизма XXI в. направлены на решение проблемы – каким должен быть город, удобный для жизни, город, экологически и гуманитарно-ориентированный, предоставляющий своим жителям оптимальные возможности для самореализации. И тут, следуя современным мировым тенденциям, отечественная архитектурная мысль, после долгого забвения, вернулась-таки к идее квартала, квартальной застройки, справедливо усматривая в ней возможность вернуть российским городам человеческое измерение, полноценную культурную и экономическую жизнь. А за примером и далеко ходить не надо. Новосибирск в течение первых 30–40 лет своего существования являл собой практически идеальный «город решётки» – простую, четкую и прозрачную квартальную планировку, немного, правда, откорректированную особенностями рельефа. В дальнейшем, особенно в эпоху массового жилищного строительства, планировочная структура города приобрела очень неоднозначный характер, лишившись преемственности модульного построения квартальной сетки.

Цель работы – проследить закономерности формирования исторической планировочной структуры для ее реабилитации, переосмысления и возможности дальнейшего развития в современной парадигме города, удобного для жизни.

Задачи:

1. Определить условия возникновения первоначального рисунка квартальной структуры г. Новосибирска с учетом транспортно-экономических факторов и особенностей географии ландшафта.
2. Проследить характер изменений традиционной квартальной структуры Новосибирска в ходе эволюции городского организма.
3. Выявить возможные перспективные пути развития квартального принципа застройки с учетом осмысления планировочной структуры Новосибирска как постиндустриального города.

Сам принцип межевания территории будущего города на правильные прямоугольные кварталы был заложен сразу в год основания поселения группой чиновников Алтайского горного округа. Летом 1894 г. план нового поселения Александровское у железной дороги был утвержден начальником округа генералом В.К. Болдыревым [1, с. 252; 2, с. 147–153]. В 1896 г. квартальный принцип был уточнен в плане межевания Кузнецова и утвержден тем же В.К. Болдыревым в 1897 г. [3].

Базовую основу – скелет уникального рисунка планировочной решётки Новосибирска – составляют четыре улицы (дороги): Тракторная (Большевикская), Николаевский (Красный) проспект, улицы Кузнецкая и Михайловская. Две последние впоследствии были объединены в ул. Ленина. Тракторная обеспечивала связь с Алтаем. Просека Николаевского проспекта прорубалась на север, в направлении кратчайшего выхода на Московский тракт. Улицы Кузнецкая и Михайловская обеспечили связь со станцией Обь. Направления названных улиц и определили углы наклона квартальных решёток первых трех дореволюционных районов города: Вокзального, Центрального и Закаменского. Позже появляется Ипподромский район [3, с. 18–19; 4, с. 131–136].

Объектом рассмотрения является правобережная, историческая часть г. Новосибирска.

Предмет исследования – квартальная планировочная структура Новосибирска.

За основу взят план г. Новосибирска 1931 г. Причина выбора обоснована тем, что на рубеже 1920–30-х гг. город еще в основном сохранял преемственную квартальную структуру, заложенную при его основании. В дальнейшем начали происходить принципиальные изменения, связанные с усилением централизации власти в стране и окончательной отменой частной собственности. Со второй половины 1930-х гг. Новосибирск становится частью государственной программы создания военно-промышленного комплекса в рамках так называемой «ускоренной индустриализации страны». Все это существенно повлияло на функционирование всего городского организма, его планировочной организации в частности [5, с. 167–203]. Постепенное восстановление городской жизни и хозяйства периода НЭПа происходило в пределах городских границ 1920 г. Гражданское строительство активизировалось только в конце 1920-х гг. в центре города, что было связано с присвоением Новониколаевску статуса административного центра огромного Сибирского края в 1925 г. и переименованием самого города в Новосибирск в 1926 г. [6, с. 126–134]. До 1928 г. новое строительство осуществлялось в рамках сложившейся квартальной структуры, а начавшееся освоение земель за рекой (1-я Ельцовка) повторяло рисунок этой квартальной решетки. Таким образом, к началу 1930-х гг. в городе сформировалось четыре административных района: Центральный, Вокзальный, Ипподромский и Закаменский.

Центральный и Ипподромский районы решены в единой меридионально-широтной квартальной сетке улиц. Западная сторона Центрального района выходила к Михайловскому лугу (проспект Димитрова), а восточная окраина Ипподромского района ограничивалась городским кладбищем (парк «Березовая роща»). Причем преобладали два типа прямоугольных кварталов: севернее ул. Максима Горького средние габариты квартала составляли 85×230 м, а южнее – до ул. Колыванской – кварталы становятся шире – 120×230 м.

В конце 1920 – начале 1930-х гг. традиционная квартальная структура центра города начала подвергаться первым интервенциям активного каменного строительства за счет ликвидации улиц. Так, в связи с созданием в 1928–1933 гг. жилищно-строительных кооперативных товариществ «Печатник» и «Кузбассуголь» в новаторском стиле конструктивизма, исчезли соответственно фрагменты улиц Ядринцевской и Журиной между Красным просп. и ул. Советской [7, с. 55–57]. Со второй половины 1930-х гг. в качестве идеологического декора командно-административной системы был изобретен «единственно верный» художественный метод – «социалистический реализм», предписывающий архитекторам в обязательном порядке осваивать историческое наследие. Позже это оформилось в стиль сталинский ампи́р, или сталинскую застройку, а в городском планировании утвердился принцип проектирования укрупненного квартала. Не стал исключением и Новосибирск. С 1938 по 1952 г. в Гипрогоре при участии арх. И.И. Соколова-Добрева, а затем и под его руководством разрабатывалась серия проектов планировки и застройки города, в которых предполагалось даль-

нейшее преемственное развитие квартальной структуры, хотя и в варианте укрупненных кварталов [8; 9, с. 28–29]. Такие кварталы предполагалось создавать в основном за счет поглощения улиц города, маркирующих длинные стороны традиционного квартала по принципу «через одну». Так, исторический квартал в центре города площадью 2 га (85×230 м) увеличивался до 4,6 га с учетом поглощенного участка улицы. Укрупненные кварталы сталинской застройки составляют существенную долю в планировочной структуре города. С началом эпохи массового жилищного строительства (1954–1955 гг.) в советском градостроительстве возобладали микрорайонная доктрина жилой застройки, имеющая место и поныне. Это привело к серьезным утратам первоначальной квартальной решетки города, сложившейся к 1931 г.

Так, в центре города полностью исчезли улицы Карамзина и Пушкина. Остались отрывочные фрагменты улиц Ломоносова, Ермака, Лермонтова, Достоевского, Кольцова. Как раз в 1931 г. на рыночной площади началось возведение Дома науки и культуры (ДНК) со сквером, протянувшимся от Красного просп. до ул. Каменской. В связи с этим был ликвидирован участок ул. Серебренниковской, а также восточное продолжение ул. Кузнецкой (ныне ул. Ленина) до каньона р. Каменки. Севернее кладбища (парк «Березовая роща») улицы Санитарная, Хуторская и Сокурская были впоследствии поглощены промышленной зоной, а кварталы южнее кладбища – восточные продолжения улиц Ломоносова, Державина, Ермака и Крылова – исчезли с началом строительства просп. Дзержинского после Великой Отечественной войны. Впоследствии Ипподромский район вошел в состав Центрального района. Севернее железной дороги и за речкой Первой Ельцовкой (будущий Заельцовский район) квартальная решетка не сохранилась совсем, за исключением участка частного сектора восточнее Ипподромской магистрали. Выпадает из этой закономерности, пожалуй, ул. Бийская (Депутатская), которая не только не была урезана, но и увеличила свою протяженность за счет возникновения сквера перед ДНК, а позже – административного корпуса, примыкающего к зданию городской мэрии.

Судьба кварталов Центрального района южнее ул. Максима Горького сложилась более благоприятно. Они сохранились в целом до нашего времени, кроме небольших фрагментов улиц Чаплыгина, Октябрьской и Коммунистической, утраченных в ходе пробивки Октябрьской магистрали, направление которой было задано с появлением здания спортивного комплекса «Динамо» в 1933 г., выполненного по проекту архитекторов Б.А. Гордеева и С.П. Тургенева [7, с.132–135]. В 1960-е гг. началось строительство Вокзальной магистрали в направлении, заданном комплексом зданий управления МПС (РЖД) еще в 1935 г. (архитекторы С.А. Венгеров, А.Н. Ширяев) [7, с. 202–205]. В результате в треугольнике нынешних улиц Димитрова – Советская – Ленина характер городского пространства кардинально поменялся. Исчезли западные части улиц Журиной, Романова, Потанинской, Ядринцевской, Трудовой, Семипалатинской (Орджоникидзе). На их месте возникли два укрупненных квартала 1930–1960-х гг. и микрорайон, выходящий северной стороной на пл. Кондратюка.

На рисунке представлена наглядная схема улиц центральной части г. Новосибирска, утраченных на сегодняшний день с 1931 г. Пунктирными линиями обозначены направления будущих Вокзальной и Октябрьской магистралей.

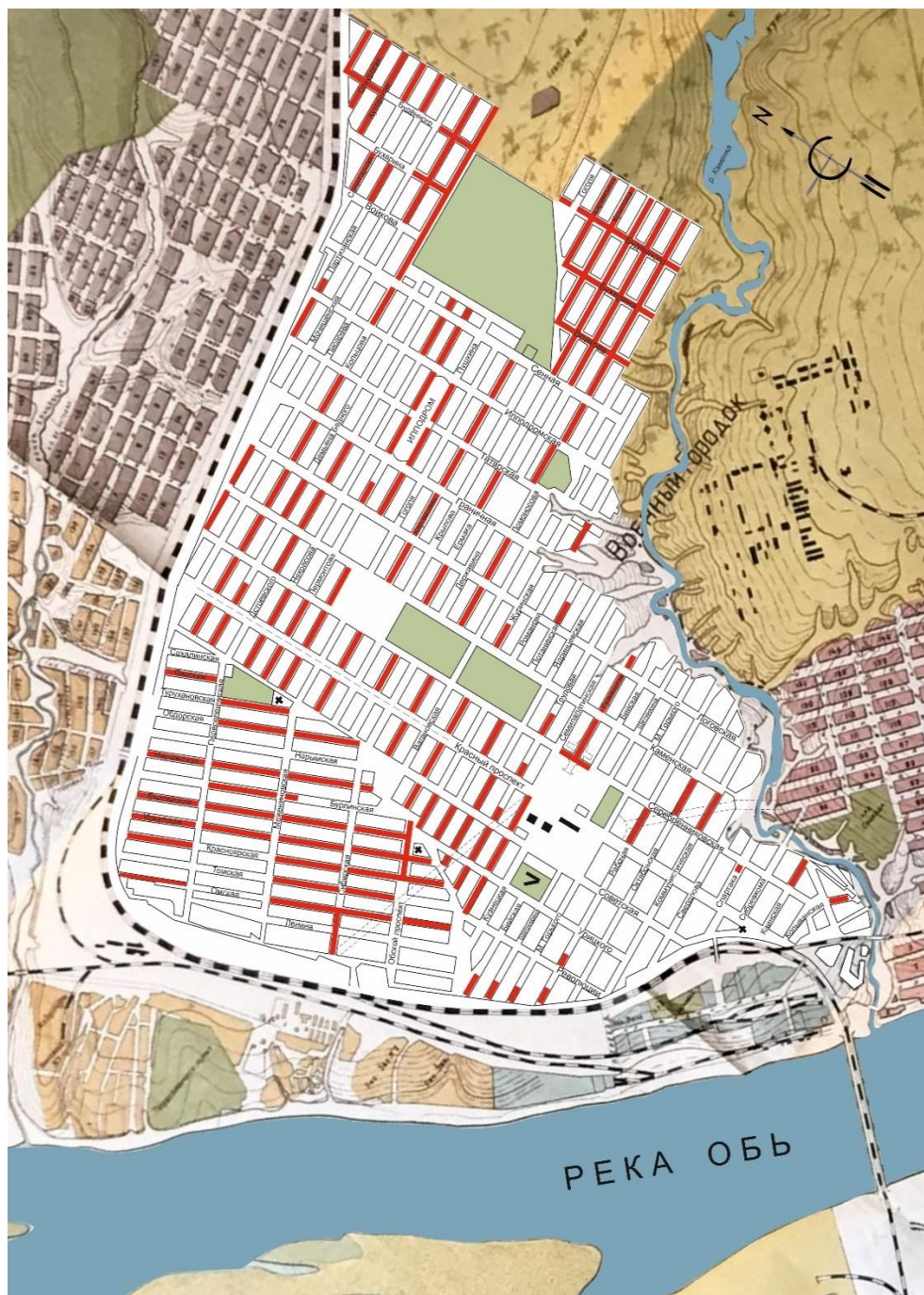


Схема утраченных улиц центральной части г. Новосибирска на базе карты 1931 г.

Квартальная сетка большей части Вокзального района отличалась от остальных районов оригинально вытянутыми пропорциями кварталов с соотношением сторон в плане 1:5 и размерами 75×360 м. Нужно иметь в виду, что в 1931 г. в состав Вокзального района входила вся северная половина Красного просп. до ул. Серебренниковской, выше ул. Вагановской (Фрунзе). Четыре улицы, перпендикулярные руслу Оби, сохранились. Правда, ул. Сибирская понизила свой статус до внутридворового проезда, а восточное крыло Обского (Комсомольского) просп., выходившее к Михайловскому логу, исчезло, отсеченное Вокзальной магистралью. Двенадцать меридиональных улиц Вокзального района имели названия сибирских городов (кроме ул. Ленина) и о. Сахалин. До настоящего времени сохранились в неизменном виде только две улицы: Нарымская и Ленина. От улиц Омской, Томской (Салтыкова-Щедрина), Красноярской, Бурлинской, Обдорской сохранились лишь небольшие фрагменты. Исчезли полностью улицы Иркутская, Енисейская, Нерчинская, Турухановская, Сахалинская. Вся эта часть города оказалась поглощенной Челюскинским жилым массивом в 1960–1980-е гг. Интересно, что нынешняя ул. Ленская появляется на карте города в 1935 г., а до этого она называлась Турухановской и выходила от ул. Железнодорожной через нынешний Нарымский сквер на ул. Межениновскую (Челюскинцев) непосредственно слева от Вознесенского кафедрального собора. Этот треугольный по форме плана участок (Турухановская – Советская – Переселенческая) назывался «сад Турухановский». А старая, ныне не существующая, ул. Ленская на карте 1931 г. проходила восточнее, соединяя Железнодорожную с Переселенческой (1905 года). А до 1931 г. она называлась Сахалинской. В ходе строительства здания цирка был ликвидирован и участок ул. Обдорской от Переселенческой до Межениновской. На образовавшейся территории, объединенной с Турухановским садом, был разбит нынешний Нарымский сквер.

В относительно меньшей степени пострадала традиционная квартальная решетка Закаменского (Октябрьского) района. Типичный габарит квартала здесь составляет 90×230 м. Тем не менее уже в начале 1930-х гг. началось строительство комплекса зданий Сибстрина, что привело к закрытию участков улиц Толстого и Чехова. Ул. Добролюбова, на промежутке от ул. Ленинградской до ул. Тургенева, превратилась во внутренний проезд институтского городка, хотя первоначально главный корпус Строительного института должен был достраиваться по ул. Ленинградской. С 1927 по 1931 г. была застроена кварталами юго-восточная часть Базарной пл. по ул. Локтевской (Бориса Богаткова). Ключевое здание здесь – сельскохозяйственный техникум архитектора С.Д. Крячкова (ныне аффинажный завод). В соответствии с планом И.И. Соколова-Добрева уже в Октябрьском районе до 1953 г. в стиле сталинского ампира успели построить только два укрупненных квартала. Они акцентировали выход ул. Восход на Октябрьскую пл. перекрестком с ул. Кирова (арх. Н.Ф. Храненко) [9, с. 20]. При этом исчезает ул. Садовая. Так сформировались основные пропорции современной пл. Пименова. Кстати, в проектах того же Гипрогора еще с 1931 г. предлагалась интересная идея Октябрьской магистрали как «зеленой ленты» Закаменского района, проходящей через Базарную площадь. Двойная магистраль Московская – Кирова

с широким бульваром-променадом между ними в некоторых вариантах планировок уходила до самой р. Плющихи. Закаменская «лента» должна была соединяться с «зеленой лентой» Центрального района. Красивая идея как всегда осталась на бумаге [10]. На ППЗ 1952 г. И.И. Соколов-Добрев выбрал в качестве направления будущей Октябрьской магистрали не ул. Кирова, а ул. Московскую, что на плане выглядит весьма эффектно. По-видимому, окончательный вывод магистрали на ул. Кирова с характерным изломом в плане был позже обусловлен решением о строительстве ГПНТБ. Застройка остальных кварталов южнее ул. Кирова осуществлялась уже по принципу свободной планировки. В 1960–90-е гг. массовая микрорайонная застройка выплеснулась в основном на ранее неосвоенные территории к северо-востоку от ул. Воинской: по обе стороны от ул. Бориса Богаткова, затем МЖК, Плющихинский жилой массив, Гусинобродский и Волочаевский жилые массивы Дзержинского района. В годы Великой Отечественной войны на базе эвакуированных предприятий начали активно развиваться Дзержинский и Калининский районы. До середины 1950-х гг. они активно застраивались укрупненными «сталинскими» кварталами, придавшими безусловную самобытность архитектурному лицу города – начало просп. Дзержинского, ул. Авиастроителей, ул. Богдана Хмельницкого и др. Затем массовое микрорайонное строительство охватило и эти районы (жилые массивы Ботанический, Кропоткинский, Плехановский, Родники, Снегири). Ни о какой преемственности исторической квартальной решетки в это время речь уже не шла.

В итоге краткого анализа динамики квартальной структуры можно отметить, что за всю историю города улицы, образующие короткие стороны кварталов (авеню), в основном не пострадали. Все трансформации традиционной планировки происходили главным образом за счет улиц, маркирующих длинные стороны кварталов (стриты). Исключением можно считать «авеню» южнее городского кладбища – улицы Войкова, Бухарина, Буденного, находившиеся на самой окраине города.

В последнее десятилетие в проектной практике и реальном строительстве начали происходить позитивные изменения в характере и качестве жилой застройки города, в соответствии с гуманитарными тенденциями современного урбанизма. Такие жилые районы представляют собой некий симбиоз микрорайона и квартальной застройки, как, например, жилой район «Европейский берег» по ул. Большевистской. Основную часть жилой застройки составляют дома замкнутого или частично замкнутого периметра с комфортными внутренними дворами, хотя есть и односекционные «башни» без выраженных соседских пространств. Первые этажи всех зданий вдоль улиц предназначены под аренду частному бизнесу для общественного обслуживания. Представлен современный стильный архитектурный дизайн фасадов жилых зданий. Реализован качественный дизайн среды и благоустройства территории современного уровня, в том числе велодорожки. В районе представлена застройка нескольких типов: два крупных квартала площадью по 4,5 га, включающих и периметральную, и открытую застройку; квартал с полузамкнутой планировкой площадью 3 га; квартал площадью 2 га, состоящий из двух домов с замкнутыми дворами и одного секционного дома. Северо-западную часть

района предполагается застраивать совсем небольшими кварталами площадью от 0,5 до 0,7 га по размерам, идентичным кварталам старых европейских городов с двориками-колодцами, что в два раза меньше традиционного Ново-николаевского квартала. Какие из этих вариантов окажутся жизнеспособными, наверное, покажет время. В планировке «Европейского берега», по мнению автора, есть и существенные недостатки. Предусмотрено большое количество неудобно расположенных открытых парковочных мест, существенно снижающих комфорт и безопасность передвижения людей по ул. Владимира Заровного. Застройка слишком близко подходит к воде, что не дает возможности организовать комфортную парково-набережную зону. В этом «Европейский берег» явно проигрывает проекту детальной планировки этого района, выполненному еще в 1986 г. в институте «Новосибгражданпроект» (рук. архитектор В.А. Дыха), в котором предполагалась широкая многофункциональная рекреационная зона набережной городского значения [11, с. 23]. В процессе строительства находятся еще несколько жилых районов подобного типа, что позволяет надеяться на новые перспективы Новосибирска как города с удобной, комфортной и дружелюбной к человеку архитектурной средой.

Заключение

Возрождение квартальной застройки – одно из важнейших составляющих гуманизации современного Новосибирска. Желательно, чтобы дальнейшее развитие города шло по пути интенсификации, с рациональным использованием внутренних резервов, повышением качества среды уже существующих территорий без расплзания вширь огромной площади города. Квартальный принцип застройки предоставляет возможности:

1. Создавать планировочно-осмысленную структуру общественно-рекреационных пространств: общегородское, локальное (соседское), личное (частное) пространства. А это важное условие комфорта среды.

2. Оптимизировать, улучшить транспортную ситуацию в городе, увеличив количество улиц различных категорий. По причине микрорайонного строительства Новосибирск, как и другие крупные города России, имеет совершенно недостаточную протяженность улично-дорожной сети по отношению к общей площади города в сравнении с аналогичными мегаполисами мира.

3. В обществе свободного рынка квартальная структура города способствует развитию уличного пространства, интересного для горожанина в первую очередь как пешехода. За счет размещения на первых этажах зданий предприятий малого, индивидуального, семейного бизнеса в сфере торговли, общественного питания, культуры, образования, спорта и других услуг возникает «котел» неформального человеческого общения, оживленная, увлекательная уличная жизнь, которой, увы, так не хватает Новосибирску, как городу с населением в 1,5 млн человек.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Минина Н.А.* Первый градостроительный план в истории Новосибирска // Баландинские чтения. Новосибирск, 2015. Т. 10. Вып. 1. С. 252.

2. Минина Н.А. Образование города Новониколаевска: землеустройство в 1893–1895 гг. // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 397. С. 147–153.
3. Баландин С.Н. Новосибирск. История градостроительства 1893–1945 гг. Новосибирск : Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1978.
4. Долнаков А.П., Изнаирская Е.М. О первоначальном этапе формирования Новосибирской градостроительной системы (НГС) // Сибирская архитектурно-художественная школа. XX лет : материалы Всероссийской научно-практической конференции. Новосибирск: НГАСХА, 2009. С. 131–136.
5. Меерович М.Г. Градостроительная политика в СССР. От города-сада к ведомственному рабочему поселку // Новое литературное обозрение. Москва, 2017. С. 167–203.
6. Маранин И.Ю., Осеев К.А. Новосибирск: Пять исчезнувших городов. Книга II. Город красного солнца. Новосибирск : Свинин и сыновья, 2017. С. 126–134.
7. Невзгодин И.В. Конструктивизм в архитектуре Новосибирска. Новосибирск, 2013. С. 55–57.
8. Ерохин Г.П. Эволюция пространственной структуры г. Новосибирска 1893–2007 гг. Новосибирск : НГАСХА, 2008. 104 с.
9. Баландин С.Н. Новосибирск. История градостроительства 1945–1985 гг. Новосибирск : Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1986.
10. Духанов С.С. Влияние передовых идей авангарда на формирование общественного центра Новосибирска в начале 1930-х годов // Сибирская архитектурно-художественная школа. XX лет : материалы Всероссийской научно-практической конференции. Новосибирск : НГАСХА, 2009. С. 138–141.
11. Туманик Г.Н. Новосибирск. Неиспользованные возможности градостроительного формирования. Новосибирск : НГАСХА, 2009. С. 23.

REFERENCES

1. Minina N.A. Pervyi gradostroitel'nyi plan v istorii Novosibirska [History of urban development in Novosibirsk]. In: Balandinskii chteniia (Coll. Papers in memory of S.N. Balandin 'Balandin Readings'). 2015. V. 10. No. 1. P. 252. (rus)
2. Minina N.A. Obrazovanie goroda Novonikolaevska: zemleustroistvo v 1893–1895 gg. [Novonikolaevsk city: land management in 1893–1895]. Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building. 2015. No. 397. Pp. 147–153. (rus)
3. Balandin S.N. Novosibirsk. Istoriya gradostroitel'stva 1893–1945 gg. [Novosibirsk. The history of urban planning in 1893–1945]. Novosibirsk, 1978. (rus)
4. Dolnakov A.P., Iznairskaya E.M. O pervonachal'nom etape formirovaniya Novosibirskoi gradostroitel'noi sistemy [Formation stage of the Novosibirsk urban planning system]. In: Sibirskaya arkhitekturno-khudozhestvennaya shkola. XX let : materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Proc. All-Russ. Sci. Conf. 'Siberian Architectural School of Art'). Novosibirsk, 2009. Pp. 131–136. (rus)
5. Meerovich M.G. Gradostroitel'naya politika v SSSR. Ot goroda-sada k vedomstvennomu rabochemu poselku [Urban planning in the USSR. From the city-garden to working village]. Novoe literaturnoe obozrenie. 2017. Pp. 167–203. (rus)
6. Maranin I.Yu., Oseev K.A. Novosibirsk: Pyat' ischeznuvshikh gorodov. Kniga II. Gorod krasnogo solntsa. [Novosibirsk: Five disappeared cities. Book II. The city of the red sun]. Novosibirsk: Svin'in i synov'ya, 2017. Pp. 126–134. (rus)
7. Nevzgodin I.V. Konstruktivizm v arkhitekture Novosibirska [Constructivism in the Novosibirsk architecture]. Novosibirsk, 2013. Pp. 55–57. (rus)
8. Erokhin G.P. Evolyutsiya prostranstvennoi struktury g. Novosibirska 1893–2007 gg [The evolution of Novosibirsk spatial structure in 1893–2007]. Novosibirsk, 2008. 104 p. (rus)
9. Balandin S.N. Novosibirsk. Istoriya gradostroitel'stva 1945–1985 gg. [Novosibirsk. The history of urban planning in 1945–1985]. Novosibirsk, 1986. Pp. 28–29. (rus)
10. Dukhanov S.S. Vliyanie peredovykh idei avangarda na formirovanie obshchestvennogo tsentra Novosibirska v nachale 1930-kh godov [The avant-garde influence on the formation of the Novosibirsk public center early in the 1930s]. In: Sibirskaya arkhitekturno-khudozhestvennaya shkola. XX let: materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Proc. All-Russ. Sci. Conf. 'Siberian Architectural School of Art'). Novosibirsk, 2009. Pp. 138–141. (rus)

11. *Tumanik G.N.* Novosibirsk. Neispol'zovannye vozmozhnosti gradostroitel'nogo formirovaniya [Novosibirsk. Other opportunities for urban development]. Novosibirsk, 2009. P. 23. (rus)

Сведения об авторе

Булгач Рубэн Вячеславович, доцент, Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств, 630099, г. Новосибирск, Красный проспект, 38, gfgfvf@ngs.ru

Author Details

Ruben V. Bulgach, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts, 38, Krasnyi Ave., 630099, Novosibirsk, Russia, gfgfvf@ngs.ru

УДК 725.57

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-61-69

*С.В. ИЛЬВИЦКАЯ^{1,2}, И.В. МИХАЙЛОВА¹,*¹*Национальный исследовательский**Московский государственный строительный университет,*²*Государственный университет по землеустройству*

УСТОЙЧИВАЯ АРХИТЕКТУРА КАК ВЕКТОР РАЗВИТИЯ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОШКОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Роль устойчивой архитектуры с внедрением инновационных технологий набирает свою значимость. На сегодняшний день поиск новых архитектурных решений тесно связан с приходом информационной эпохи, структурными процессами в культуре и природно-климатическими изменениями, что сводится к изучению актуальных проблем и задач в проектировании дошкольных образовательных организаций.

Цель исследования – выявить современные тенденции устойчивого проектирования дошкольных образовательных организаций за рубежом.

В статье рассматриваются реализованные проекты дошкольных образовательных организаций таких зарубежных стран, как Колумбия, Италия, Германия, Норвегия, Вьетнам, Китай, Южная Корея, Япония. Анализ проектов позволил выделить три основных принципа устойчивой архитектуры: экоустойчивость, интегративность и адаптивность.

Результат исследования показал определенно новые тенденции в проектировании современных дошкольных образовательных организаций, которые могут стать основой для развития отечественной строительной мысли и качественного подхода к реализации будущих проектов дошкольных образовательных организаций.

Ключевые слова: дошкольные образовательные организации; детские сады; принципы устойчивой архитектуры; энергоэффективность; экоустойчивость; интегративность; адаптивность.

Для цитирования: Ильвицкая С.В., Михайлова И.В. Устойчивая архитектура как вектор развития в проектировании дошкольных образовательных организаций // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 61–69.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-61-69

*S.V. ILVITSKAYA^{1,2}, I.V. MYKHAYLOVA¹,*¹*The National Research Moscow State University of Civil Engineering,*²*Moscow State University of Land Management*

SUSTAINABLE ARCHITECTURE IN PRESCHOOL EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS

The role of sustainable architecture with the introduction of innovative technologies become more and more important. Today, the search for new architectural solutions is closely connected with the information age, structural processes in culture, nature and climatic conditions. This reduces to studying the current problems of design engineering of preschool educational establishments.

The purpose of this paper is to identify the current trends in sustainable architecture of preschool educational establishments abroad.

The paper discusses the implemented projects of preschool educational establishments in Colombia, Italy, Germany, Norway, Vietnam, China, South Korea, Japan. The analysis of the

data obtained shows three main principles of sustainable architecture, namely eco-sustainability, integrity and adaptability.

The paper proposes new approaches to design engineering of modern preschool educational establishments, which can become the basis for the construction development in Russia and the qualitative approach to the future project implementation of preschool educational establishments.

Keywords: preschool educational establishments; kindergartens; sustainable architecture principles; energy efficiency; eco-sustainability; integrity; adaptation.

For citation: Ilvitskaya S.V., Mykhaylova I.V. Ustoichivaya arkhitektura kak vektor razvitiya v proektirovanii doshkol'nykh obrazovatel'nykh organizatsii [Sustainable architecture development in preschool educational establishments]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 61–69.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-61-69

Введение

В настоящее время происходит эволюция формообразования детских садов, которая диктуется принципом устойчивого развития архитектуры, что связано с глобальным технологическим прогрессом, структурным изменением в культуре, природно-климатическими и экологическими показателями. Активное внедрение современных методов строительства, конструктивных решений, энергосберегающих технологий, прогрессивных средств обучения влечет за собой пересмотр подходов в проектировании дошкольных образовательных организаций (ДОО). Современная архитектура детских садов должна подстраиваться под меняющиеся внешние факторы, быть гибкой и восприимчивой к воспитательному процессу, синтезировать технические новшества.

Значимость вектора устойчивого развития архитектуры набирает свой рост. Специалисты выделяют первостепенные ориентиры, которые сводятся к энергоэффективности и экономической рациональности (Ю.А. Табунщиков, Г.В. Есаулов, В.А. Нефедов, А.Н. Ремизов), средовому подходу в архитектуре (Н.А. Сапрыкина, В.В. Шилин, Г.В. Есаулов, А.Н. Тетиор, Д.И. Марков) [1, с. 38]. В зарубежных странах принципы устойчивого развития начинают определять сущностный характер построек, внедряются экологические методы проектирования [2, с. 5].

Принципы устойчивой архитектуры

Выбор конструктивной и инженерно-технической базы дошкольных организаций зависит от основополагающих ценностных ориентиров устойчивой архитектуры, которые можно свести к трём основным принципам: экоустойчивость, интегративность, адаптивность [3, с. 22].

Экоустойчивость является результатом зелёного строительства, которое направлено на возведение зданий с минимальным воздействием на окружающую среду и рациональным применением энергетических ресурсов. Для этого широко используют экологически чистые материалы, энергосберегающие технологии, частично или полностью автономные инженерные системы. В частности, применяют: органические материалы вторичной переработки; солнечные батареи и накопители энергии; отопительные установки с систе-

мой регулирования, геотермальные системы отопления; водосборные резервуары для дождевой воды, «серой» воды с дальнейшей очисткой и повторным использованием; светопрозрачные ограждающие конструкции; системы естественной вентиляции; высокоэффективную теплоизоляцию зданий; устройство зелёных кровель и зелёных фасадов.

Примером вышеуказанного принципа может служить детский сад Барбапапа в Виньоле (рис. 1), который разработан на конкурсной основе в рамках стратегии устойчивого проектирования [4]. Место расположения объекта – граница районного развития, холм над городом. Архитекторы постарались связать проект с окружающей средой и сделать его энергоэффективным. Детский сад рассчитан на 60 детей, что соответствует 4 классам, которые сгруппированы в северной части здания и обращены окнами на восток. Остекление используется по всей длине фасада, что гарантирует нормативный показатель инсоляции на протяжении всего дня. Часть здания имеет зелёную кровлю, которая поддерживает теплоизоляцию и сохраняет экологический комфорт. В южной стороне расположены солнечные батареи, обеспечивающие энергетическую независимость всему детскому саду. Также в проекте применяется геотермальный зонд, который запускает теплообмен между землёй и тепловым насосом, обеспечивая здание горячей водой. Ещё одним ресурсом является дождевая вода, которая собирается в специальный резервуар для орошения и слива в туалетных комнатах. Цвет и материал здания выступают как естественный фон окружающей среды, что также соответствует принципу устойчивой архитектуры.

Еще одним примером является сельскохозяйственный детский сад в г. Бьенхоа (рис. 2), построенный в противовес быстрой урбанизации с воспитанием ценностного подхода к живой природе [5]. Рассчитан на 500 детей работников соседствующей обувной фабрики. Здание спроектировано в виде сплошной трехлепестковой спирали в один и два уровня с организацией трёх внутренних дворов открытого типа. Помещения располагаются вдоль открытых террас и ориентированы на две стороны, что обеспечивает перекрестную вентиляцию и максимальное естественное освещение. С внешней стороны здания применены зелёные фасады в виде вертикального озеленения, которое обеспечивает затенение и выступает в роли солнцезащиты. Кровля устроена с зелёным покрытием по всей длине здания, что гарантирует энергоэффективность, звукоизоляцию, сохранение экологии. Для аграрного обучения детей на крыше выделен участок в 200 кв. м, остальная площадь используется как игровое пространство. Заводские сточные воды очищаются и используются для орошения зелёных посадок и в качестве смыва в санитарных узлах. После 10 месяцев функционирования детского сада были опубликованы показатели: здание экономит 25 % энергии и 40 % пресной воды.

Интегративность характеризуется гармоничным включением архитектурного объекта в градостроительную и ландшафтную среду. Достигается путём применения материалов и отделки, контекстно пересекающихся с окружением (цветом, тоном, фактурой, идентичностью, сомасштабностью архитектурных членений), интеграции озеленения и архитектурного объекта. Особо деликатно в процессе проектирования рассматривается последнее: не ландшафт

приспосабливают под строительную площадку, а здание включают в структуру естественной среды.

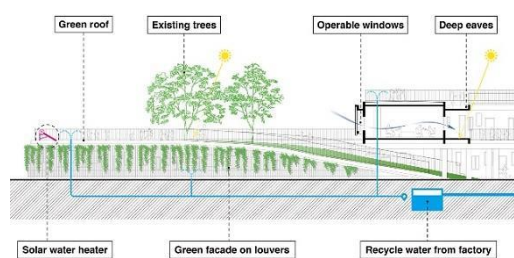
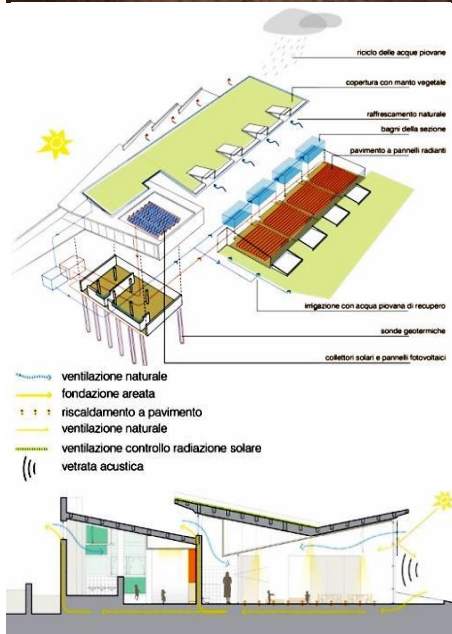


Рис. 1. Детский сад Барбапапа, Виньола, Италия, 2009 г. Фото Фабио Мантовани

Рис. 2. Сельскохозяйственный детский сад, Бьенхоа, Вьетнам, 2013 г. Фото Гремсы, Хироюки Оки

Интересным примером интеграции в урбанистическую среду служит детский сад MAD в Пекине (рис. 3), рассчитанный на 400 детей [6]. Автор вписывает структуру ДОО в застройку начала XVIII и конца XX в., реконструируя и сохраняя историческую архитектуру. Дополнительно остаются нетронутыми три крупных дерева, которых огибает объем здания и включает в состав внутренних дворов. Концептуальное решение заключается в том, что новые помещения сливаются со зданием 1990-х гг. и вплотную огибают историческую застройку, связываясь с ней горизонтальными коммуникациями. Так, в семь домов 1725 г. архитекторы поместили: классы рисования, многофункциональную комнату, помещения для учителей, библиотеку и танцевальный класс. В угловом здании конца XX в. разместили служебно-бытовые

и групповые помещения. Новое пространство, будто вулканическая лава, заполнило весь участок с обходом нескольких островков. Здесь расположились групповые пространства, не ограниченные перегородками, а лишь частично разбитые на функциональные зоны. Детский сад выступает словно аквариум для старой застройки, сквозь стены которого ребёнок может ощутить разницу времён и важность сохранения истории. В северной части детского сада MAD возведены: гимнастический и театральный залы, книжный магазин. И завершает данную концепцию кровля, которая превратилась в холмистую игровую площадку с ярким резиновым покрытием и зелёными участками. Находясь на ней, можно ощутить чувство парения над крышами, безграничности воображения и свободы. Таким образом, архитекторы мастерски сумели организовать целый квартал Пекина, не разрушая, а обогащая его функциональным наполнением с сохранением исторической застройки.

Еще один пример выразительной интегративности – дошкольная организация в Зельбе двух испанских бюро «Архитекторы Гутьеррес-дела Фуэнте» и «ТаллерДЕ2». Проект был удостоен первой премии в девятом конкурсе Eurorap и стал частью городской стратегии, направленной на восстановление центра населенного пункта. Концепция ДОО отличается своей архитектурно-планировочной гибкостью и представлена в виде разномасштабных объемов с типовым наполнением, встроенных в промежутки между зданиями в одну линию с существующей застройкой. Так, центр развития детей на ул. Виттельсбахи, 16 (рис. 4), – первый из четырех объектов, построенный в рамках данного проекта [7]. Он состоит из пяти блоков разной этажности, сопряженных торцами и переходной галереей. В них расположены: вертикальная коммуникация, игровые зоны, бытовые помещения, административные помещения и подсобные для хранения инвентаря. Каждый блок и детализация адаптированы под общий масштаб окружения с приобретением своего уникального цвета и вида отделки. На крышах и главных фасадах используется единый материал сплошной полосой, а торцы окрашены в нейтральный серый цвет. Такая дифференциация создана для гармоничной интеграции в баварский архитектурный контекст.



Рис. 3. Детский сад MAD, Пекин, Китай, 2018 г.
Фото SAN. Создание AR-изображений



Рис. 4. Центр развития детей, Зельб, Германия, 2012 г. Фото Фернандо Альда

Следующий пример принципа интегративности ДОО рассматривается в условиях сложного рельефа. Детский сад Нейве Имей в Соннаме (рис. 5) расположен на ограниченном участке склона [8]. В данном случае территория застройки и её непосредственное окружение формируют объем здания. В ходе решения поставленных задач архитекторами был разработан новый тип детского сада. Здание состоит из трёх уровней: первый – автостоянка со вспомогательными помещениями, второй и третий – детский сад. Высота объекта постепенно возрастает по склону вверх, ассимилируясь с горной местностью. Благодаря ярусному устройству и рельефу местности, всё здание обеспечено естественным освещением. При этом все этажи, за исключением верхнего уровня, контактируют с землёй, и ряд классных помещений имеют дополнительные выходы в небольшие дворики. Паркинг покрыт озелененной кровлей, таким образом архитекторы нашли решение нормативным требованиям (20 % застраиваемой территории должно иметь озеленение) и организовали безопасную игровую зону с площадками и малыми архитектурными формами. В результате удалось спроектировать ДОО на сложном участке с сохранением рельефа и обеспечить их гармоничное сосуществование.

Детский сад Санто-Доминго Савио (рис. 6), подобно предыдущему примеру, расположен на крутом (22 %) скалистом склоне и смог адаптироваться к топографии без разрушения существующих пород [9]. В данном случае архитекторы выбрали модульный подход в проектировании дошкольной организации. Проект состоит из двух уровней, соединенных крытыми пандусами. Модульная структура позволила гибко обогнуть сложный рельеф. Верхний объем, формирующий компактный внутренний двор, занят под младшие группы, в нижнем, линейном, – находятся старшие дети. Здесь формируется продольная терраса для игр и осмотра достопримечательностей. Фасад решен на контрасте с окружающей кирпичной архитектурной средой. Гранитная отделка приобрела оттенки зелёного и синего, стремясь к тому, чтобы новая инфраструктура была легко распознана в квартале.



Рис. 5. Детский сад Нейве Имей, Соннам, Южная Корея, 2017 г. Фото Джунван Юн



Рис. 6. Детский сад Санто-Доминго Савио, Медельин, Колумбия, 2012 г. Фото Серхио Гомес

Адаптивность определяется «гибкостью» здания к изменениям во времени. В первую очередь данный ориентир зависит от выбора конструктивного решения объекта. Актуальными в контексте устойчивой архитектуры являются: универсальные каркасные системы, оболочки или рамные конструкции,

организация многофункциональных пространств, применение мобильных перегородок и т. д.

Примером данного принципа являются проекты дошкольных образовательных организаций компании «70°N Архитектура», которых объединяет одна концепция – трансформируемые пространства. Детский сад в Тромсё (рис. 7) представляет собой здание линейной композиции с гибким внутренним пространством [10]. Групповые ячейки построены таким образом, что конфигурацию комнат можно изменять с помощью мобильных перегородок, закрепленных на осевом стержне, создавая большие и малые зоны. Мебель и игрушки частично интегрированы в стены. Таким образом, пространства становятся многофункциональными и адаптивными.

В основе здания детского сада Монтессори в Пекине (рис. 8) заложена универсальная каркасная система [11]. ДОО является результатом реновации офисной организации, размещается в четырехэтажном объеме, несущий остов которого выстраивается с равным шагом колонн. Первым преобразованием был выбор галерейной схемы, которая определила ориентацию групповых помещений на одну сторону с расположением вдоль горизонтальной коммуникации, наделенной множеством функций. На третьем этаже сохранены открытые пространства с разделением на функциональные зоны: библиотеку, творческую мастерскую и универсальный зал. Благодаря конструкции с крупным шагом изначально присутствовала возможность маневрирования и реализации разных замыслов. Данная структура предполагает изменения внутренней среды с сохранением основного каркаса здания, что соответствует принципу адаптивности.



Рис. 7. Детский сад, Тромсё, Норвегия, 2006 г. Фото Иван Бродей



Рис. 8. Детский сад Монтессори, Пекин, Китай, 2017 г. Фото Кьяра Е.

Детский сад «база Фукумаса» в Итихаре (рис. 9) также является примером устойчивой архитектуры [12]. Он расположен в бывшем здании склада, внутреннее наполнение которого было удалено с сохранением основной рамной конструкции, обтянутой прочной прозрачной водонепроницаемой мембраной. Свободное пространство разделили деревянными конструкциями на функциональные зоны в два уровня. На первом этаже расположили все помещения детского сада, а на втором – организовали свободное пространство для игр.

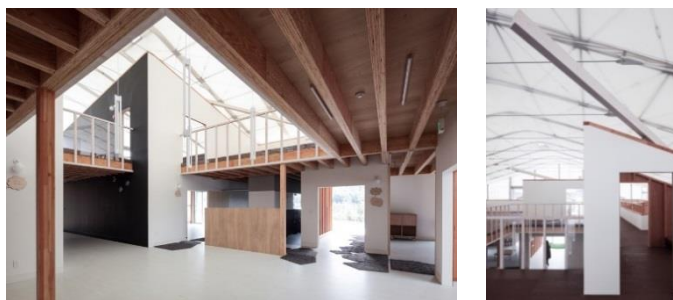


Рис. 9. Детский сад «База Фукумаса», Итихара, Япония, 2016 г. Фото Ясутака Йошимура

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод, что принципы устойчивой архитектуры нацелены на программирование пролонгации зданий, создание сценарного развития изменения их архитектурно-планировочной структуры и возможной реновации в будущем. Становление энергоэффективности как парадигмы проектирования, симбиоз объемно-пространственных решений и природной среды в пользу экологической составляющей ведут за собой сокращение ресурсопотребления, энергонезависимость зданий и в целом положительные экономические показатели. К тому же ориентация на средовой подход в архитектуре позволит качественно повысить художественно-эстетический облик городов.

Проектирование дошкольных образовательных организаций с учетом устойчивости архитектуры позволит значительно расширить архитектурно-типологические характеристики, окажет положительное влияние на объемно-пространственное решение и в целом повлияет на становление ориентиров будущих поколений, связанных с бережным отношением к природным ресурсам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Салмина О.Е., Быстрова Т.Ю. Принципы создания устойчивой архитектуры // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. № 4. С. 36–40.
2. Есаулов Г.В. Энергоэффективность и устойчивая архитектура как вектор развития // АВОК. 2015. № 5. С. 4–11.
3. Дианова-Клокова И.В., Метаньев Д.А. Устойчивая архитектура и пространство инноваций // Архитектура и строительство России. 2015. 07 (211). С. 16–31.
4. Nido d'infanzia e Centro bambini genitori – Vignola (MO) // Ccdstudio.eu. URL: http://www.ccdstudio.eu/?page_id=205#/progetto-1 (дата обращения: 20.12.2018).
5. Farming Kindergarten // Votrongnghia.com. URL: <http://votrongnghia.com/projects/farming-kindergarten-2/> (дата обращения: 17.11.2018).
6. Courtyard Kindergarten // I-mad.com. URL: <http://www.i-mad.com/work/courtyard-kindergarten/?cid=4> (дата обращения 01.02.2019).
7. Haus der Tagesmütter in Selb, Germany (Childminders Centre) // Gutierrez-delafuente.com. URL: <https://www.gutierrez-delafuente.com/en/component/k2/item/13-haus-der-tagesmuetter-in-selb> (дата обращения: 15.01.2019).
8. Naver Imae Child Care Center // Dlimarch.com. URL: <https://www.dlimarch.com/blank> (дата обращения: 23.10.2018).
9. Santo Domingo Kindergarten // Planbarq.com. URL: <http://www.planbarq.com/#/jardn-infantil-sd/> (дата обращения: 05.12.2018).

10. *Tromsø kindergartens* // 70n.no. URL: <https://70n.no/Tromso-kindergartens-everyday-transformation> (дата обращения: 15.02.2019).
11. *ArkA applies color and large open spaces for montessori kindergarten in beijing* // Designboom.com Доступ по ссылке: <https://www.designboom.com/architecture/arka-design-kindergarten-beijing-01-17-2019/> (дата обращения: 27.01.2019).
12. *Yasutaka Yoshimura wraps warehouse in tent fabric to create Fukumasu Base kindergarten* // Dezeen.com Доступ по ссылке: <https://www.dezeen.com/2016/08/01/yasutaka-yoshimura-fukumasu-kindergarten-community-centre-conversion-old-warehouse-japan/> (дата обращения: 7.02.2019).

REFERENCES

1. *Salmina O.E., Bystrova T.Y.* Printsipy sozdaniya ustoichivoi arkhitektury [The principles of sustainable architecture]. *Akademicheskii vestnik UralNIiproekt RAASN*. 2015. No. 4. Pp. 36–40. (rus)
2. *Esaulov G.V.* Energoeffektivnost' i ustoichivaya arkhitektura kak vektor razvitiya [Energy efficiency and sustainable architecture as development vectors]. *ABOK*. 2015. No. 5. Pp. 4–11. (rus)
3. *Dianova-Kloкова I.V., Metanyev D.A.* Ustoichivaya arkhitektura i prostranstvo innovatsii [Sustainable architecture and space for innovation work]. *Arkhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2015. V. 07 (211). Pp. 16–31. (rus)
4. Nido d'infanzia e Centro bambini genitori – Vignola (MO). Available: www.ccdstudio.eu/?page_id=205#/progetto-1 (accessed December 20, 2018).
5. Farming Kindergarten. Available: <http://votrongnghia.com/projects/farming-kindergarten-2/> (accessed November 17, 2018).
6. Courtyard Kindergarten. Available: www.i-mad.com/work/courtyard-kindergarten/?cid=4 (accessed February 1, 2019).
7. Haus der Tagesmütter in Selb, Germany (Childminders Centre). Available: www.gutierrez-dela-fuente.com/en/component/k2/item/13-haus-der-tagesmuetter-in-selb (accessed January 15, 2019).
8. Naver Imae Child Care Center. Available: www.dlimarch.com/blank (accessed October 23, 2018).
9. Santo Domingo Kindergarten Available: www.planbarq.com/#/jardn-infantil-sd/ (accessed December 5, 2018).
10. Tromsø kindergartens. Available: <https://70n.no/Tromso-kindergartens-everyday-transformation> (accessed February 15, 2018).
11. ArkA applies color and large open spaces for Montessori kindergarten in Beijing. Available: www.designboom.com/architecture/arka-design-kindergarten-beijing-01-17-2019/ (accessed January 27, 2019).
12. Yasutaka Yoshimura wraps warehouse in tent fabric to create Fukumasu Base kindergarten. Available: www.dezeen.com/2016/08/01/yasutaka-yoshimura-fukumasu-kindergarten-community-centre-conversion-old-warehouse-japan/ (accessed February 7, 2019).

Сведения об авторах

Ильвицкая Светлана Валерьевна, докт. архитектуры, профессор, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; Государственный университет по землеустройству, 105064, г. Москва, ул. Казакова, 15, Ilvitskaya@mail.ru.

Михайлова Ирина Владимировна, аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, IraMihailova2007@ya.ru

Authors Details

Svetlana V. Ilvitskaya, DSc, Professor, Moscow State University of Land Management, 15, Kazakov Str., 105064, Moscow, Russia, Ilvitskaya@mail.ru

Iryna V. Mykhaylova, Research Assistant, The National Research Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavl'skoe Road, 129337, Moscow, Russia, IraMihailova2007@ya.ru

УДК 711.528

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-70-82

*В.И. КОРЕНЕВ,**Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ТОМСКА)*

Проведено исследование направлений использования цифровых технологий и 3D-моделей городов в решении градостроительных задач. Продемонстрирован опыт создания информационной системы обеспечения градостроительной деятельности и специализированных интернет-ресурсов в Томске, показаны возможности их использования для графоаналитических исследований. Определены направления использования 3D-модели г. Томска для проведения проектных и изыскательских работ, связанных с моделированием паводковых процессов, выявлением нарушений в землепользовании и застройке, архитектурным проектированием и моделированием городской среды, установлением требований к сохранению архитектурного наследия.

Ключевые слова: цифровые технологии; 3D-моделирование; 3D-модель города; градостроительная деятельность; информационная система обеспечения градостроительной деятельности; интернет-ресурсы; графоаналитические исследования.

Для цитирования: Корнев В.И. Использование цифровых технологий и 3D-моделирования в градостроительной деятельности (на примере города Томска) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 70–82.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-70-82

*V.I. KORENEV,**Tomsk State University of Architecture and Building*

DIGITAL TECHNOLOGIES AND 3D-MODELING OF URBAN PLANNING (THE TOMSK CASE STUDY)

The paper studies the use of digital technologies and 3D models of cities in solving urban planning problems. The experience in creating the information system for ensuring urban planning and internet sites in Tomsk is demonstrated and the possibilities are shown for their use in graphic-analytic research. The 3D model of the Tomsk-city is proposed to design and explore the flood processes, land use non-observances, architectural design and modeling of the urban environment, and requirements for the architectural heritage preservation.

Keywords: digital technology; 3D modeling; urban planning; information system; urban planning; internet sites; graphical-analytic studies.

For citation: Korenev V.I. Ispol'zovanie tsifrovyykh tekhnologii i 3D-modelirovaniya v gradostroitel'noi deyatel'nosti (na primere goroda Tomsk) [Digital technologies and 3D-modeling of urban planning (the Tomsk case study)]. Vestnik

* Работа выполнена в соответствии с Планом фундаментальных научных исследований Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН) и Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на 2020 год «ЦНИИП Минстроя России».

Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture, 2020. V. 22. No. 6. Pp. 70–82.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-70-82

Разработка научных основ использования цифровых технологий в архитектуре, градостроительстве и строительстве выделяется в числе приоритетных направлений в деятельности РААСН. Необходимость внедрения цифровых технологий в градостроительную деятельность также определена в проекте Минстроя «Умный город», реализуемого в рамках национального проекта «Жилье и городская среда» и национальной программы «Цифровая экономика». Использование цифрового ресурса, связанного с интеграцией информационных систем и 3D-моделей городских территорий, полученных с помощью обработки больших данных, позволяет обеспечить новые подходы к градостроительному анализу территории, подготовить объективные данные для территориального планирования, градостроительного проектирования и решения других задач, связанных с управлением развитием территорий.

В последнее время как за рубежом, так и в России использование цифровых технологий в градостроительных исследованиях стало очень заметным явлением. По мере развития компьютерных технологий появилась возможность создания высокоточных 3D-моделей городов, позволяющих осуществлять графоаналитические исследования абсолютно на новом уровне. В зарубежной практике можно выделить опыт 3D-моделирования городов в Финляндии (проект «Хельсинки 3D+»), Нидерландах, Сингапуре (проект Virtual Singapore), США и других странах, успешно внедряющих цифровые системы в управление территориями. Важнейшим аспектом в реализации этих проектов является то, что детализированные 3D-модели городов, полученные в результате интеграции информационных систем и обработки «больших данных», планируется использовать не только для городского планирования, но и для своевременного информирования населения об изменениях в застройке города, в коммунальной и социальной инфраструктуре этих городов.

Научное осмысление значения информационных систем и цифрового 3D-моделирования городов в управлении территориями наиболее активно стало развиваться после 2000-х гг. В 2012 г. был опубликован научный отчет Д. Джексона и Р. Симпсона «Глобальное будущее для планирования окружающей среды», в котором отдельная глава была посвящена информационному моделированию города [1]. Также можно выделить научный отчет «3D City Models and urban information: Current issues and perspectives», выполненный в 2014 г. группой ученых (R. Billen, A.-F. Cutting-Decelle, O. Marina, J.-P. Almeida и др.). В нем убедительно показано, что 3D-модели городов не только расширяют объем и качество визуальной информации, но и могут служить в качестве интеграционных платформ знаний, связанных с городскими и экологическими проблемами, что в итоге позволяет значительно улучшить устойчивое управление и развитие города [2]. Также можно выделить публикации Ф. Билецки, Ж. Стотер, Х. Леду (2015), которые сделали обширный обзор практики 3D-моделирования городов и сформулировали классификацию видов использования этого цифрового ресурса в городах [3]. О новых возможностях использования 3D-моделирования в градостроительной деятель-

ности говорится в публикациях Ян Лю, Идерлина Матео-Бабиано, Себастьян Дарчен и др.

В России использование цифровых технологий для градостроительной деятельности в первую очередь связано с созданием информационных систем обеспечения градостроительной деятельности (ИСОГД) и с активным использованием ГИС для оцифровки картографических данных [4]. 3D-моделирование городов активно стало внедряться с появлением беспилотной аэрофотосъемки и программного обеспечения, обеспечивающего оцифровку полученной информации и создание 3D-моделей [5]. Сегодня такие работы ведутся в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Новосибирске, Казани и других региональных центрах.

Отечественных публикаций по интеграции информационных систем для градостроительной деятельности и управления территориями достаточно много. По 3D-моделированию городов можно выделить публикации по технологическим аспектам сканирования территорий и создания 3D-моделей городов, публикации по специфике цифровой обработки полученных данных для картографической привязки и построения 3D-моделей, публикации по использованию этих моделей для 3D-визуализации проектных градостроительных решений и для проведения различных графоаналитических исследований.

Томск был одним из первых городов в России, в котором появились цифровые ресурсы для градорегулирования. С 2008 г. началась реализация целевой муниципальной программы «Информационное и картографическое обеспечение градостроительной деятельности», в результате которой была создана геоинформационная система, объединившая цифровые данные ИСОГД и ГИС. У ее истоков стояли Е.В. Паршутто, В.И. Корнев, С.В. Сидоренко, А.Д. Романцов. При создании ИСОГД был заложен следующий принцип: информационная система обеспечения градостроительной деятельности – это не только сбор и хранение картографических и градостроительных документов (так это зафиксировано в Градостроительном кодексе РФ), но и цифровая платформа, обеспечивающая внедрение информационных технологий в управление градостроительной деятельностью. Базовой платформой для интеграции информационных систем стал программный комплекс GSEE – Geo Cad System Enterprise Edition, разработанный компанией ООО «Геокад плюс», г. Новосибирск (далее ИСОГД GSEE) [6].

Еще одним шагом по цифровизации градостроительной деятельности в г. Томске стало внедрение технологии трехмерного моделирования территории. Первая 3D-модель города и выполненный на ее основе макет появились в 2012 г. С 2014 г. цифровое 3D-моделирование получило новое развитие и стало возможным в результате фотограмметрической обработки данных, получаемых при высокоточной аэрофотосъемке беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) городской территории [7].

Появление этих цифровых ресурсов позволило значительно перестроить работу Департамента архитектуры и градостроительства г. Томска, повысить доступность градостроительной информации как для муниципальных служащих, так и для населения. Сегодня на основе этого информационного обеспечения успешно работают интернет-порталы «Градостроительный атлас г. Томска»

и «ТОМСК 3D. Построим город вместе». Управление цифровыми ресурсами осуществляет Комитет геоинформационного обеспечения Департамента архитектуры и градостроительства г. Томска (С.В. Сидоренко).

Направления использования этих цифровых ресурсов для проведения графоаналитических исследований можно разбить на 2 группы. Первая связана с непосредственным использованием данных, которые были получены в результате создания 3D-модели города. Вторая показывает возможности интернет-портала «ТОМСК 3D» для градостроительных исследований, архитектурного моделирования и обсуждения градостроительных проблем.

1. Направления использования цифровых данных аэрофотосъемки и 3D-моделирования для градостроительной деятельности в г. Томске

Одним из постоянно применяемых направлений по использованию трехмерной модели города является **моделирование и мониторинг паводковых процессов**. Данное направление, прежде всего, актуально для предотвращения чрезвычайных ситуаций, связанных с паводковыми процессами.

Актуальная матрица высот позволяет создать цифровую платформу для прогнозирования паводковых затоплений территорий и заблаговременно проводить противопаводковые мероприятия в местах возможного подтопления. В Томске этот вид графоаналитических исследований впервые был проведен в 2015 г. Результаты моделирования с использованием 3D-модели города и матрицы высот позволили получить достоверную информацию о площади подтопления в зависимости от уровня подъема воды (рис. 1). Данные сведения оказались востребованными и позволили оперативно формировать задания поисковым группам волонтеров, учитывать результаты поиска по каждой группе, вести мониторинг событий и проводить прогнозный анализ с учетом пространственного и временного факторов [8].

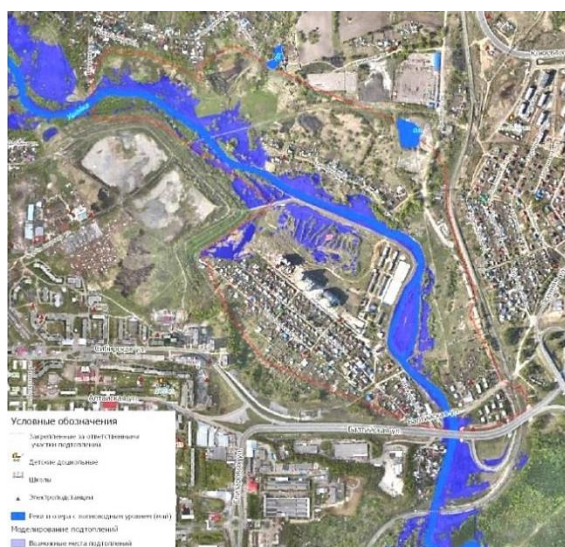


Рис. 1. Моделирование паводковой ситуации на основе 3D-модели города

Использование цифровых данных высокоточной аэрофотосъемки и 3D-моделирования позволяет осуществлять мониторинг состояния землепользования и застройки, проводить анализ кадастровых ошибок. Данное направление исследований возможно в условиях интеграции информационных ресурсов, отражающих точное местоположение зданий и сооружений, с кадастровыми сведениями о земельных участках.

В Томске по результатам оцифровки данных аэрофотосъемки было получено векторное отображение несколько слоев картографической информации, например, «Здания», «Улично-дорожная сеть», «Объекты озеленения». В слое «Здания» было зафиксировано 64 000 объектов. Это позволило в полуавтоматическом режиме проводить анализ кадастровой ситуации, связанной с пересечением контуров зданий с границами земельных участков. Данный пример графоаналитических исследований позволил создать необходимые условия для устранения кадастровых ошибок и оптимизировать комплексные кадастровые работы.

В настоящее время информация этих слоев размещена на интернет-портале «Градостроительный атлас города Томска». Здесь же в режиме онлайн поступают сведения о границах земельных участков из кадастровой палаты. Это дает возможность любому пользователю провести собственные изыскания по анализу кадастровых ошибок в любой части города.

Другой пример связан с анализом нарушений в землепользовании и строительстве (рис. 3). Наличие актуальных картографических материалов, получаемых в результате высокоточной аэрофотосъемки, позволяет выявлять несанкционированное строительство или захват чужой территории. В современных условиях такая возможность имеет особое значение для градорегулирования, позволяет иметь объективную информацию для муниципального земельного и строительного контроля [9].



Рис. 3. Выявление данных о нарушении землепользования

Кадастровая палата по Томской области также высоко оценивает полученные картографические материалы и активно использует их для мониторинга землепользования.

2. Направления использования интернет-ресурса «ТОМСК 3D» в градостроительной деятельности на территории г. Томска

Одна из ключевых особенностей существующей ИСОГД г. Томска – это возможность создания цифровых интернет-порталов для представления информации о градостроительной деятельности пользователям. Одной из первых публичных информационных площадок в стране стал интернет-ресурс «Градостроительный атлас города Томска». Он сегодня активно используется, актуален и позволяет получать пользователю различные сведения о градостроительстве города и делать простейшие измерения.

Вместе с тем сегодня появились новые вызовы. Градостроительная деятельность приобретает общественную значимость и даже в ряде случаев существенно влияет на социально-политические процессы. В соответствии с Градостроительным кодексом внесение изменений в генеральные планы городов, в Правила землепользования и застройки, принятие решений по планировке территории, изменению параметров застройки должно сопровождаться публичными слушаниями, участием населения в обсуждении градостроительных проблем.

Также это важно и для реализации национального проекта «Жилье и городская среда». Участие жителей в выборе объектов для благоустройства является одной из составляющих процессов по формированию комфортной городской среды.

Для полноценного общественного обсуждения ранее применявшиеся способы представления проектной информации становятся недостаточными.

Трехмерное представление градостроительных новаций – наиболее естественный способ восприятия географической (пространственной) информации, а реалистичная трехмерная модель города и программное обеспечение, позволяющее работать с ней в сети Интернет, делают возможным создавать доступные инструменты для совместной работы.

Идеи архитекторов должны быть понятны обычным горожанам, часто не готовым для восприятия сложной пространственной информации. Непонимание предлагаемых преобразований неизбежно приводит к конфликтам и часто к блокированию стратегически необходимых документов территориального планирования, градостроительного зонирования и планировки территории.

Необходимы цифровые площадки, инструменты и технологии, обеспечивающие «соучаствующее проектирование», включение городских сообществ в обсуждение градостроительных проектов на более ранних стадиях.

В Томске современные цифровые технологии и возможности цифровой платформы ИСОГД, созданной компанией «Геокад», позволили выполнить инновационные разработки по созданию нового публичного интернет-портала, получившего название «ТОМСК 3D. Строим город вместе» [10].

Данный интернет-ресурс решает следующие задачи:

- использование 3D-формата для наиболее полного и объективного представления о застройке города с возможностью осуществлять простейшие измерения ее параметров;
- создание инструмента для пользователей по индивидуальному 3D-моделированию и оценке градостроительных решений;

– информирование населения о градостроительной политике в Томске и визуализация предлагаемых решений для общественного обсуждения;

– создание атмосферы сопричастности и вовлечения жителей города в процессы градостроительства и поиска компромиссных решений.

Интернет-портал «ТОМСК 3D» устроен таким образом, что выкладывать информацию на карту 3D-портала (как описательную, так и в виде картографических или трехмерных изображений) могут не только администраторы сайта. Любое заинтересованное лицо – архитектор, проектировщик, аналитик, эколог, застройщик, обычный житель города – могут зарегистрироваться на площадке в качестве Пользователя и получить несколько полезных сервисов, доступных в Личном кабинете пользователя.

В Личном кабинете есть возможность воспользоваться базовыми трехмерными материалами (моделью г. Томска) и дополнить их своими, например, проектными моделями и картами. Для таких личных моделей и карт есть возможность просматривать их в составе всей городской среды, оценивать и анализировать качество проекта, производить нужные измерения. В случае если такой пользователь разрешит доступ к личным материалам и моделям, возможно отправить ссылки и приглашения на просмотр другим лицам, например своему сообществу, заказчикам, профильным специалистам, оппонентам, представителям власти. Это помогает проиллюстрировать свою идею, свой проект точными, измеряемыми материалами, не требует от «зрителей» специализированных познаний, навыков, установленного программного обеспечения и тому подобного – достаточно доступа к сети Интернет. Если, по мнению пользователя, его проектные предложения важны для города, то он через модераторов портала может опубликовать свою работу, сопроводить и проиллюстрировать ее текстовым и медийным контентом.

Сообщества таких пользователей могут вместе вести (и модерировать) разные тематические трехмерные карты, например «Историческое наследие», «Туристические маршруты», «Доступность городской среды для людей с ограниченными возможностями» и др. Портал позволяет проводить индивидуальную проектную и исследовательскую работу по территориальному планированию, а также дает возможность участвовать в общественном обсуждении архитектурных и градостроительных предложений, которые могут быть выставлены на портале как муниципалитетом, так и пользователями в случае согласования с модератором портала.

Можно выделить следующие направления использования 3D-портала для градорегулирования на территории г. Томска.

Анализ градостроительного зонирования и проведение общественного обсуждения проектов внесения изменений параметров территориальных зон. В настоящее время цифровые данные о градостроительном зонировании Томска хранятся в Информационной системе обеспечения градостроительной деятельности города (ИСОГД). Проекты по изменению границ территориальных зон вносятся в базу данных ИСОГД, затем импортируются в один из стандартных геоинформационных форматов, например shp, и далее экспортируются в базу данных 3D-портала. После одобрения модератором информация о планируемых границах территориальных зон размещается на

трехмерной карте портала, доступной для обсуждения широкому кругу потребителей. Портал предоставляет возможность публиковать комментарии, задавать вопросы и т. п.

Портальная реализация открывает большие возможности в аспекте легкости доступа к данным, в любом месте можно открыть проект и вести работу, а трехмерное представление снимает многие вопросы и делает доступным для понимания сложную информацию, снимает вопросы по неоднозначности толкования.

Анализ предложений по размещению новых объектов строительства. Инструменты портала позволяют создавать простейшую модель будущего здания и вставлять ее в 3D-модель города. Также имеется возможность вставлять трехмерные модели, созданные в других программах, в том числе на основе BIM-технологий. Интернет-ресурс позволяет проанализировать проектное решение с разных ракурсов, оценить его масштабность и местоположение по отношению к существующей застройке, подвигать модель, изменить его параметры. Такие инструменты позволяют оперативно моделировать параметрические характеристики объекта и получать объективную привязку проектируемого объекта к реальной трехмерной ситуации (рис. 4).

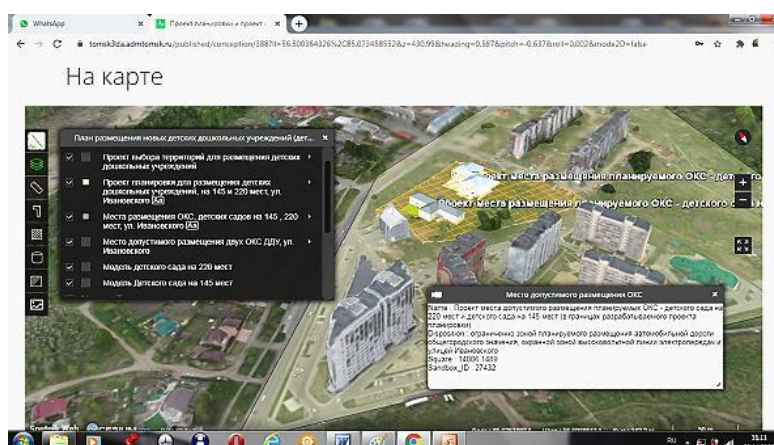


Рис. 4. Использование портала «ТОМСК 3D» для анализа параметров и места размещения проектируемых зданий

Внедрение технологии «соучаствующего проектирования». Наличие в данном интернет-портале инструментов по встраиванию проектируемых объектов, а также возможности участия заинтересованных лиц в обсуждении результатов проекта позволяет в значительной степени изменить саму технологию градостроительного и архитектурного проектирования. Безусловно, ведущая роль архитекторов и специалистов сохраняется, но в данном случае повышается степень контактности проектировщиков с горожанами, особенно это важно, когда внесение изменений касается той территории, на которой они проживают.

Интересный томский опыт по использованию интернет-портала в «соучаствующем проектировании» связан с реализацией в Томске молодежного

проекта «Живая лаборатория Томска» – LivingLab Tomsk. В проектировании участвовала специально созданная межуниверситетская команда студентов томских вузов, молодых архитекторов, преподавателей ТГАСУ и наставников из архитектурного сообщества города. Деятельность команды была направлена на изучение университетской среды города и проектирование в ней новых общественных пространств.

На площадке 3D-портала аккумулировалась информация различного типа, презентации разных стадий работы проектной команды, видеоролики продвижения проекта. В 3D-модель импортирована графика, созданная в профессиональных CAD-пакетах.

Проведение графоаналитических исследований по вопросам охраны историко-архитектурной среды города. Данное направление дает возможность проводить исследования по достаточно широкому кругу проблем, связанных с сохранением архитектурного наследия, что особенно важно для условий исторического поселения. Можно выделить следующие направления исследований:

– *Моделирование среды при восстановлении утраченных объектов культурного наследия.* Использование возможностей 3D-моделирования позволяет в трехмерное изображение существующей территории встраивать виртуальные модели утраченных объектов культурного наследия, анализировать их восприятие с разных точек видимости, определять решения по изменению близлежащего окружения (рис. 5).

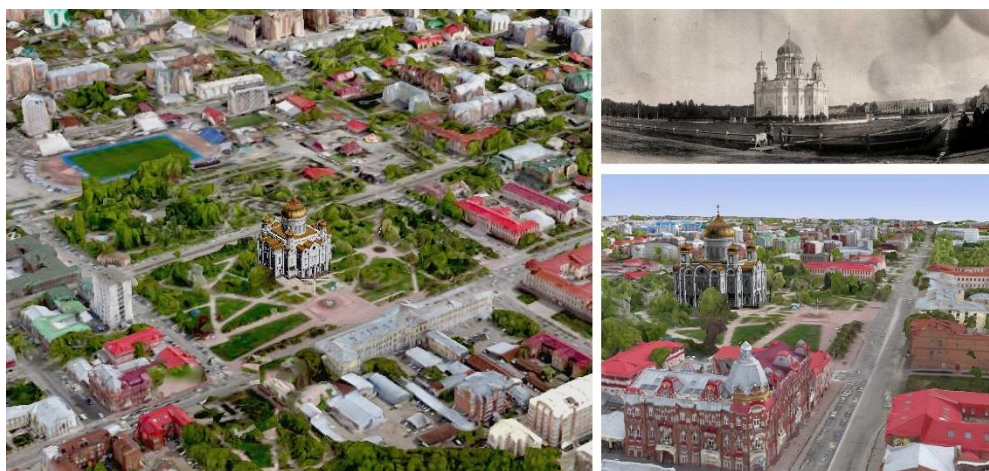


Рис. 5. Использование портала «ТОМСК 3D» для визуально-ландшафтного анализа среды в случае восстановления Троицкого собора

– *Ландшафтно-визуальный анализ территории при определении границ зон охраны объектов культурного наследия.* 3D-модель города дает возможность проводить объективный ландшафтно-визуальный анализ территории, определять и фиксировать узловые точки секторов раскрытия архитектурных памятников. Особенно это важно для территорий со сложным рельефом. Использование 3D-модели города позволяет получать объективную информа-

цию о раскрытии силуэта архитектурного памятника как с ближних точек восприятия, так и с удаленных мест, выполнять развернутый анализ городских панорам с разных расстояний и ракурсов, выявлять дисгармоничные объекты по их габаритам и высотности.

– *Определение градостроительных параметров реконструкции и нового строительства на территориях, граничащих с зонами охраны объектов культурного наследия.* Наличие 3D-модели города дает возможность проводить измерение высот объектов культурного наследия и высот рядом стоящих зданий, в том числе для ландшафтных условий с пересеченным рельефом. Это позволяет установить оптимальные параметры высотности и габаритности для реконструкции и нового строительства, определить требования к пропорциям и отделочным материалам новых объектов.

Анализ предложений по размещению и дизайну общественных пространств для их благоустройства в рамках реализации национального проекта «Формирование комфортной городской среды». Трехмерная модель и размещенная в ней проектная информация дают возможность видеть результаты по благоустройству общественных пространств и выявлять новые, устанавливать приоритеты с учетом их значимости для городского сообщества, их местоположения и доступности для горожан.

Использование публичной интернет-площадки позволяет повысить степень включения горожан в обсуждение этих вопросов. Как показал опыт Томска, такой формат участия позволяет совершенно менять отношение горожан к обсуждаемым проектам, от неприятия и нежелания принимать участие в голосовании к непосредственному участию и работе с инструментами 3D-портала.

Анализ соответствия существующей застройки проекту планировки территории. Реалистичная трехмерная модель позволяет проводить аналитическую работу по контролю соблюдения параметров застройки, установленных в проектах планировки территорий, выявлять отклонения, сделанные девелопером при застройке жилых образований (рис. 6).



Рис. 6. Использование портала «ТОМСК 3D» для контроля соблюдения параметров застройки, установленных проектом планировки территории

Как показал анализ одного из построенных микрорайонов в г. Томске, такие изменения могут достигать 30 %. Выявленные отклонения от ППТ яви-

лись основанием для разработки девелопером нового проекта планировки и проекта межевания территории и повторного его утверждения.

Таким образом, практика использования цифровой платформы «ТОМСК 3D» показала высокие преимущества применения созданной в Томске трехмерной модели города как доступного общественного ресурса, позволяющего не только получать полноценную информацию об архитектурно-планировочных особенностях г. Томска, но и проводить с ее помощью собственные изыскания, участвовать в общественном обсуждении предлагаемых архитектурных и градостроительных решений.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Использование цифровых технологий и 3D-моделирования городов является одним из важнейших направлений в цифровизации градостроительной деятельности.

2. Цифровые ресурсы, получаемые в результате высокоточной беспилотной аэрофотосъемки и обработки «больших данных», позволяют создавать трехмерные цифровые модели территории города и формируют новые возможности для проведения графоаналитических исследований.

3. Интернет-площадка с детализированной 3D-моделью города может стать не только новым инструментом для городского планирования, мониторинга городской застройки и землепользования, но и платформой для информирования населения о предлагаемых архитектурных и градостроительных решениях, доступным местом для обсуждения городских проблем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Jackson D., Simpson R. D-City. Digital Earth/Virtual Nations/Data Cities // Connecting Global Futures for Environmental Planning. 2012. URL: <http://dcitynetwork.net/manifesto/index.html?page=2>
2. Billen R., Cutting-Decelle A.-F., Marina O, Almeida J.-P. 3D City Models and urban information: Current issues and perspectives. EDP Sciences, 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/260172519_3D_City_Models_and_urban_information_Current_issues_and_perspectives
3. Biljecki F., Stoter J., Ledoux H., Zlatanova S., Çöltekin A. Applications of 3D City Models: State of the Art Review // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2015. 4. 2842–2889.
4. Дударев А. Эволюция ИСОГД. Цифровые технологии в управлении развитием территорий. 2012. URL: <https://itpgrad.ru/node/135>
5. Основные стратегии создания 3D-моделей городов. URL: <https://gis-lab.info/qa/3dcities.html> (дата обращения: 07.11.2020).
6. Корнев В.И. Информационное и картографическое обеспечение градостроительной деятельности в г. Томске // Управление развитием территорий. 2010. № 2. С. 62–67.
7. Материалы аэрофотосъемки с БПЛА // Градостроительный атлас Томска. 2018. URL: <http://www.gisa.ru/122909.html>
8. В Томске разработана электронная карта зон возможного подтопления при паводках. 2010. URL: https://fedpress.ru/federal/polit/society/id_172448.html
9. Корнев В.И. Информационная система обеспечения градостроительной деятельности в г. Томске и ее роль в экономике города // Инвестирование недвижимости: экономика, управление, экспертиза : материалы 2-й науч.-практ. конф. с международ. участием / под общ. ред. Т.Ю. Овсянниковой. Томск : Изд-во ТГАСУ, 2012. С. 29–34.
10. Строим город вместе: мэрия Томска запускает интерактивный 3D-портал. 2017. URL: <https://www.riatomsk.ru/article/20170425/tomsk-3d-portal/>

REFERENCES

1. Jackson D., Simpson R. D-City. Digital earth/Virtual nations/Data cities. In: Connecting global futures for environmental planning. 2012. Available: <http://dcitynetwork.net/manifesto/index.html?page=2>
2. Billen R, Cutting-Decelle A.-F., Marina O, Almeida J.-P. 3D city models and urban information: Current issues and perspectives. EDP Sciences, 2014. Available: www.researchgate.net/publication/260172519_3D_City_Models_and_urban_information_Current_issues_and_perspectives
3. Biljecki F., Stoter J., Ledoux H., Zlatanov S., Çöltekin A. Applications of 3D city models: State of the art review. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. 2015. V. 4. Pp. 2842–2889.
4. Dudarev A. Evolyucziya ISOGD. Tsifrovye tekhnologii v upravlenii razvitiem territoriei [Digital technology in territorial development management]. 2012. Available: <https://itpgrad.ru/node/135> (rus)
5. Osnovnye strategii sozdaniya 3D modelei gorodov [Basic strategies for creating 3D city models]. Available: <https://gis-lab.info/qa/3dcities.html> (accessed November 7, 2020).
6. Korenev V.I. Informatsionnoe i kartograficheskoe obespechenie gradostroitel'noi deyatel'nosti v g. Tomske [Information and cartographic support of urban planning in Tomsk]. *Upravlenie razvitiem territorii Tomske*. 2010. No. 2. Pp. 62–67. (rus)
7. Materialy aerofotos'emki s BPLA. Gradostroitel'nyi atlas Tomska [Materials of aerial photography. Urban atlas of Tomsk]. 2018. Available: www.gisa.ru/122909.html (rus)
8. V Tomske razrabotana e'lektronnaya karta zon vozmozhnogo podtopleniya pri pavodkakh [An electronic map of flooding areas in Tomsk]. 2010. Available: https://fedpress.ru/federal/polit/society/id_172448.html (rus)
9. Korenev V.I. Informatsionnaya sistema obespecheniya gradostroitel'noj deyatel'nosti v g. Tomske i ee rol' v ekonomike goroda [Information system of urban planning in Tomsk and its role in the city economy]. In: Sbornik trudov "Investirovanie nedvizhimosti: ekonomika, upravlenie, ekspertiza: materialy 2-i nauch.-prakt. konf s mezhdunarod.uchastiem" (*Proc. 2nd Int. Sci. Conf. 'Estate Property Investment: Economy, Management, Expertise'*), T.Yu. Ovsyannikova, Ed., Tomsk: TSUAB, 2012. Pp. 29–34. (rus)
10. Stroim gorod vmeste: meriya Tomska zapuskaet interaktivnyj 3D-portal [Build the city together: Tomsk Mayor's office launches interactive 3D portal]. 2017. Available: www.riatomsk.ru/article/20170425/tomsk-3d-portal/ (rus)

Сведения об авторе

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

Author Details

Vladimir I. Korenev, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vik.tomsk@rambler.ru

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 621.1.016:697.1

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-83-93

*А.Н. БЕЛОУС, Г.А. КОТОВ, Д.А. САПРОНОВ, Б.А. НОВИКОВ,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНОМ ТЕПЛОВОМ РЕЖИМЕ

Одним из основных нормируемых теплотехнических показателей ограждающих конструкций является сопротивление теплопередаче. На территории стран СНГ находится огромное количество объектов недвижимости, спроектированных и возведенных в соответствии с устаревшими нормами по расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию, требованиями к теплозащитной оболочке зданий, что ведет к перерасходу энергии. Все объекты недвижимости, введенные в эксплуатацию до ужесточения вышеупомянутых норм, требуют определения реальных теплотехнических характеристик ограждающих конструкций и приведения их в соответствие с действующим законодательством. В статье дан анализ существующих методов определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в натурных условиях, выявлены достоинства и недостатки данных методов. На основании фундаментальных исследований строительной теплофизики предложена математическая модель определения сопротивления теплопередаче в натурных условиях, учитывающая недостатки существующих методов.

Ключевые слова: сопротивление теплопередаче; математическая модель; теплотехнические показатели; натурные условия.

Для цитирования: Белоус А.Н., Котов Г.А., Сапронов Д.А., Новиков Б.А. Определение сопротивления теплопередаче при нестационарном тепловом режиме // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 83–93.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-83-93

*A.N. BELOUS, G.A. KOTOV, D.A. SAPRONOV B.A. NOVIKOV,
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*

HEAT TRANSFER RESISTANCE IN NON-STATIONARY THERMAL CONDITIONS

One of the main normalizing heat engineering parameters of walling systems is the thermal resistance. On the territory of the CIS countries there are many real estate objects designed and built in compliance with outdated standards for the heat energy consumption in heating and ventilation, requirements for the thermal-protective shells of buildings, that lead to excess demand energy. All these objects are put into operation before stiffening the above-mentioned

standards and require determination of actual thermal characteristics of walling systems and bringing them into compliance with the current legislation. The article analyzes the methods of measuring the thermal resistance of the walling systems in full-scale conditions and identifies the advantages and disadvantages of these methods. Based on structural thermal physics the paper proposes a mathematical model of thermal resistance in full-scale conditions with regard to shortcomings of the existing methods.

Keywords: thermal resistance; mathematical model; heating performance; full-scale conditions.

For citation: Belous A.N., Kotov G.A., Sapronov D.A., Novikov B.A. Opredele-nie soprotivleniya teploperedache pri nestatsionarnom teplovom rezhime [Heat trans-fer resistance in non-stationary thermal conditions]. Vestnik Tomskogo gosudar-stvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Ar-chitecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 83–93.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-83-93

В современном мире наблюдается стремление к более жесткой экономии энергетических ресурсов, связанных с отоплением и вентиляцией зданий и соору-жений. В соответствии со ст. 11, п. 6 Федерального закона от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 26.07.2019) «Об энергосбережении и о повышении энергети-ческой эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», не допускается ввод в эксплуатацию зданий, строений, сооружений, построенных, реконструированных, прошедших капи-тальный ремонт и не соответствующих требованиям энергетической эффектив-ности. На территории стран Европейского союза в принятой директиве [1] утверждается, что на здания приходится порядка 41% всего энергопотребления. Постановлением [2] внесены изменения в отношении «Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, касающиеся перечня показателей». В новых правилах внесены изменения в сроки исполнения и диа-пазона уменьшения требуемого удельного годового расхода энергетических ресурсов, потребляемых в зданиях: с 1 января 2018 года – не менее чем на 20 % по отношению к базовому уровню, с 1 января 2023 года – еще на 20 % и с 1 ян-варя 2028 года – еще на 10 %, а всего на 50 % по отношению к базовому уров-ню. Необходимость выполнения действующего законодательства приводит к потребности в контроле и выявлении реальных теплотехнических характери-стик ограждающих конструкций (ОК) зданий не только на этапе проектирова-ния, но и на этапе сдачи в эксплуатацию, реконструкции, при обследовании технического состояния строительных конструкций.

Одним из основных нормируемых теплотехнических показателей ограждающих конструкций является сопротивление теплопередаче R_0 . На данный момент на территории Российской Федерации действует норматив-ный документ ГОСТ Р 54853–2011 «Метод определения сопротивления тепло-передаче ограждающих конструкций с помощью тепломера», регламенти-рующий порядок определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий в натурных условиях. Метод, предлагающийся в доку-менте, основан на создании в толще конструкции условий теплопередаче, максимально близких к стационарным. При этом для получения достоверных данных с минимальным доверительным интервалом по результатам испыта-

ния измерения необходимо производить во временные периоды, когда температура наружного воздуха находится в пределах от минус 15 до минус 32 °С. Продолжительность измерений в натурных условиях определяют по результатам предварительной обработки данных измерений в ходе испытаний, при которой учитывают стабильность температуры наружного воздуха в период испытаний и предшествующие дни и тепловую инерцию ограждающей конструкции. Совершенно ясно, что в подавляющем большинстве случаев необходимости проведения испытаний установление требуемых погодных условий и стационарного режима теплопередаче маловероятно.

На территории Украины действует нормативный документ ДСТУ Б В.2.6-101:2010 «Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций», регламентирующий проведение тепловизионной съемки с последующей математической обработкой полученных результатов. В этом документе регламентируется показатель температурного напора при проведении испытаний не менее чем 15 К. Для получения результатов теплового испытания ограждающих конструкций, которые предназначены для применения при решении спорных (арбитражных) вопросов, – не менее 25 К. Скорость ветра на улице – не более чем 4 м/с при обследовании зданий с сопротивлением теплопередаче ограждающих конструкций на уровне $1,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ и не более 2,0 м/с при обследовании зданий с сопротивлением теплопередаче $2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ и более. Необходимый уровень атмосферного давления – от 84 до 106,7 кПа. Для выявления реальных характеристик ограждающих конструкций исследуемых объектов необходимо проводить тепловизионные измерения в периоды, когда температура наружного воздуха ниже минус 20 °С. Однако, судя по метеорологическим наблюдениям последних 5 лет, на большинстве территорий стран СНГ соответствие с требованиями по температуре наружного воздуха наступало только в периоды наиболее холодной пятидневки.

Таким образом, можно сказать, что основная трудность, возникающая при тепловых обследованиях зданий, – длительное непостоянство погодных условий, нарушающее тепловой режим стены и вызывающее нестационарный тепловой поток в толще ОК. Предложенные и регламентируемые нормативными документами методы определения сопротивления теплопередаче ОК в натурных условиях возможно использовать только в зимний период с достаточно низкой температурой наружного воздуха без значимых колебаний температуры для установления стационарного режима. Однако на постсоветском пространстве существует острая необходимость в обследовании теплотехнических характеристик ОК зданий в весенне-осенний период. В связи с этим становится актуальной задача разработки метода по определению сопротивления теплопередаче в натурных условиях неразрушающим способом при нестационарном тепловом режиме, на результаты которого не должны влиять: тепловая инерция материала ограждающей конструкции, сезонность, погодные условия при проведении испытаний.

Задача по определению реальных теплотехнических показателей ограждающих конструкций по своей сути относится к обратным задачам вычислительной теплофизики. Обратные задачи – это задачи, в которых заданы следствия, а искомыми являются причины.

Первые постановки и попытки решения задач, которые называются обратными (в самом общем значении этого термина), сделаны еще в XIX в. О.М. Алифанов в своей работе [3] отмечает работы Фурье, Пуассона, Кельвина по оценке климата Земли в прошлом и распределения температур в почвенном слое. До 50-х гг. XX в. в теплотехнике те задачи, которые называются обратными, решались эпизодически [4]. Но уже Г. Штольц [5] называет обратными внешние обратные задачи теплопроводности по определению тепловых потоков, т. е. внешние обратные задачи II рода. На территории СНГ одним из первых начал решать обратные задачи Н.В. Шумаков [6], он предложил применять для определения граничных условий в задачах нестационарной теплопроводности метод последовательных интервалов, который назвал методом экспериментального изучения процесса нагрева твердых тел.

На современном этапе развития строительной теплотехники существует большое количество работ по натурному определению теплотехнических показателей ОК. К примеру, методы определения сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций для здания с наружными стенами из силикатного кирпича толщиной 640 мм рассматриваются в работе [7], однако одним из условий проведения исследований являлось установление амплитуды колебаний температуры наружного воздуха не более 2 °С, длительность которых должна быть не менее времени тепловой инерции стены. Для стены из силикатного кирпича время тепловой инерции составляет примерно 24 ч. Очевидно, что установление необходимых погодных условий наблюдается крайне редко, и вывод адекватных результатов при измерениях затруднителен.

Метод неразрушающего контроля теплофизических свойств ОК, основанный на обеспечении и реализации адиабатического режима нагрева, предлагается авторами В.Н. Чернышовым и А.В. Чернышовым [8]. Однако предложенный метод справедлив только для однослойных конструкций либо многослойных, у которых наружные слои являются достаточно толстыми по сравнению с общей толщиной (трехслойные стеновые панели, облегченная кирпичная кладка либо многослойная кирпичная кладка).

Н.В. Пилипенко и Н.В. Лазуренко в одной из своих работ дают разъяснения по использованию метода осреднения результатов измерений при определении сопротивления теплопередаче ОК [9] и перечисляют недостатки этого метода: длительный период проведения измерений, увеличение погрешности измерений за счет осреднения, трудоемкость расчета и анализа погрешности для конкретного частного случая натурных испытаний. Далее приводится описание метода определения сопротивления теплопередаче ОК путем параметрической идентификации тепловых потоков и теплофизических свойств. Параметрическая идентификация указанных величин сводится к решению прямой и обратной задач теплопроводности и использованию для получения оптимальных оценок параметров рекуррентного фильтра Калмана. В работе [10] поднимается вопрос уменьшения энергопотребления зданий за счет снижения теплотерь через наружную оболочку в результате термомодернизации зданий. Подход в интегрировании натурных измерений в процесс проектирования и эксплуатации зданий описан в работе [11]. Описание измерительной системы, за основу которой взят метод тепловизионной и инфракрасной оценки оболоч-

ки зданий, приведено в работе [12]. В работе [13] проведено исследование влияния изменения погодных условий на показатели энергоэффективности зданий.

Для разработки метода по определению сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций в натуральных условиях при нестационарном тепловом режиме необходимо произвести математическое моделирование тепловых процессов в толще ограждающей конструкции с отысканием неизвестных теплотехнических характеристик материалов по входящим и исходящим параметрам на поверхности ОК, которые возможно отследить и измерить неразрушающими способами. Основные требования при составлении и решении математической модели: учет нестационарности тепловых процессов от влияния тепловой инерции материалов вследствие непостоянства погодных условий, отсутствие влияния перепада температур между температурой воздуха внутри и снаружи помещения.

Поставленная задача по определению сопротивления теплопередаче ОК представляется в одномерном пространстве. Для ее решения и отыскания теплотехнических характеристик ОК на первом этапе предлагается рассматривать уравнение теплопроводности в следующем виде:

$$U_t = a^2 U_{xx}; \text{ при } x \in [0, l], t > 0.$$

Здесь U – распределение температур в толще конструкции; a – коэффициент температуропроводности, $a^2 = \frac{k}{c\rho}$, где k – коэффициент теплопроводности; c – теплоемкость материала; ρ – плотность материала.

Коэффициент a определяется эмпирически при условии, что все теплотехнические характеристики материалов, применяемые в ОК, известны. Для нашей задачи a неизвестно и требует определения.

При рассмотрении задачи принято решение воспользоваться законом Ньютона – Рихмана. В общей постановке вопроса закон выражается следующим уравнением:

$$k \frac{\partial u}{\partial \bar{u}} \Big|_{\partial \Omega} = \alpha (f(x) - U_{\partial \Omega}).$$

Здесь k – коэффициент теплопроводности; Ω – рассматриваемая область конструкции,

$$\Omega = \{(x, t): x \in (0, l), t > 0\},$$

где l – толщина ограждающей конструкции.

Выводим граничные условия.

Начальные условия:

$$U|_{t=0} = U_0(x).$$

Первое краевое условие:

$$-k U_x' \Big|_{x=0} = \alpha_1 (f_1(t) - U(t, 0)),$$

где $f_1(t)$ – температура наружной поверхности ОК; α_1 – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ОК.

Второе краевое условие:

$$kU_x' \Big|_{x=l} = \alpha_2 (f_2(t) - U(t, l)),$$

где $f_2(t)$ – температура внутренней поверхности ОК; α_2 – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ОК.

Выполняем дискретизацию по t и переходим к системе краевых задач для дифференциальных уравнений 2-го порядка. Делим $[0, T]$ на n отрезков $[t_{i-1}, t_i]$, $i = 1, \dots, n$ и приближаем:

$$U_t' = \frac{U_i - U_{i-1}}{\Delta t_i}, \quad \Delta t_i = t_i - t_{i-1},$$

где Δt_i – разность температур; t_i – температура в i -м сечении.

Переходим к системе рекуррентных уравнений

$$U_i = a^2 \Delta t_i \frac{\partial^2 U_i}{\partial x^2} + U_{i-1}, \quad i = 1, \dots, n$$

и пересчитываем краевые условия:

$$\begin{aligned} -k \frac{\partial U_i}{\partial x^2} \Big|_{x=0} &= \alpha_1 (t_i) (f_1(t_i) - U(t_i, 0)); \\ k \frac{\partial U_i}{\partial x^2} \Big|_{x=l} &= \alpha_2 (t_i) (f_2(t_i) - U(t_i, l)). \end{aligned}$$

Решение $U_i = U_i(x, k)$ на концах принимает известные значения.

$U_i(0, k) = U_i$ – фактические температуры поверхности стены внутри помещения; $U_i(l, k) = U_i$ – фактические температуры поверхности стены снаружи помещения.

Обе задачи решаются методом касательных (Ньютона), на i -м шаге определяем усреднённое k_i , подставляем значение k в $U_i(x, k)$ и переходим к $i+1$ -й краевой задаче.

Методы решения обратных задач теплофизики являются методами математического моделирования, но без экспериментального определения температур эти методы не позволяют получить достоверные искомые результаты с минимально допустимой погрешностью.

Для обоснования и подтверждения математической модели определения теплотехнических характеристик ограждающей конструкции в натурных условиях при нестационарном тепловом режиме необходимо проведение натурных исследований.

Принцип проведения испытания заключается в определении величины и степени влияния тепловой инерции испытуемого участка ограждающей

конструкции посредством периодического нагрева и остывания. В зависимости от интенсивности прогрева принимающей поверхности (поверхность ОК, которая подвергается нагреву) ограждающей конструкции нагревательным устройством и скорости отзыва на отдающей поверхности, можно судить о величине тепловой инерции участка ограждающей конструкции (рис. 1).

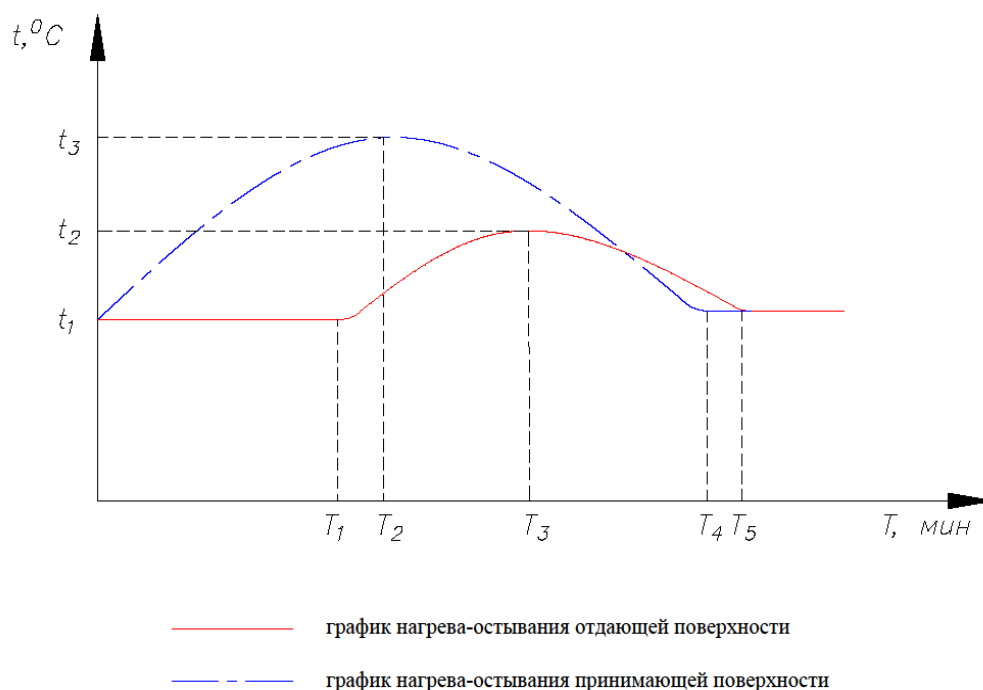


Рис. 1. График определения тепловой инерции испытываемого участка ограждающей конструкции:

t_1 – температура поверхностей ОК в момент начала испытания; t_2 – максимальная температура отклика отдающей поверхности ОК; T_1 – время начала отклика отдающей поверхности; T_2 – время работы (прогрева) принимающей поверхности; T_3 – время максимального отклика отдающей поверхности; T_4 – время работы (прогрева) принимающей поверхности

Как источник тепла рекомендуется использовать нагреватель с направленным инфракрасным излучателем, позволяющим мгновенно передавать тепловую энергию на принимающую поверхность. Мощность излучателя 2000 Вт позволяет пренебречь влиянием движения воздуха в помещении на передачу тепла в конструкцию.

При проведении натурного испытания необходимо осуществлять сбор и обработку входящих и исходящих параметров, для этого разрабатывается испытательная установка, которая будет производить измерения, обработку и хранение следующих необходимых характеристик и показателей:

- температуру воздуха в помещении на расстоянии 1 м от испытываемого участка ОК со стороны принимающей и отдающей поверхностей в четырех уровнях по высоте;

- температуру воздуха в помещении на расстоянии 10 см от испытуемого участка ОК со стороны принимающей и отдающей поверхностей в четырех уровнях по высоте;
- температуру поверхности ОК со стороны принимающей и отдающей поверхностей в зоне действия нагрева;
- скорость прироста температуры при нагреве принимающей поверхности ОК в зоне действия нагрева;
- скорость отзыва (повышения температуры) на отдающей поверхности ОК в зоне действия нагрева;
- скорость охлаждения принимающей поверхности ОК;
- скорость инерционного затухания отдающей поверхности ОК;
- влажность воздуха в помещениях со стороны принимающей и отдающей поверхностей ОК;
- влажность материала ОК (в случае испытания однослойной ОК);
- величину теплового потока, проходящего сквозь толщу ОК.

За основу рабочей модели измерительного теплотехнического комплекса принята установка, разработанная и описанная в работе [14]. В ней авторы приводят анализ существующего оборудования для определения тепловлажностных параметров, выделяют преимущества и недостатки различных контактных и безконтактных средств измерений. На основе проведенного анализа приборов и оборудования они выделяют комплект оборудования для разработки и построения лабораторной установки по соотношению «цена – качество», позволяющий контролировать необходимые теплотехнические параметры как при стационарном, так и нестационарном тепловом режиме наружных ограждающих конструкций и параметрах микроклимата помещений в натурных условиях, который удовлетворяет действующим требованиям по измерению теплотехнических параметров ограждающих конструкций.

Лабораторная установка выполнена:

- из датчика измерения температуры и влажности ДНТ-22, имеющего напряжение питания 3,3–5 В, диапазон измерения влажности 0–100 % с погрешностью ± 2 %, диапазон измерения температуры $-40 \dots +80$ °С с погрешностью $\pm 0,5$ °С;
- датчика теплового потока ДТП 0924, имеющего диапазон измеряемых плотностей теплового потока 10–1500 Вт/м², коэффициент преобразования 20–50 мВ/(Вт/м²), рабочий диапазон температур 10–200 °С, термическое сопротивление 0,004–0,03 м²К/Вт;
- считывающего аналого-цифрового преобразователя на основе платы формы АТmega2560, имеющего 54 цифровых пинов входа/выхода, 16 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB, силовой разъем и разъем ICSP.

Для проведения необходимого натурного испытания установка, предложенная в работе [14], подверглась усовершенствованию – текст программы мониторинга и сбора данных переработан, количество датчиков изменено в соответствии с необходимыми требованиями при проведения испытания.

На первом этапе натурных исследований будет проведен активный эксперимент в контролируемых и управляемых условиях (рис. 2).

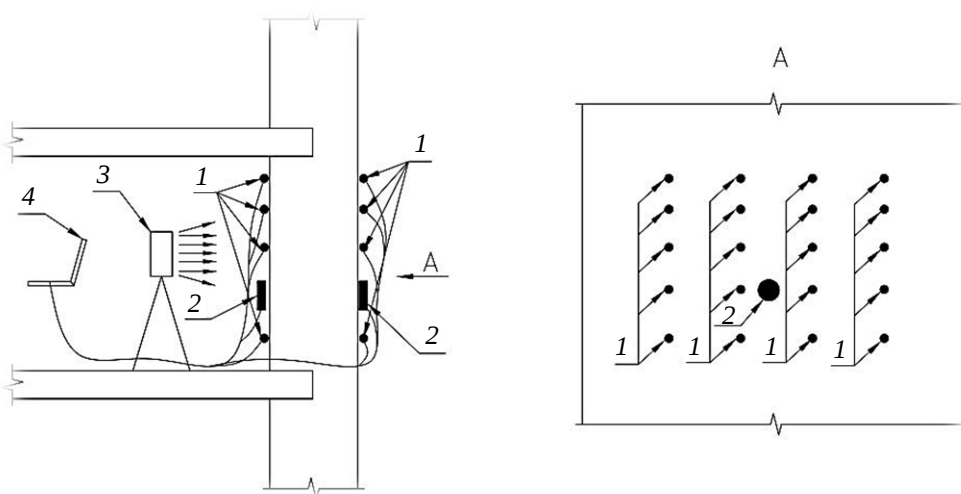


Рис. 2. Принципиальная схема проведения натурального эксперимента:

1 – датчики температуры/влажности; 2 – датчик теплового потока; 3 – нагревательное устройство; 4 – персональный компьютер с установленным ПО по обработке входящих данных

Испытанию подвергнется фрагмент однослойной изолированной от попадания солнечных лучей части внутренней ограждающей конструкции (межкомнатная стена) с одинаковыми величинами температуры, влажности в помещениях со стороны принимающей и отдающей поверхностей с отсутствием влияния перепадов температур от наружных ОК.

Заключение

Предложенное решение задачи определения сопротивления теплопередаче при нестационарном режиме основывается на законе Ньютона – Рихмана с заданными граничными условиями. Решение осуществляется методом касательных, но без экспериментального определения температур на поверхностях ограждающих конструкций этот метод не позволяет получить достоверные данные.

По результатам проведения натурных испытаний и полученному массиву данных измеряемых физических параметров с выявлением степени влияния тепловой инерции будет определена достоверность результатов математической модели и возможность дальнейшего развития предложенного метода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.
2. Постановление Правительства Российской Федерации № 603 от 20 мая 2017 года «О внесении изменений в Постановление Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. № 18». URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId>
3. Алифанов О.М. О состоянии и перспективах развития обратных задач теплообмена в исследовании тепловых процессов и проектировании технических систем / АН БССР. Ин-т тепломассообмена. Минск : Препр., 1977. 14 с.

4. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел / под ред. А.А. Померанцева. Москва : Наука, 1964. 488 с.
5. Stolz G. Numerical Solutions to an inverse problem of heat conduction for simple shapes // Trans. ASME. Ser. C.J. Heat Transfer. 1960. 82. № 1. P. 20–26.
6. Шумаков Н.В. Метод экспериментального изучения процесса нагрева твердого тела // Журнал технической физики. 1957. 27. № 4. С. 844–855.
7. Макаров Р.А., Муреев П.Н., Макаров А.Н. Определение фактического сопротивления теплопередаче наружных стен, выполненных из кирпича, зданий постройки 60–80-х годов XX века // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-18. С. 3960–3965.
8. Чернышов В.Н., Чернышов А.В. Метод неразрушающего контроля теплофизических характеристик строительных материалов многослойных конструкций // Вестник ТГТУ. 2002. Т. 8. № 1. С. 128–133.
9. Пилипенко Н.В., Лазуренко Н.В. Методика определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий различного назначения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2006. Т. 6. № 8. С. 73–77.
10. D'Agostino D., Zangheri P., Castellazzi L. Towards Nearly Zero Energy Buildings in Europe: A Focus on Retrofit in Non-Residential Buildings // Energies. 2017. 10. 117.
11. Manfren M., Aste N., Moshksar R., Calibration and uncertainty analysis for computer models – A meta-model based approach for integrated building energy simulation // Applied Energy. 2013. 103. P. 627–641.
12. Revel G.M., Sabbatini E., Arnesalo M. Development and Experimental Evaluation of a Thermography Measurement System for Real-Time Monitoring of Comfort and Heat Rate Exchange in the Built Environment // Measurement Science and Technology. 2012. V. 23. № 3.
13. Chari A., Xanthos S. Stochastic assessment of the energy performance of buildings // Energy Efficiency. 2017. July. 10 (8).
14. Белоус А.Н., Оверченко М.В., Белоус О.Е. Разработка теплотехнического измерительного комплекса // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 1. С. 140–151.

REFERENCES

1. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.
2. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii N 603 ot 20 maya 2017 goda "O vnesenii izmenenii v postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 25 yanvarya 2011 g. N 18" [Regulation of the Russian Government No. 603 of May 20, 2017 "Amendments to regulation of the Russian Government", N 18, January 25, 2011]. Available: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId> (accessed August 20, 2020).
3. Alifanov O.M. O sostoyanii i perspektivakh razvitiya obratnykh zadach teploobmena v issledovanii teplovykh protsessov i proektirovanie tekhnicheskikh sistem [Development of inverse problems of heat transfer in thermal processes and design of engineering systems]. Minsk, 1977. 14 p. (rus)
4. Karstlou G., Eger D. Teploprovodnost' tverdykh tel [Thermal conductivity of solids]. A.A. Pomerantsev, Ed. Moscow: Nauka, 1964. 488 p. (rus)
5. Stolz G. Numerical solutions to an inverse problem of heat conduction for simple shapes. ASME Journal of Heat Transfer. 1960. V. 82. No. 1. Pp. 20–26.
6. Shumakov N.V. Metod eksperimental'nogo izucheniya protsessa nagreva tverdogo tela [Solid body heating process]. Zhurnal tekhnicheskoi fiziki. 1957. V. 27. No. 4. Pp. 844–855. (rus)
7. Makarov R.A., Mureev P.N., Makarov A.N. Opredelenie fakticheskogo soprotivleniya teploperedache naruzhnykh sten, vypolnennykh iz kirpicha, zdaniy postroiki 60–80-kh godov khkh veka [Determination of thermal resistance of external brick walls in buildings built in the 60–80s of the 20th century]. Fundamental'nye issledovaniya. 2015. V. 18. No. 2. Pp. 3960–3965. (rus)
8. Chernyshov V.N. Chernyshov A.V. Metod nerazrushayushchego kontrolya teplofizicheskikh kharakteristik stroitel'nykh materialov mnogoslloinykh konstruktssii [Non-destructive testing of thermophysical characteristics of building materials for multilayer structures]. Vestnik TGTU. 2002. V. 8. No. 1 Pp. 128–133. (rus)

9. Pilipenko N.V. Lazurenko N.V. Metodika opredeleniya soprotivleniya teploperedache ogra-zhdayushchikh konstruksii zdaniy razlichnogo naznacheniya [Thermal resistance of walling systems of buildings for various purposes]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*. 2006. V. 6. No. 8. Pp. 73–77. (rus)
10. D'Agostino D., Zangheri P., Castellazzi L. Towards nearly zero energy buildings in Europe: A focus on retrofit in non-residential buildings. *Energies*. 2017. V. 10. No. 117. Pp. 1–15.
11. Manfren M., Aste N., Moshksar R. Calibration and uncertainty analysis for computer models – A meta-model based approach for integrated building energy simulation. *Applied Energy*. 2013. V. 103. Pp. 627–641.
12. Revel G.M., Sabbatini E., Arnesalo M. Development and experimental evaluation of a thermography measurement system for real-time monitoring of comfort and heat rate exchange in the built environment. *Measurement Science and Technology*. 2012. V. 23. No. 3.
13. Chari A., Xanthos S. Stochastic assessment of the energy performance of buildings. *Energy Efficiency*. 2017. V. 8. No. 14.
14. Belous A.N. Overchenko M.V. Belous O.E. Perenosnoi teplotekhnicheskii izmeritel'nyi kompleks [Portable heat metering system design]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 1. Pp. 140–151.

Сведения об авторах

Белов Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, us28@ya.ru

Котов Герман Александрович, канд. физ.-мат. наук, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, g.a.kotov@donnasa.ru

Сапронов Дмитрий Александрович, ассистент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, d.a.sapronov@donnasa.ru

Новиков Богдан Александрович, аспирант, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, 286123, Донецкая Народная Республика, г. Макеевка, ул. Державина, 2, bogdan.novikov2017@gmail.com

Authors Details

Aleksei N. Belous, PhD, A/Professor, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makiivka, Donetsk People's Republic, us28@ya.ru

German A. Kotov, PhD, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makiivka, Donetsk People's Republic, g.a.kotov@donnasa.ru

Dmitriy A. Sapronov, Assistant Lecturer, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makiivka, Donetsk People's Republic, d.a.sapronov@donnasa.ru

Bogdan A. Novikov, Research Assistant, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makiivka, Donetsk People's Republic, bogdan.novikov2017@gmail.com

УДК 69.01

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-94-104

*А.А. КОЯНКИН¹, В.М. МИТАСОВ²,**¹Сибирский федеральный университет,**²Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет*

КОНТАКТНЫЙ ШОВ СОПРЯЖЕНИЯ БЕТОНОВ РАЗНОГО ВОЗРАСТА И ВИДА

В сборно-монолитных конструкциях особое место отводится качеству выполнения и конструктивной надёжности контактного шва сопряжения сборного и монолитного бетона, как элементу, наиболее ответственному за обеспечение совместного деформирования разновозрастных бетонов, а нередко и бетонов разных видов и прочности. С целью изучения влияния вида шва сопряжения на его несущую способность при восприятии сдвигающих усилий авторами проведены экспериментальные исследования.

Для выполнения исследований был использован специально изготовленный горизонтальный стенд, а также типовой вертикальный пресс, которые обеспечивали создание сдвигающего усилия в образцах по контактному шву сопряжения (лёгкий монолитный и тяжёлый сборный бетоны). В процессе проведения исследований рассматривались следующие варианты устройства шва: гладкая поверхность, где за счёт сил адгезии и трения обеспечивалось сопряжение бетонов; шов сопряжения, выполняемый с использованием поперечной арматуры.

В результате проведённой работы были определены конструктивные особенности характера исчерпания несущей способности контактного шва сопряжения бетонов разного возраста, вида и прочности в сборно-монолитной конструкции при сдвиге в зависимости от вида контактного шва. Проведён сопоставительный анализ полученных при экспериментальных исследованиях результатов с данными нормативных документов. Выявлено положительное влияние на несущую способность контактного шва наличия поперечной арматуры.

Ключевые слова: железобетонные конструкции; сборно-монолитные конструкции; лёгкий бетон; сопряжение монолитного и сборного бетонов; поперечная арматура; сопротивление на сдвиг.

Для цитирования: Коянкин А.А., Митасов В.М. Контактный шов сопряжения бетонов разного возраста и вида // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 94–104.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-94-104

*A.A. KOYANKIN¹, V.M. MITASOV²,**¹Siberian Federal University,**²Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering*

JOINTS IN CONCRETES OF DIFFERENT AGE AND TYPE

The performance and structural reliability of concrete-to-concrete joints play an important role in precast-cast-in-place constructions, since they are responsible for deformation of concretes of different age, type and strength. The paper studies the effect of the joint type on its bearing capacity under shear loads.

A horizontal test bench and a standard vertical press are used in the experiment to provide the shear load along the concrete-to-concrete joint (light cast-situ and heavy precast concretes). The following joint installing is considered: a smooth surface, which provides the concrete joint due to the adhesive and friction forces, and the joint provided by transverse reinforcement.

Design features are identified for the joint bearing capacity exhaustion in concretes of different age, type and strength in precast-cast-in-place constructions under shear, depending on the joint type. A comparative analysis is given to the results obtained. It is shown that the transverse reinforcement has a positive effect on the bearing capacity of the concrete-to-concrete joints.

Keywords: reinforced concrete structures; precast-cast-in-place constructions; light concrete; light cast-situ and heavy precast concretes; transverse reinforcement; shear resistance.

For citation: Koyankin A.A., Mitsov V.M. Kontaknyi shov sopryazheniya betonov raznogo vozrasta i vida [Joints in concretes of different age and type]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 94–104.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-94-104

Введение

Рост популярности сборно-монолитного домостроения объясняется конструктивной гибкостью данной строительной системы, выражающейся в достаточно удачных возможностях сочетания положительных моментов отдельно сборного и монолитного вида строительства с минимизацией их минусов. Отечественные и зарубежные учёные проводят различные исследования по изучению конструктивных особенностей сборно-монолитных зданий и сооружений, причём как отдельных их конструктивных узлов и элементов [1, 2, 5, 8, 9, 10–12, 19], так и зданий (фрагментов зданий) в целом [6, 7, 13, 14–19].

Авторами статьи, на основании ранее проведённых собственных исследований особенностей процесса деформирования сборно-монолитных конструкций [3, 4, 18], а также изучения опыта данного вида строительства, было сделано заключение о том, что относительно мало исследований посвящено совместному деформированию сборного тяжёлого и монолитного лёгкого бетона.

В итоге была определена следующая цель экспериментальных исследований – выявление особенностей процесса деформирования контактного шва сборного тяжёлого и монолитного лёгкого бетона, армированного поперечной арматурой.

Методы

Проведение экспериментальных исследований осуществлялось на моделях, выполняемых в 2 этапа:

1. Изготовление в заводских условиях сборных частей из тяжёлого бетона В25 размером 300×100×70 (h).

2. Добетонирование лёгким бетоном (керамзитобетон В12,5) до финальных размеров 300×100×140 (h) мм.

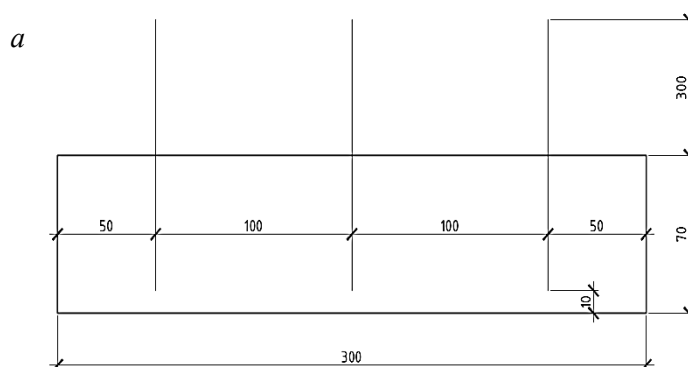
3. По конструктивному исполнению контактного шва сопряжения сборного и монолитного бетонов опытные модели делились на 4 серии по 5 шт. одинаковых образцов в каждой серии (рис. 1):

P1 – гладкая поверхность сопряжения;

P4 – поверхность сопряжения с 2 рядами арматурных стержней (Ø 6A240), что соответствует шагу 150 мм;

P5 – поверхность сопряжения с 3 рядами арматурных стержней ($\varnothing$ 6A240), что соответствует шагу 100 мм;

P6 – поверхность сопряжения с 5 рядами арматурных стержней ($\varnothing$ 6A240), что соответствует шагу 50 мм.



б



в



Рис. 1. Экспериментальные образцы (окончание см. на с. 97):

a – схема сборной части образцов серии P5; *б* – общий вид сборных частей образцов серий P1 и P4; *в* – общий вид сборных частей образцов серий P6

2



Рис. 1. Экспериментальные образцы (начало см. на с. 96):
2 – общий вид готовых образцов

Образцы серий Р1 и Р4 испытывались на горизонтальном стенде (максимальное усилие на сдвиг – 150 кН, рис. 2, а, б), в котором сборная часть упиралась в жёсткий упор, а горизонтальное усилие передавалось домкратом на монолитную секцию.

а



б

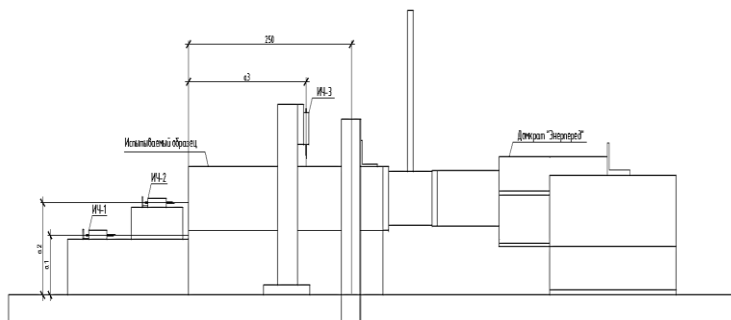


Рис. 2. Экспериментальные исследования (окончание см. на с. 98):
а – фото горизонтальной экспериментальной установки; б – схема горизонтальной экспериментальной установки

в



Рис. 2. Экспериментальные исследования (начало см. на с. 97):
в – фото силового вертикального пресса

Деформации и смещения фиксировались посредством горизонтально и вертикально расположенных индикаторов часового типа ИЧ-10. Для исследования образцов серий Р5 и Р6 применялся вертикальный пресс (рис. 2, в).

Результаты исследований

Проведённые экспериментальные исследования показали в образцах серии Р1 единообразную картину разрушения, выражающуюся в виде внезапного сдвига по гладкому шву контакта секции монолитного бетона относительно сборного (рис. 3). При этом сохранилась конструктивная целостность отдельных секций образцов (скалывание небольших локальных участков бетона в расчёт не принимается). Несмотря на единообразие картины разрушения, диапазон разброса предельных разрушающих усилий в образцах серии Р1 оказался существенным. В частности, при среднем значении разрушающего усилия 45,3 кН диапазон отклонения отдельных образцов от среднего значения составлял от –34,9 до 41,3 % (29,5–64,0 кН).

В итоге на основании проведённых исследований можно чётко констатировать, что разрушение гладкого контактного шва сопряжения разновозрастных бетонов происходит из-за превышения сил сдвига над силами адгезии и трения. При этом наблюдается достаточно нестабильная картина в точности прогнозируемого результата, что недопустимо при конструировании сборно-монолитных конструкций.

Расчёты несущей способности гладкого контактного шва, выполненные согласно СП 337.1325800.2017 «Конструкции железобетонные сборно-монолитные», определили несущую способность шва сопряжения образца серии Р1 в 30 кН.

В образцах серии Р4 (шаг поперечной арматуры 150 мм) наблюдается некая балансировка между несущей способностью контактного шва на сдвиг и прочностью материалов (сборного и монолитного бетонов) на сжатие, т. е. фиксируется исчерпание несущей способности как в результате сдвига по гладкой части шва сопряжения, так и частичное разрушение монолитного бетона (рис. 4).

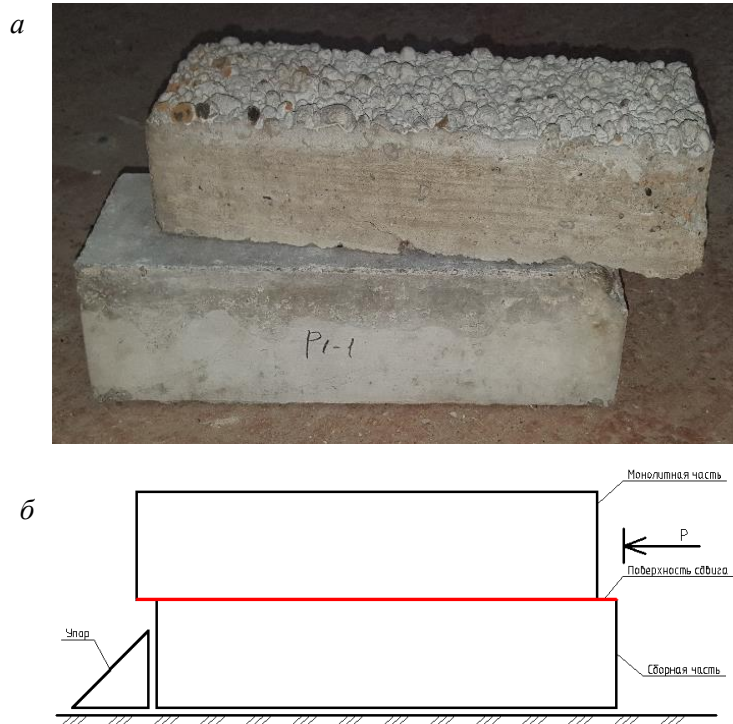


Рис. 3. Разрушение образцов серии P1:
а – фото; б – схема

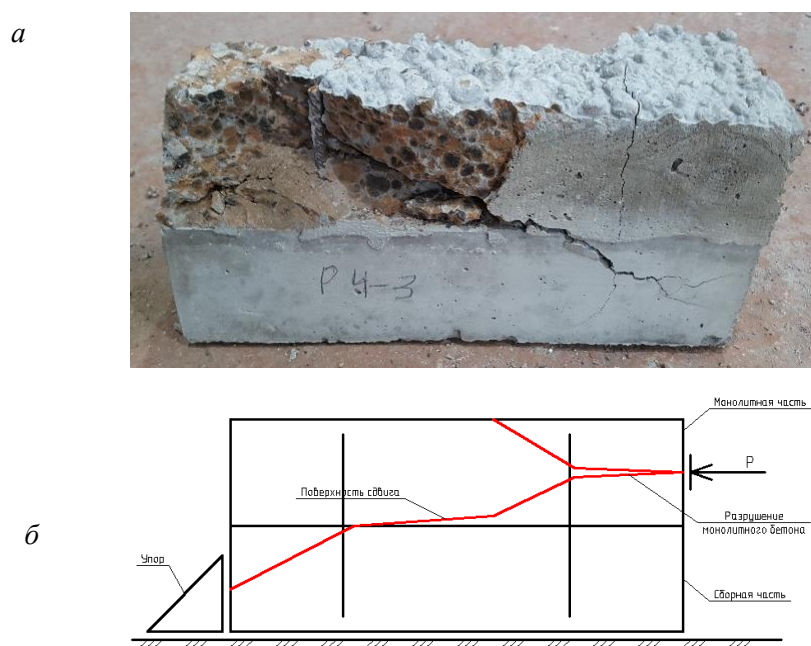


Рис. 4. Разрушение образцов серии P4:
а – фото; б – схема

Значение средней разрушающей нагрузки в образцах серии Р4 оказалось в 2 раза выше, чем в случае с гладким контактным швом, и составило 95,0 кН. При этом увеличилась и «плотность» результатов – диапазон разброса отдельных значений от среднего составил от –14,5 до 8,8 % (81,2 –103,4 кН), что указывает на достаточно высокую степень стабильности результата.

Более частый шаг расположения поперечной арматуры (образцы серий Р5 и Р6) обеспечил превышение несущей способности контактного шва над прочностью монолитного лёгкого бетона. В частности, в обеих сериях разрушение произошло в результате достижения предела прочности на сжатие в монолитном лёгком бетоне (менее прочном) при полном отсутствии признаков разрушения по сдвигу шва (рис. 5) и сборной секции образцов (не принимаются во внимание локальные сколы).

а*б*

Рис. 5. Разрушение образцов серий Р5 и Р6 (окончание см. на с. 101):
а – фото Р5; *б* – фото Р6

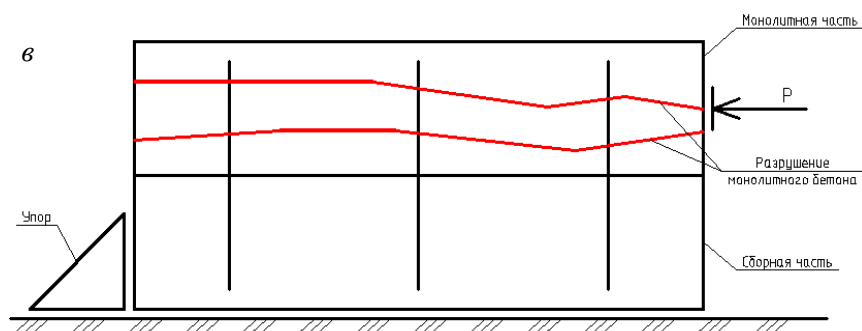


Рис. 5. Разрушение образцов серий Р5 и Р6 (начало см. на с. 100)

в – схема разрушения

Средние значения предельного усилия в образцах серии Р5 составили 124,6 кН, а образцах серии Р6 – 166,1 кН. Большее значение разрушающего усилия в образцах серии Р6 объясняется более эффективным влиянием поперечной арматуры в качестве косвенного армирования.

Отметим, что в результате проведённых исследований наблюдалось только небольшое отклонение арматурных поперечных стержней без каких-либо заметных разрушений (разрыва, среза и т. д.).

Расчёты, проведённые согласно СП 337.1325800.2017 «Конструкции железобетонные сборно-монолитные», в образцах с арматурой показали максимальное расчётное усилие не более 60 кН, т. к. в данных нормам присутствует конструктивное ограничение в виде не превышения двукратной несущей способности на сдвиг по гладкому шву, что не позволяет полноценно оценить несущую способность армированного контактного шва. Игнорирование этого требования также недооценивает несущую способность (для образцов серии Р4 предельное усилие на сдвиг составляет 57,1 кН, для Р5 – 40,7 кН, для Р6 – 67,8 кН).

Полученные результаты подтверждают данные в работах [1–3], где в изгибаемых сборно-монолитных конструкциях (ригелях), армированных поперечной арматурой, в процессе проведения экспериментальных исследований также не было зафиксировано деформаций сдвига по контактному шву сопряжения разновозрастных бетонов.

Заключение

Проведённые экспериментальные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Обеспечение несущей способности на сдвиг контактного шва сопряжения монолитного лёгкого и сборного тяжёлого бетонов только лишь за счёт сил трения и адгезии (гладкая поверхность) является недостаточно эффективным (разрушение наступает в результате взаимного сдвига секций). Причём, кроме слабой сопротивляемости сдвигу, ещё отмечается и недостаточная обеспеченность точности результатов.

2. Эффективным и вместе с тем малозатратным способом обеспечения совместного деформирования смежных бетонов по шву сопряжения является применение поперечной арматуры.

3. По мере увеличения количества поперечной арматуры повышается несущая способность контактного шва на сдвиг. Причём в образцах серий Р5 и Р6 несущая способность на сдвиг превысила предел прочности монолитного лёгкого бетона на сжатие.

4. Введение поперечной арматуры косвенным образом повышает прочность бетона на сжатие, что подтверждают результаты испытаний образцов серий Р4–Р6.

5. Методики расчёта, приведённые в нормативных документах, требуют уточнения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поветкин М.С. Напряжённо-деформированное состояние усиленных под нагрузкой железобетонных изгибаемых преднапряжённых элементов : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.23.01 / Поветкин Максим Сергеевич. Курск, 2009. 187 с.
2. Никоноров Р.М. Совместная сопротивляемость, деформативность железобетонных элементов перекрытия сборно-монолитных каркасов с плоскими плитами и скрытыми ригелями : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.23.01 / Никоноров Руслан Михайлович. Москва, 2008. 219 с.
3. Коянкин А.А., Митасов В.М. Испытания сборно-монолитного перекрытия на строящемся жилым доме // Бетон и железобетон. 2016. № 3. С. 20–22.
4. Коянкин А.А., Митасов В.М. Некоторые результаты натурных испытаний фрагмента каркасного здания в сборно-монолитном исполнении // Бетон и железобетон. 2015. № 5. С. 18–20.
5. Мордич А.И., Галкин С.Л. Результаты испытания сборно-монолитного перекрытия каркасного здания вертикальной нагрузкой // Строительная наука и техника. 2011. № 3. С. 33–42.
6. Семченков А.С., Хавкин А.К., Соколов Б.С. Испытание натурального фрагмента каркаса «РАДИУСС» с применением круглопустотных плит // Бетон и железобетон. 2008. № 6. С. 2–5.
7. Семченков А.С. Испытание натурального фрагмента каркаса «РАДИУСС НПУ» с плитами сплошного сечения // Бетон и железобетон. 2009. № 1. С. 2–5.
8. Medvedev V.N., Semeniuk S.D. Durability and deformability of braced bending elements with external sheet reinforcement // Magazine of Civil Engineering. 2016. № 3 (63). P. 3–15.
9. Nedviga E., Beresneva N., Gravit M., Blagodatskaya A. Fire Resistance of Prefabricated Monolithic Reinforced Concrete Slabs of «Marko» Technology // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2018. 692. P. 739–749.
10. Yan J.B., Wang J.Y., Liew J.Y.R., Qian X.D., Zhang W. Reinforced ultra-lightweight cement composite flat slabs: Experiments and analysis // Materials and Design. 2016. № 95. P. 148–158.
11. Cho Y.S., Lee S., Bae J.S. Reinforcement Placement in a Concrete Slab Object Using Structural Building Information Modeling // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2014. № 29. P. 47–59.
12. Breccolotti M., Gentile S., Tommasini M., Materazzi A.L., Bonfigli M.F., Pasqualini B., Colone V., Ganesini M. Beam-column joints in continuous RC frames: Comparison between cast-in-situ and precast solutions // Engineering Structures. 2016. V. 127. P. 129–144.
13. Ключева Н.В., Колчунов В.И., Рыпаков Д.А., Бухтиярова А.С. Прочность и деформативность сборно-монолитных каркасов жилых зданий пониженной материалоемкости при запроектных воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 1. С. 5–9.
14. Теплова Ж.С., Виноградова Н.А. Сборно-монолитные перекрытия системы «МАРКО» // Строительство уникальных зданий. 2015. № 8. С. 48–59.
15. Olmati P., Sagaseta J., Cormie D., Jones A.E.K. Simplified reliability analysis of punching in reinforced concrete flat slab buildings under accidental actions // Engineering Structures. 2017. V. 130. P. 83–98.

16. Qian K., Li B. Resilience of Flat Slab Structures in Different Phases of Progressive Collapse // *ACI Structural Journal*. 2016. V. 113. P. 537–548.
17. Drakatos I.S., Muttoni A., Beyer K. Internal slab-column connections under monotonic and cyclic imposed rotations // *Engineering Structures*. 2016. V. 123. P. 501–516.
18. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Stress-strain state of precast and cast-in place building // *Magazine of Civil Engineering*. 2017. V. 6 (74). P. 175–184.
19. Chepurnenko A.S. Stress-strain state of three-layered shallow shells under conditions of non-linear creep // *Magazine of Civil Engineering*. 2017. V. 8 (74). P. 156–168.

REFERENCES

1. Povetkin M.S. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie usilennykh pod nagruzkoi zhelezobetonnykh izgibaemykh prednapryazhennykh elementov: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Stress-strain state of prestressed reinforced concrete bending elements under load. PhD Thesis]. Kursk, 2009. 187 p. (rus)
2. Nikonorov R.M. Sovmestnaya soprotivlyaemost', deformativnost' zhelezobetonnykh elementov perekrytiya sborno-monolitnykh karkasov s ploskimi plitami i skrytymi rigelyami: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Joint resistance, deformability of reinforced concrete elements of precast-cast-in-place constructions with flat slabs and hidden beams. PhD Thesis]. Moscow, 2008. 219 p. (rus)
3. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Ispytaniya sborno-monolitnogo perekrytiya na stroyashchemsya zhilom dome [Tests of slab cast over precast joists of residential building under construction]. *Beton i zhelezobeton*. 2016. No. 3. Pp. 20–22. (rus)
4. Koyankin A.A., Mitasov V.M. Nekotorye rezul'taty naturnykh ispytaniy fragmenta karkasnogo zdaniya v sborno-monolitnom ispolnenii [Field tests of frame building fragment in precast-cast-in-place constructions]. *Beton i zhelezobeton*. 2015. No. 5. Pp. 18–20. (rus)
5. Mordich A.I., Galkin S.L. Rezul'taty ispytaniya sborno-monolitnogo perekrytiya karkasnogo zdaniya vertikal'noi nagruzkoi [Precast-cast-in-place construction vertical load tests]. *Stroitel'naya nauka i tekhnika*. 2011. No. 3. Pp. 33–42. (rus)
6. Semchenkov A.S., Khavkin A.K., Sokolov B.S. Ispytanie naturnogo fragmenta karkasa "RADIUSS" s primeneniem kruglopustotnykh plit [Testing of RADIUSS frame fragment using cord slabs]. *Beton i zhelezobeton*. 2008. No. 6. Pp. 2–5. (rus)
7. Semchenkov A.S. Ispytanie naturnogo fragmenta karkasa "RADIUSS NPU" s plitami sploshnogo secheniya [Testing of "RADIUSS NPU" frame fragment with solid slabs]. *Beton i zhelezobeton*. 2009. No. 1. Pp. 2–5. (rus)
8. Medvedev V.N., Semeniuk S.D. Durability and deformability of braced bending elements with external sheet reinforcement. *Magazine of Civil Engineering*. 2016. No. 3 (63). Pp. 3–15.
9. Nedviga E., Beresneva N., Gravit M., Blagodatskaya A. Fire resistance of prefabricated monolithic reinforced concrete slabs of "Marko" technology. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. V. 692. Pp. 739–749.
10. Yan J.B., Wang J.Y., Liew J.Y.R., Qian X.D., Zhang W. Reinforced ultra-lightweight cement composite flat slabs: Experiments and analysis. *Materials and Design*. 2016. No. 95. Pp. 148–158.
11. Cho Y.S., Lee S., Bae J.S. Reinforcement placement in a concrete slab object using structural building information modeling. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2014. No. 29. Pp. 47–59.
12. Breccolotti M., Gentile S., Tommasini M., Materazzi A.L., Bonfigli M.F., Pasqualini B., Colone V., Ganesini M. Beam-column joints in continuous RC frames: Comparison between cast-in-situ and precast solutions. *Engineering Structures*. 2016. V. 127. Pp. 129–144.
13. Klyueva N.V., Kolchunov V.I., Rypakov D.A., Bukhtiyarova A.S. Prochnost' i deformativnost' sborno-monolitnykh karkasov zhilykh zdaniy ponizhennoi materialoemkosti pri zaproektnykh vozdeistviyakh [Strength and deformability of precast-cast-in-place constructions of residential buildings with reduced material capacity under design impacts]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 1. Pp. 5–9. (rus)

14. Teplova Zh.S., Vinogradova N.A. Sbornno-monolitnye perekrytiya sistemy "MARKO" ["MARKO" precast-cast-in-place constructions]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy*. 2015. No. 8. Pp. 48–59. (rus)
15. Olmati P., Sagaseta J., Cormie D., Jones A.E.K. Simplified reliability analysis of punching in reinforced concrete flat slab buildings under accidental actions. *Engineering Structures*. 2017. V. 130. Pp. 83–98.
16. Qian K., Li B. Resilience of flat slab structures in different phases of progressive collapse. *ACI Structural Journal*. 2016. V. 113. Pp. 537–548.
17. Drakatos I.S., Muttoni A., Beyer K. Internal slab-column connections under monotonic and cyclic imposed rotations. *Engineering Structures*. 2016. V. 123. Pp. 501–516.
18. Koyankin A.A., Mitsov V.M. Stress-strain state of precast and cast-in place building. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. V. 6 (74). Pp. 175–184.
19. Chepurnenko A.S. Stress-strain state of three-layered shallow shells under conditions of non-linear creep. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. V. 8 (74). Pp. 156–168.

Сведения об авторах

Коянкин Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, KoyankinAA@mail.ru

Митасов Валерий Михайлович, докт. техн. наук, профессор, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, 630008, Россия, Новосибирск-8, ул. Ленинградская, 113, MitassovV@mail.ru

Authors Details

Aleksandr A. Koyankin, PhD, A/Professor, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, KoyankinAA@mail.ru

Valery M. Mitsov, DSc, Professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, Mitass-ovV@mail.ru

УДК 725.812

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-105-118

Ю.И. ИСАКОВ,
Новосибирский государственный университет
архитектуры, дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова,
ООО «Ямаха Мюзик»

ВИРТУАЛЬНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ЗРИТЕЛЬНОГО ЗАЛА ФИЛАРМОНИИ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗВУКОВЫМ ПОЛЕМ

Рассмотрены актуальные решения по изменению акустических параметров многоцелевых зрительных залов для симфонической и академической музыки без архитектурной реконструкции или полной перестройки. Проанализированы старые аналоговые и современные системы с цифровой обработкой звуковых сигналов, использующих технологии активного управления звуковым полем. Рассмотрен опыт инсталляции системы активного управления звуковым полем AFC3 в Большом зале Тюменской филармонии. Представлены графики структур ранних отражений, полученные в результате компьютерного акустического моделирования Большого зала. Приведены результаты контрольных измерений, подтверждающие эффективность решений. Собственное время реверберации зала – 1,1 с. С системой AFC3 время реверберации можно изменять до 2,65 с. Кроме того, в Тюменской филармонии, впервые в России, построена электронная оболочка глубинно-колосниковой сцены, позволившая улучшить акустические условия музыкантов.

Ключевые слова: архитектурная акустика; компьютерная акустическая модель; электронная архитектура; активное управление звуковым полем; электронная оболочка сцены.

Для цитирования: Исаков Ю.И. Виртуальная акустическая реконструкция архитектуры зрительного зала филармонии на основе технологии активного управления звуковым полем // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 105–118.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-105-118

Yu.I. ISAKOV,
Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts,
ООО “Yamaha Music”

VIRTUAL ACOUSTIC RECONSTRUCTION OF THE GREAT HALL OF THE TYUMEN PHILHARMONIC ARCHITECTURE BASED ON ACTIVE FIELD CONTROL

The paper focuses on changes in the acoustic parameters of multi-purpose audience space for symphonic music without architectural and complete reconstruction. Old analog and modern systems with digital signal processing are analyzed using active field control (AFC). The AFC3 system from Yamaha, Moscow, Russia, installed in the Great Hall of the Tyumen Philharmonic is considered. The diagrams of early reflections are obtained by computer acoustical simulation of the Great Hall. The control measurement results confirm the effectiveness of the proposed solutions. The intrinsic reverberation time is 1.1 s. The AFC3 system provides the increase in the reverberation time up to 2.65 s. For the first time in Russia, the electronic

shell is constructed for the fly-loft stage in the Tyumen Philharmonic, that allows improving the acoustical conditions for musicians.

Keywords: architectural acoustics; computer-assisted acoustic model; electronic architecture; active field control; electronic shell.

For citation: Isakov Yu.I. Virtual'naya akusticheskaya rekonstruktsiya arkhitektury zritel'nogo zala filarmonii s ispol'zovaniem tekhnologii aktivnogo upravleniya zvukovym polem [Virtual acoustic reconstruction of the Great Hall of the Tyumen Philharmonic architecture using active field control]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 105–118.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-105-118

Введение

В XX в. было распространено строительство типовых многоцелевых зрительных залов. Сейчас такие зрительные залы перестали отвечать современным социально-культурным запросам, и возникла необходимость реконструировать или перестраивать их. Но даже удачная перестройка филармонического зрительного зала под симфоническую музыку требует решения проблем с остальными жанрами. С одной стороны – хоровая и органная музыка, с другой – эстрадная популярная музыка. Эти задачи решают механические системы изменения архитектурной акустики (Йордан В.Л. Акустическое проектирование концертных залов и театров. Москва: Стройиздат, 1986. С. 32), но это очень сложные и дорогостоящие системы.

Другой путь, с более позитивным результатом, выдерживающий аспекты экономических обстоятельств, – это использование технологии активного управления звуковым полем (АУЗП). Поэтому изменение акустических параметров существующих зрительных залов без реконструкции или полной перестройки является актуальной задачей. Для архитекторов, которые занимаются проектированием, перестройкой и реконструкцией зрительных залов в этом направлении, в статье сделан краткий обзор существующих сегодня технологий АУЗП и описан опыт инсталляции системы активного управления звуковым полем AFC3 в Большом зале им. Ю. Гуляева в Тюменской филармонии.

1. Понятие и основные характеристики звукового поля

Известно, что под звуковым полем понимается область пространства распространения звуковых волн. На параметры звукового поля зрительного зала влияет форма ограждающих поверхностей, их поглощающие или отражающие свойства, а также взаимное расположение источников и приемников звуковых волн.

Для каждого жанра (симфония, опера и т. д.) существует оптимальное значение времени реверберации, которое также зависит и от объема зрительного зала¹. Время реверберации $RT60$ – это теоретически расчетное время затухания энергии звукового сигнала 0 до –60 дБ, после выключения источника или измеренное по кривой затухания энергии на участке 10 дБ (от –5 до

¹ СНиП 23-03–2003. Защита от шума. Москва: Госстрой России, 2004. С. 32.

–15 дБ), 20 дБ (от –5 до –25 дБ) и 30 дБ (от –5 до –35 дБ) и умноженное соответственно на $6 = T_{10}$, на $3 = T_{20}$ и на $2 = T_{30}$. Более поздние исследования XX столетия показали, что время реверберации является основным критерием, но недостаточным для хорошего звучания зала. Основные эксперты в оценке качества звучания зала – это слушатели и музыканты. Новые акустические параметры зрительного зала сформировались благодаря более глубокому анализу слухового восприятия человеком – психоакустике. Вот некоторые из них. Сила звука G – это ощущение увеличения громкости звучания, например, оркестра в зале по сравнению с безэховым пространством. Индекс прозрачности музыки S_{80} – это возможность расслышать каждую ноту в партитуре и др. В 80-х гг. прошлого столетия были исследованы акустические условия музыкантов на сцене, и к параметрам зрительного зала добавились параметры сцены. Индексы поддержки сцены $ST_1(ST_{Early})$ и $ST_2(ST_{Late})$ характеризуют акустические условия исполнения в ансамбле и ощущения объемности звучания музыкального инструмента. В настоящее время важность перечисленных выше параметров поддержана многими учеными в мире, и поэтому они вошли в стандарт. Подробное описание параметров и методик их измерений приведено в ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 «Акустика, измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы».

2. Электроакустические системы активного управления звуковым полем

Мечта скорректировать акустику помещения возникла практически сразу, как только были созданы первые студийные микрофоны и громкоговорители. Но поскольку это был конец 30-х гг. прошлого столетия, то решение этой задачи стало возможным только после Второй мировой войны. Кроме того, некоторые восстановленные после войны значимые для мировой культуры театры и концертные залы потеряли свою превосходную акустику. Стало актуальным найти решения по улучшению акустики без изменения архитектуры.

В 1950-е гг. исследования в этой области проводились во многих странах. Одна из первых систем совершенствования акустики была запатентована фирмой Philips. Принцип получил название амбиофония. В амбиофонической системе микрофоны, находящиеся на сцене, воспринимали как прямой звук, так и ранние отражения от ограждающих поверхностей сцены, затем эти сигналы усиливались, суммировались и подавались на магнитофонную линию задержки, с выходов которой сигналы подавались на группы разноудаленных от сцены громкоговорителей. Сегодня такая система может считаться очень грубой, но в 1959 г. эта система была восхитительной. Она применялась в нескольких залах Европы и даже в знаменитом театре Ла Скала в Милане [1].

В России усовершенствованная амбиофоническая система применялась в Кремлевском дворце съездов. Структура системы была дополнена реверберационной камерой, внутри которой помещался громкоговоритель и микрофон, сигнал которого подмешивался к сигналам задержек для улучшения временной структуры реверберации. Звукорежиссер мог оперативно управлять параметрами звукового поля. Время реверберации изменялось от 1,5 до 3,0 с на средних частотах [2, с. 74–79].

Основная проблема аналоговых амбиофонических систем – это непостоянство параметров. Невозможно было произвести регулировку и сохранить все параметры настройки в памяти системы. Поэтому всегда должен был работать высококвалифицированный звукооператор, который регулировал электроакустические параметры системы и во время репетиций, и во время концерта на слух. Цифровая обработка звуковых сигналов привела к скачку в качественных характеристиках аудиосистем. Построение DSP (цифрового сигнального процессора) позволило использовать алгоритмы обработки звуковых сигналов в реальном времени, недоступных в аналоговых приборах. Благодаря цифровой обработке звуковых сигналов аудиосистемы достигли качества, соизмеримого с психоакустическими возможностями человека. Цифровая обработка звуковых сигналов стала базой для создания алгоритмов АУЗП зрительного зала, основанных на архитектурной акустике, психоакустике и информатике. Такие системы стали называть «электронной архитектурой» [3]. А главное, в цифровых системах появилась возможность сохранять в памяти процессоров настройки, которые мог переключать сам дирижер без звукооператора. Новые технологии управления звуковым полем являются продолжением архитектурной акустики или ее составной частью, как виртуальные ограждающие поверхности с управляемыми акустическими параметрами. Следует отметить, что любые технологии активного управления звуковым полем способны виртуально лишь увеличить объем зрительного зала, увеличить время реверберации, увеличить количество отражений.

Существуют различные технологии АУЗП, построенные на базе цифровой обработки сигналов: линейная технология S-SF (синтез звукового поля) и технология с обратной связью A-SF (коррекция звукового поля), с применением или без алгоритмов искусственной реверберации [4, с. 64]. Технология S-SF позволяет синтезировать звуковое поле в помещениях, в которых реверберационное звуковое поле незначительно или отсутствует. Синтез такого поля осуществляется с помощью алгоритмов искусственной реверберации. Экстремальными примерами могут считаться концертная площадка на открытом воздухе (практически свободное звуковое поле) или кинотеатр («мертвая» акустика). Технология A-SF (коррекция звукового поля) построена на использовании обратной связи и называется регенеративной. Системы, использующие эту технологию, только подправляют существующую «живую» акустику помещения. Существуют системы, использующие обе технологии. Эти системы построены по регенеративной технологии A-SF, но в обработку сигнала добавлены алгоритмы искусственной реверберации, базирующиеся на математических методах свертки и КИХ-фильтрации, такие системы называют гибридными.

Очевидно, что гибридные системы более эффективны. Авторам известны две из них: А. Система Constellation (Созвездие), ранее имела название VRAS (Система изменяемой акустики помещения) от фирмы Meyer Sound. Б. Система AFC (Активное управление звуковым полем) от фирмы Yamaha.

В России система «Созвездие» от Meyer Sound установлена в Московском международном Доме музыки в Большом концертном зале им. Е.Ф. Светланова в 2013 г. В системе использовано около 100 микрофонов и 150 громкоговорителей [4, с. 67].

Если сравнивать системы, построенные по линейной технологии S-SF, и системы, построенные по технологии A-SF, то последние имеют очень точные настройки, которые в виде пресетов хранятся в памяти процессоров и не требуют вмешательства звукооператора. Переключать пресеты могут помощники режиссеров, члены музыкальных коллективов, дирижеры. Однако по желанию заказчика системы могут быть спроектированы так, что очень ограниченный перечень параметров может меняться оперативно, например степень влияния системы на акустику зрительного зала.

3. Технологии активного управления звуковым полем в Тюменской филармонии

Большой зал им. Ю. Гуляева Тюменской филармонии рассчитан на 1200 зрителей, которые располагаются в партере, на балконе, под балконом и в ложах. Зал имеет глубинную колосниковую театральную сцену с просцениумом. Результаты анализа объемно-планировочного решения Большого зала показали, что по параметрам он соответствует многоцелевому залу. При объеме зала $V = 5560 \text{ м}^3$ удельный объем на одного зрителя составляет $4,63 \text{ м}^3$, длина зала – 34 м. Практически весь репертуар зала – концертные программы со звукоусилением.

В 2015 г. был создан Тюменский государственный симфонический оркестр под управлением Евгения Ивановича Шестакова. С первых дней работы оркестра стало понятно, что плохие акустические условия затрудняют игру музыкантов даже на репетиции, когда зал не занят слушателями. Во время концерта оркестр звучит «сухо», хотя в составе оркестра очень талантливые музыканты. Причины – малое количество отражений на сцене и малое время реверберации.

Руководством филармонии рассматривались разные варианты улучшения звучания оркестра с помощью архитектурной акустики. Для сцены предлагалось использовать мобильную акустическую раковину. Трудности использования мобильной акустической раковины заключаются в том, что, во-первых, портал имеет ширину всего 13 м и высоту 7,95 м, что не позволяет применить стандартную акустическую раковину. Во-вторых, даже если применить акустическую раковину специальных размеров, то ее нужно часто собирать и разбирать из-за репертуара филармонии. В-третьих, еще одна проблема – хранение. Требуется довольно большой объем около сцены, но в филармонии нет театральных карманов сцены для хранения декораций.

Но еще большей проблемой является малое время реверберации в зрительном зале, которое без значительной реконструкции зала увеличить невозможно. Прежде всего, для симфонической музыки по нормам² требуется объем на одного зрителя 8–10 м^3 . Для 1200 зрителей это 9600–2000 м^3 , только тогда достигается оптимальное время реверберации $RT60 = 1,8\text{--}1,85 \text{ с}$ для заполненного зрителями зала.

3.1. Моделирование Большого зала Тюменской филармонии

Компьютерная модель существующего Большого зала была создана в программе EASE4.4. С помощью компьютерной акустической модели (рис. 1)

² СНиП 23-03–2003. Защита от шума. Москва: Госстрой России, 2004. С. 32.

анализировалось изменение параметров звукового поля со зрителями и без зрителей, структуры ранних отражений и оптимальное расположение громкоговорителей системы АУЗП.



Рис. 1. Компьютерная акустическая модель Большого зала Тюменской филармонии:
M1–M5 – контрольные места в зрительном зале для моделирования и измерений

В компьютерной модели использованы акустические параметры ограждающих поверхностей, близкие к тем, которые использованы в существующем зале. Значение времени реверберации RT_{60} на средних частотах, рассчитанное с помощью модели (табл. 1), намного меньше, чем требуется для симфонической музыки при количестве зрительских мест, равном 1200.

Таблица 1

**Время реверберации Большого зала в октавных полосах,
рассчитанное с помощью модели**

Центральная частота октавной полосы, Гц	250	500	1000	2000	4000	8000	500–1000
RT_{60} unpss, с без зрителей	1,24	1,13	1,07	1,01	0,96	0,72	1,10
RT_{60} oss, с со зрителями	1,14	1,03	0,95	0,87	0,85	0,65	0,99

В Большом зале филармонии используются мягкие кресла, поэтому время реверберации уменьшилось всего на 10 % при полностью заполненном зрителями зале. Поскольку в реальных условиях измерения проводятся без зрителей, то эти данные помогут рассчитать ожидаемое время реверберации в заполненном зрителями зале.

Технологии АУЗП позволяют улучшить структуру ранних отражений за счет добавления виртуальных отражений к существующим. Даже симулируя отражения первого порядка, мы получаем дополнительные отражения второ-

го, третьего и больших порядков от существующих ограждающих поверхностей в конкретном зрительном зале. С помощью модели проанализируем структуру ранних отражений ER с первого по третий порядок на месте M1 за период 100 мс (рис. 2) при расположении эталонного всенаправленного источника на оси симметрии сцены на глубине 2,5 м от края сцены и на высоте 1,5 м от планшета сцены. Добавив всего один дополнительный излучатель, симулирующий отражение первого порядка ER+1, мы получаем дополнительные отражения второго и третьего порядка и увеличиваем в целом суммарную энергию ранних отражений. По технологии АУЗП добавляется несколько излучателей, в описываемой системе используется 12 громкоговорителей, расположенных по правой и левой сторонам зала. В результате симуляции отражений первого порядка с помощью 12 громкоговорителей получаем значительное повышение энергии ранних отражений ER+12 второго и третьего порядка на контрольном месте M1.

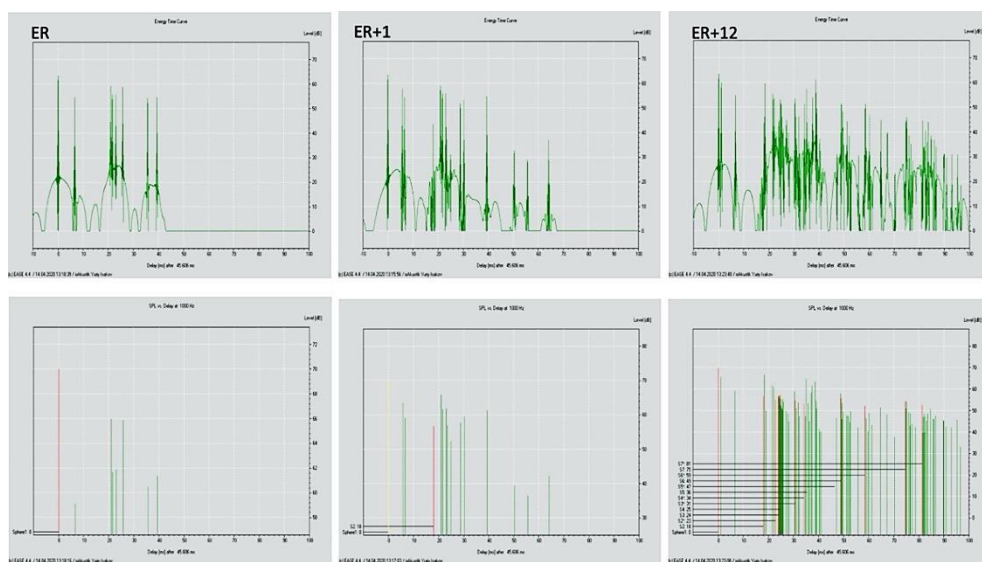


Рис. 2. Структура ранних отражений на контрольном месте M1

На разных местах в зрительном зале звуковое поле имеет различные параметры. Поэтому проанализированы структуры ранних отражений (рис. 3) на месте M2 – ближе к боковой стене, M3 – место под балконом, M4 – ближе к центру балкона, M5 – ближе к боковой стене балкона (рис. 1).

Анализируя структуру ранних отражений до третьего порядка на контрольных местах в зрительном зале, мы обнаруживаем бедность собственных отражений зала. Симуляцией отражений первого порядка с помощью технологии АУЗП удастся значительно обогатить ранние отражения на любых зрительских местах в зале.

Для оценки эффективности электронной оболочки сцены проанализируем структуру ранних отражений на сцене: с мягкой одеждой сцены, с акустической раковиной, с мягкой одеждой сцены, но с электронной оболочкой сце-

ны (рис. 5). Для сравнения используем одни и те же контрольные точки SM1, SM2, SM3, SM4 (рис. 4) и временной интервал 100 мс. В дальнейшем измерения параметров $ST1(ST_{Early})$ и $ST2(ST_{Late})$ будут проводиться в этих же контрольных точках. Для оценки структуры ранних отражений на расстоянии 1 м от каждой контрольной точки на высоте 1,5 м от планшета сцены располагается эталонный всенаправленный источник звукового сигнала.

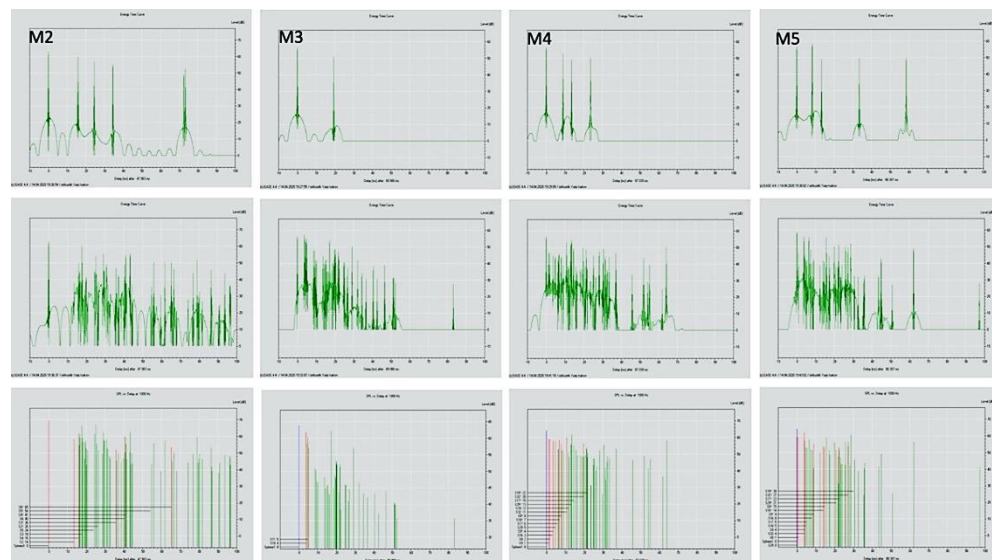


Рис. 3. Структура ранних отражений на контрольных местах M2, M3, M4, M5: верхний ряд – энергия ранних отражений в существующем зале; средний ряд – энергия ранних отражений с системой АУЗП; нижний ряд – красным отмечены сигналы громкоговорителей системы, симулирующие отражения первого порядка

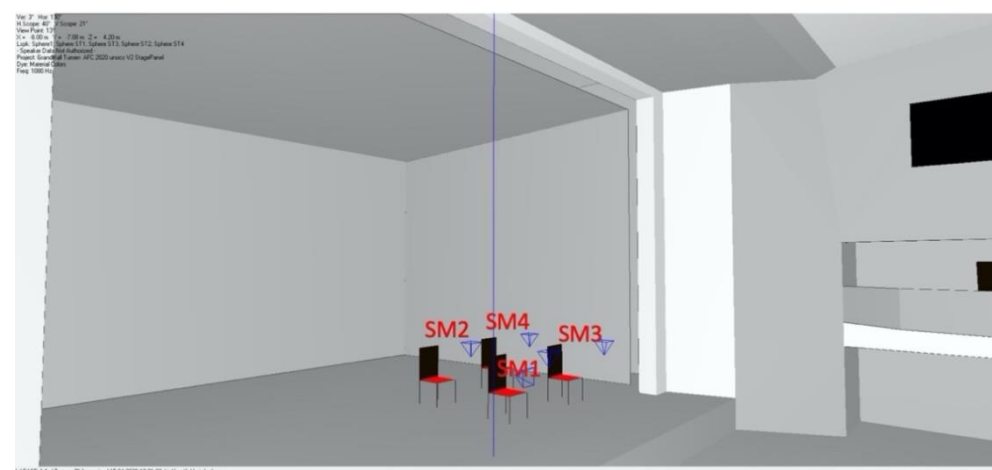


Рис. 4. Модель сцены с акустической раковиной: SM1, SM2, SM3, SM4 – контрольные точки

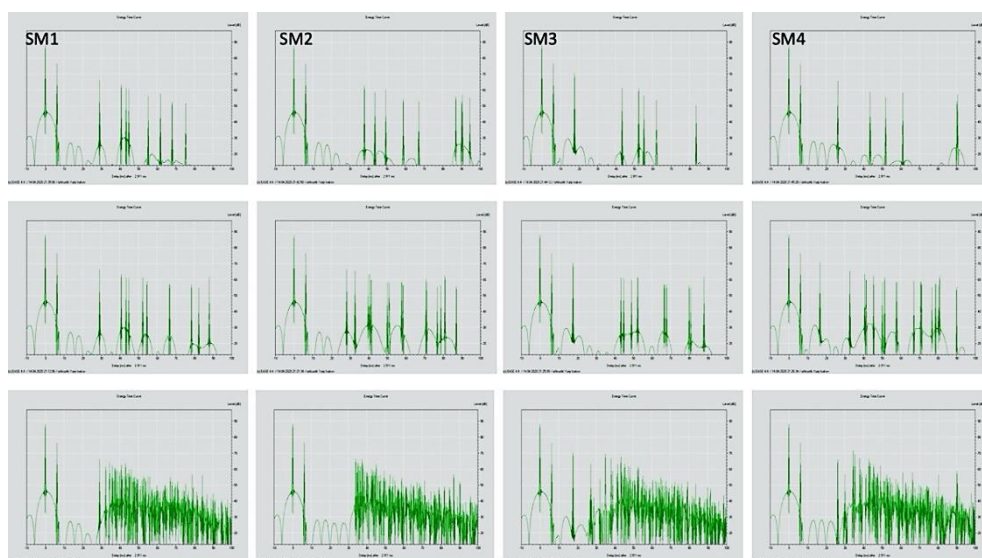


Рис. 5. Структура ранних отражений на сцене в контрольных точках SM1, SM2, SM3, SM4: верхний ряд графики энергии отражений на сцене с мягкой одеждой; средние графики – с акустической раковиной на сцене; нижний ряд графиков – с мягкой одеждой сцены и с электронной оболочкой

Очевидно, что акустическая раковина благоприятно меняет энергию и структуру ранних отражений на сцене, но также видно, что это изменение более существенно при работе электронной оболочки сцены (рис. 5).

Дополнительно электронная оболочка позволяет изменять высоту виртуальной раковины. Однако время прихода первых отражений зависит от высоты расположения микрофонов и громкоговорителей над планшетом сцены, и, следовательно, виртуальная раковина не может быть ниже реальной высоты их расположения. Графики структуры отражений показывают, что наиболее эффективно будет скорректирован параметр $ST2(ST_{Late})$ – объемность звучания музыкальных инструментов.

С учетом вышеизложенное было принято решение использовать для изменения акустических параметров Большого зала Тюменской филармонии систему AFC3. Цифра означает использование третьего поколения процессоров для систем AFC фирмы Yamaha. Система уже зарекомендовала себя во многих залах мира. За период с 1985 г. по настоящее время установлено уже более 150 систем [5, с. 69].

3.2. Что такое AFC?

Основной принцип работы системы – это управление звуковым полем на основе технологии A-SF, или регенерации – акустической обратной связи (рис. 6). Такой принцип позволяет улучшить существующую акустику в зале, сохраняя натуральность звучания.

В базовой системе AFC используется 4 микрофона, 4 основных канала обработки и множество независимых выходных каналов, которые заканчива-

ются громкоговорителями, расположенными на потолке и стенах в зрительном зале [5]. Количество выходных каналов и громкоговорителей зависит от размеров зала.

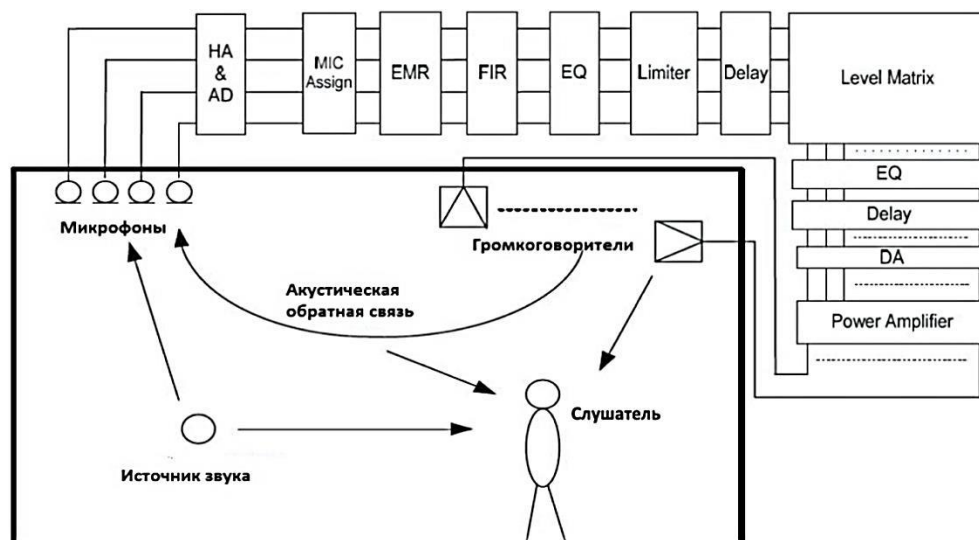


Рис. 6. Общая схема базовой системы AFC. Т. Watanabe [5]

Основными алгоритмами обработки звукового сигнала, отличающими систему AFC от всех систем других производителей, являются блоки EMR и FIR. EMR – электронный «вращатель» микрофонов – блок, который позволяет поочередно подключать к каждому каналу обработки все четыре микрофонных сигнала, но в каждый момент времени только один микрофонный сигнал подключен к одному каналу. Основная задача – усреднение звукового поля в области расположения микрофонов и в области зрителей. Применение такого метода позволяет также иметь дополнительный запас устойчивости системы к самовозбуждению 4 дБ [6, с. 123–125]. В каждом основном канале применяется цифровая обработка с помощью FIR-фильтров с конечной импульсной характеристикой (КИХ). Зал, акустически представленный в виде фильтра КИХ более чем 16 000 порядка, можно подправить с помощью коэффициентов фильтра, которые вычисляются в этом же зале при настройке системы. Вот почему систему AFC можно считать продолжением архитектурной акустики. В разных условиях может применяться несколько систем AFC одновременно. В больших залах используются самостоятельные системы для сцены, для зрительских зон партера, балкона и под балконом.

3.3. Описание системы AFC3 Большого зала Тюменской филармонии

Проблемы архитектурной акустики зрительного зала Тюменской филармонии было предложено решить с помощью системы АУЗП AFC3 Yamaha, состоящей из четырех подсистем: подсистемы электронной оболочки сцены, подсистемы управления реверберацией зрительного зала, подсистемы улучшения

ранних отражений в партере, подсистемы улучшения акустических условий зрителей под балконом, на балконе и в ложах. Всего использовано 5 процессоров третьего поколения AFC3-64, 80 громкоговорителей, 80 каналов усиления и 12 микрофонов. Все активные компоненты объединены в локальную сеть Dante. При настройке системы были учтены пожелания заказчиков создать пресеты акустических параметров для разных жанров, а не только для симфонического оркестра. Переключение настроек акустических параметров осуществляется с помощью настенной панели управления. Использовано две панели, одна панель расположена около сцены, которой пользуется инспектор оркестра. Другая – на месте звукорежиссера.

4. Результаты измерений акустических параметров Большого зала Тюменской филармонии с учетом системы AFC3 Yamaha

После настройки системы были измерены параметры звукового поля зрительного зала, на сцене и в зоне зрителей, при выключенной системе и при включенной системе в разных режимах. Параметры измерялись для двух размеров сцены – большой и камерной. Камерная сцена отличается тем, что задний занавес располагается на половине глубины большой сцены. Параметры измерялись на тех же контрольных местах зрительного зала, что и в компьютерной акустической модели. В качестве источника звука использовался додекаэдр и усилитель итальянской фирмы Outline. Источник звука был установлен в центре сцены на расстоянии 2,5 м от края сцены и на высоте 1,5 м от планшета сцены.

Все измерения проводились в незаполненном зрителями зале. Измерения времени реверберации в Большом зале филармонии (табл. 2) проводились без системы и с системой, работающей в разных режимах.

Таблица 2

Результаты измерения времени реверберации в Большом зале без системы и с системой AFC3 (с разрешения ООО «Ямаха Мюзик» Россия)

Пресет (высота виртуаль- ной оболочки сце- ны) (Назначение)	Время реверберации T_{20} (с) в октавных полосах (Гц) без зрителей						T_{20} (с) без зрителей	T_{20} (с) со зрителями (расчет)	Режим сцены
	250	500	1000	2000	4000	8000	500–1000		
Choral (7 м) (Хор)	2,83	2,60	2,70	2,58	1,93	1,24	2,65	2,39	Большая сцена
Organ (10 м) (Орган или брасс- ансамбль)	2,85	2,58	2,65	2,52	1,95	1,21	2,62	2,36	
Symphonic Large (10 м) (Симфония, романтика)	2,71	2,33	2,47	2,38	1,69	1,20	2,40	2,16	

Окончание табл. 2

Пресет (высота виртуальной оболочки сцены) (Назначение)	Время реверберации T_{20} (с) в октавных полосах (Гц) без зрителей						T_{20} (с) без зрителей	T_{20} (с) со зрителями (расчет)	Режим сцены
	250	500	1000	2000	4000	8000	500–1000		
Symphonic General (7 м) (Симфония классика)	2,40	2,08	2,18	2,04	1,55	1,07	2,13	1,92	
OFF (Full-stage)	1,18	1,15	1,05	0,94	0,71	0,50	1,10	0,99	
Chamber (7 м) (Камерная музыка)	1,74	1,62	1,63	1,49	1,10	0,86	1,63	1,47	Камер- ная сцена
Theatrical (Театр)	1,39	1,35	1,37	1,13	0,82	0,53	1,36	1,22	
OFF (Half-stage)	1,15	1,08	1,08	0,95	0,72	0,53	1,08	0,97	

Результаты измерений показали, что собственное время реверберации Большого зала $T_{20} = 1,10$ с без системы на средних частотах при большой сцене и совпадает с расчетным R_{60} упосс (табл. 1). Это позволяет рассчитать значения времени реверберации T_{20} со зрителями. Таким образом, при включенной системе AFC3 можно изменять время реверберации T_{20} от 1,22 до 2,39 с на средних частотах в заполненном зрителями Большом зале в зависимости от выбранного пресета.

В результате субъективных экспертных оценок дирижера и музыкантов более комфортным для исполнения классической симфонической музыки, например, таких композиторов, как Моцарт, Гайдн, выбран режим Symphonic General с временем реверберации 1,92 с, что всего на 6 % больше оптимального и равен 1,85 с. Режим Symphonic Large с временем реверберации 2,16 с больше подходит для больших симфонических форм, в том числе для хора с оркестром и симфонической классики периода романтики.

В режимах Symphonic также измерялись значение силы звука G и индекс прозрачности музыки S_{80} . Измерения показали, что усредненное по зрительским местам значение силы звука G при включении системы AFC3 увеличивается на 1,3 дБ. При этом значение индекса прозрачности музыки S_{80} изменяется до 2,16 дБ в режиме Large и до 2,42 дБ в режиме General, что лучше для симфонической музыки, чем 5,26 дБ без системы.

Параметры $ST_1(ST_{Early})$ и $ST_2(ST_{Late})$ – акустическая поддержка сцены (табл. 3) измерялись в тех же контрольных местах на сцене, что и в модели. Измерения показали, что эффективность электронной оболочки больше для $ST_2(ST_{Late})$, что соответствует результатам моделирования.

Таблица 3

**Акустическая поддержка сцены Большого зала с системой AFC3
(с разрешения ООО «Ямаха Мюзик» Россия)**

Пресет (высота виртуальной оболочки сцены)	ST1(дБ)	Δ ST1(дБ)	ST2 (дБ)	Δ ST2(дБ)
Выкл.	-17,1	–	-21,1	–
Symphonic General (7 м)	-15,5	1,6	-18,4	2,7
Symphonic Large (10 м)	-15,0	2,1	-17,7	3,4

Заключение

Использование технологий активного управления звуковым полем (АУЗП) для изменения акустических параметров зрительного зала является распространённым решением в современном мире. Однако в России это единичные случаи, хотя опыт создания таких систем на основе аналоговых технологий был получен еще в 60-е гг. прошлого столетия.

Пример построения и эксплуатации системы AFC3 от корпорации Yamaha в Большом зале им. Ю. Гуляева Тюменской филармонии доказывает, что использование современных цифровых регенеративных технологий АУЗП для улучшения архитектурной акустики существующих многоцелевых залов актуально. Это решение позволяет добиться оптимальных параметров для симфонической и академической музыки без реконструкции или полной перестройки зала. Кроме того, появляется возможность изменять акустические параметры зрительного зала и сцены для разных жанров (эстрада, театр, камерная музыка, симфоническая, хоровая).

Очевидно, что любая реконструкция существующего многоцелевого зала для симфонической и академической музыки требует значительного времени и больше средств, чем инсталляция системы активного управления звуковым полем между сезонами. Но кроме экономической выгоды наиважнейшим является мнение зрителей и музыкантов. Новую акустику Тюменской филармонии уже положительно оценили известные в нашей стране музыканты и дирижеры: Екатерина Мечетина, Денис Мацуев [7], Фабио Мастранджело и, конечно, маэстро Евгений Шестаков, который отметил, что симфонический оркестр Тюменской филармонии в родном зале с системой AFC3 стал звучать на мировом уровне.

Авторы продолжают исследования по архитектуре зрительных залов с учетом использования технологий активного управления звуковым полем.

Авторы статьи выражают благодарность ООО «Ямаха Мюзик» Россия, Москва, Центру Театральных Технологий Сибири (Новосибирск) и руководству Тюменской филармонии за предоставленные материалы для статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ron Bakker. Active Acoustic Enhancement Systems – introducing Yamaha AFC3 – presentation at the 27th Ton Meister Tagung in Cologne, Germany, 23-11-2012.

2. Фурдуйев В.В. Стерефония и многоканальные звуковые системы. Москва : Энергия, 1973. С. 74–79.
3. Chuck McGregor. Electronic architecture: The Musical Realities of Its Application // Jaffe Acoustics, Inc. AES 6th international conference, May 5–8. Nashville, Tennessee, 1988.
4. Исаков Ю.И. Цифровая обработка звуковых сигналов в музыкальной акустике. Электроакустическая система активного управления звуковым полем // Вестник музыкальной науки. 2016. № 2 (12). С. 60–74.
5. Watanabe T., Miyazaki H., Ikeda M. Electronic Shell – Improvement of Room Acoustics without Orchestra Shell Utilizing Active Field Control // AES 140th Convention, June 4–7. Paris, France, 2016.
6. Анерт В., Райхардт В. Основы техники звукоусиления: пер. с нем. Москва : Радио и связь, 1984. С. 123–125.
7. Мацуев Д. Обновленный звук в Тюменской филармонии просто льется // Портал КТО Тюмени. URL: <https://tgf.kto72.ru/news/5070/>

REFERENCES

1. Ron Bakker. Active acoustic enhancement systems - introducing Yamaha AFC3. Presentation at the 27th Ton Meister Tagung in Cologne, Germany, 2012.
2. Furduev V.V. Stereofoniya i mnogokanal'nie zvukovie sistemi [Stereophonics and multichannel sound systems]. Moscow: Energiya, 1973. Pp. 74–79. (rus)
3. Chuck McGregor. Electronic architecture: The musical realities of its application. *Proc. AES 6th Int. Conf. 'Sound Reinforcement'*. Nashville, Tennessee, 1988.
4. Isakov Yu. Digital processing of audio signals in musical acoustics. Electroacoustic system of sound field active control. *Journal of Musical Science*. 2016. No. 2 (12). Pp. 60–74.
5. Watanabe T., Miyazaki H., Ikeda M. Electronic shell – improvement of room acoustics without orchestra shell utilizing active field control. AES 140th Convention. Paris, France, 2016.
6. Ahnert W., Reichardt W. Osnovy tekhniki zvukousileniya [Sound reinforcement engineering: Fundamentals and practice]. Moscow: Radio i svyaz', 1984. Pp. 123–125. (transl. from Germ.)
7. Matsuev D. Obnovlenniy zvuk v Tyumenskoi filarmonii prosto l'etsya [Modernized sound in the Tyumen Philharmonic]. Available: <https://tgf.kto72.ru/news/5070/>

Сведения об авторе

Исаков Юрий Иосифович, аспирант, Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова, 630099, г. Новосибирск, Красный проспект, 38, isakoustik@gmail.com; специалист по проектам ООО «Ямаха Мюзик» 121059, г. Москва, ул. Киевская, 7, подъезд 7, оф. 37, yuriy.isakov@music.yamaha.com

Author Details

Yurii I. Isakov, Research Assistant, Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts, 38, Krasnyi Ave., 630099, Novosibirsk, Russia; Project Expert, ООО “Yamaha Music”, 7, Kievskaya Str., 121059, Moscow, Russia; yuriy.isakov@music.yamaha.com

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.34:621.397:69

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-119-131

*Ю.О. КРИВОШЕИН, Н.А. ЦВЕТКОВ, А.В. ТОЛСТЫХ,
А.Н. ХУТОРНОЙ, А.В. КОЛЕСНИКОВА, А.В. ПЕТРОВА,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ЭФФЕКТИВНАЯ СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ДЛЯ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Целью настоящей работы является разработка эффективной солнечной системы горячего водоснабжения, в которой исключаются тепловые потери накопленной тепловой энергии в баке-аккумуляторе за счет естественной конвекции теплоносителя в гидравлическом контуре коллекторов.

Проведено натурное экспериментальное исследование негативного эффекта естественной конвекции в ночное время в опытно-промышленной гибридной солнечной системе горячего водоснабжения с использованием разработанного программно-аппаратного комплекса с внешним доступом.

Для северных территорий разработана, построена и испытана опытно-промышленная гибридная солнечная система с усовершенствованным гидравлическим контуром и программно-аппаратным комплексом диспетчеризации и управления потреблением энерго-ресурсов с удаленным доступом.

Оснащение гидравлического контура коллекторов управляемым контроллером устройством отключения и включения движения теплоносителя позволяет для условий северных территорий повысить эффективность хранения накопленной тепловой энергии в баках-аккумуляторах и повысить солнечную фракцию систем горячего водоснабжения, снизить расходы топлива в дополнительных источниках системы и уменьшить выбросы вредных веществ от его сжигания.

Установлено, что использование соленоидного клапана для исключения возникновения естественной конвекции позволяет повысить эффективность хранения накопленной тепловой энергии в баках-аккумуляторах не менее чем на 50 % и повысить солнечную фракцию систем не менее чем на 25 %.

Ключевые слова: солнечные коллекторы; эффективность солнечных систем горячего водоснабжения; экспериментальные исследования; программно-аппаратный комплекс с удаленным доступом.

Для цитирования: Кривошеин Ю.О., Цветков Н.А., Толстых А.В., Хуторной А.Н., Колесникова А.В., Петрова А.В. Эффективная солнечная система горячего водоснабжения для северных территорий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 119–131.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-119-131

© Кривошеин Ю.О., Цветков Н.А., Толстых А.В., Хуторной А.Н., Колесникова А.В., Петрова А.В., 2020

Yu.O. KRIVOSHEIN, N.A. TSVETKOV, A.V. TOLSTYKH,
A.N. KHUTORNOY, A.V. KOLESNIKOVA, A.V. PETROVA,
Tomsk State University of Architecture and Building

EFFECTIVE SOLAR HOT WATER SYSTEM FOR NORTHERN TERRITORIES

Purpose. The aim of this work is to develop an effective solar hot water system, which eliminates the heat loss of the accumulated thermal energy in the storage tank due to the natural convection of the coolant in the hydraulic circuit of collectors. **Design technique.** A full-scale experimental study concerns the negative effect of natural convection at night in the experimental industrial hybrid solar hot water system in the developed hard and software with remote access. **Results.** The pilot industrial hybrid solar system with the improved hydraulic circuit and a soft and hardware system for dispatching and managing energy consumption with remote access was developed, built and tested for Northern territories. **Practical implications.** The hydraulic circuit of collectors equipped with a controller for switching off the coolant provides the northern conditions to increase the thermal energy in storage tanks and the solar fraction of hot water systems, reduce the fuel consumption in additional system sources and the emission of harmful substances produced by the fuel combustion. **Originality/value.** It is shown that the use of a solenoid valve to eliminate the natural convection increases the thermal energy storage in tanks by at least 50 % and the solar fraction of systems by at least 20 %.

Keywords: solar collectors; solar hot water supply systems; experimental research; software and hardware with remote access.

For citation: Krivoshein Yu.O., Tsvetkov N.A., Tolstykh A.V., Khutornoy A.N., Kolesnikova A.V., Petrova A.V. Effektivnaya solnechnaya sistema goryachego vodosnabzheniya dlya severnykh territorii [Effective solar hot water system for northern territories]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 119–131.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-119-131

Введение

Стремительное увеличение населения Земли и рост мировой экономики существенно повышают мировой спрос на энергию [1, 2]. Исследован спрос на использование тепловой энергии в жилом секторе для 165 стран, и построены глобальные карты [3]. Строительный сектор [4] занимает значительную долю в мировом потреблении энергии (32 %) и является одним из крупнейших факторов, способствующих изменению климата и выбросам CO₂. В этой связи усиливается актуальность развития технологий минимизации использования энергии и воды, уменьшения вредных отходов и выбросов [5].

В среднем по России [6] конечное потребление тепловой энергии в жилищном секторе (2014 г.) составляло 42 %, 16 % составляло конечное потребление электроэнергии и почти треть суммарного потребления природного газа. Около 65 % территории России занимает вечная мерзлота. На северных территориях, включая и территории с вечной мерзлотой, эти показатели, несомненно, выше, и особенно по использованию относительно легко транспортируемого природного газа от близких мест добычи. Автор [6] показывает, что меры по энергосбережению, в том числе экономии природного газа на единицу вложений, дают в 3–5 раз больший эффект, чем наращивание произ-

водства газа. Поэтому стимулирование строительства энергоэффективных жилых зданий является фактором экономического роста и повышения экспортных возможностей природного газа России.

Северные территории богаты природными ресурсами и являются малонаселенными. Освоение этих территорий требует привлечения людских ресурсов, что неизбежно связано с развитием строительства энергоэффективного благоустроенного жилья с использованием возобновляемых источников энергии [7], которые позволяют сокращать потребление газа и уменьшать вредные выбросы в чувствительную к загрязнениям природу северных территорий [8, 9].

В 2013–2017 гг. в Якутске построен энергоэффективный квартал, многоквартирные жилые дома которого оснащены гибридными солнечными системами горячего водоснабжения (ГВС) [10–11]. При строительстве этих систем использованы вакуумные трубчатые коллекторы, эффективность которых показана в работе [12]. Детальные исследования эффективности этих систем [13–14] показали, что в системах, оснащенных газовыми котлами, происходит значительный перерасход природного газа на компенсацию тепловых потерь в контурах коллекторов в ночное время. Это происходило за счет возникновения естественной конвекции.

При возникновении естественной конвекции часть накопленной тепловой энергии от солнца в дневное время будет рассеиваться ночью от наружных трубопроводов и коллекторов в случаях, когда температура в баке-аккумуляторе будет выше температуры наружного воздуха. В летнее время этот эффект будет в меньшей степени снижать эффективность солнечных систем горячего водоснабжения, чем в зимних условиях. При круглогодичной эксплуатации системы на северных территориях этот эффект непроизводительных тепловых потерь будет значительно выше, чем на южных территориях.

Целью настоящей работы является разработка эффективной солнечной системы горячего водоснабжения, в которой исключаются тепловые потери накопленной тепловой энергии в баке-аккумуляторе за счет естественной конвекции теплоносителя в гидравлическом контуре коллекторов.

Методы и подходы

Достижение поставленной цели исследований, с одной стороны, связано с разработкой, проектированием и строительством опытно-промышленной гибридной солнечной системы горячего водоснабжения (ГССГВС) в цехе № 1 научно-производственного объединения «Внедрение энергосберегающих технологий» (НПО «ВЭСТ»). С другой стороны, потребовалась разработка трехуровневого программно-аппаратного комплекса с внешним доступом для сбора, хранения, передачи, обработки и представления непрерывных (через 30 с) данных показаний сенсоров и приборов в ходе натурного экспериментального испытания системы.

Разработанная гибридная система ГВС представлена на рис. 1.

На фронте здания (рис. 1, а) выполнен монтаж двух вакуумных трубчатых коллекторов SOLTEK-DV SUNRAIN СЕРИИ TZ(ES) с площадью абсорбера 3,98 м² (производство КНР). Коллекторы обращены на юг и установ-

лены под углом наклона 47° . Они могут быть подключены параллельно и последовательно. Внутренние трубопроводы с показывающими контрольными приборами, циркуляционным насосом, сенсорами и запорно-регулирующей арматурой показаны на рис. 1, б. Щит управления, включающий контроллеры, счетчики расходов воды, счетчик тепловой энергии и устройство сбора и передачи данных, представлен на рис. 1, в. Бак-аккумулятор BUDERUS LOGALUX PNR 1000-80/5 E7736501725 (ФРГ) имеет объем 1000 л (рис. 1, г).

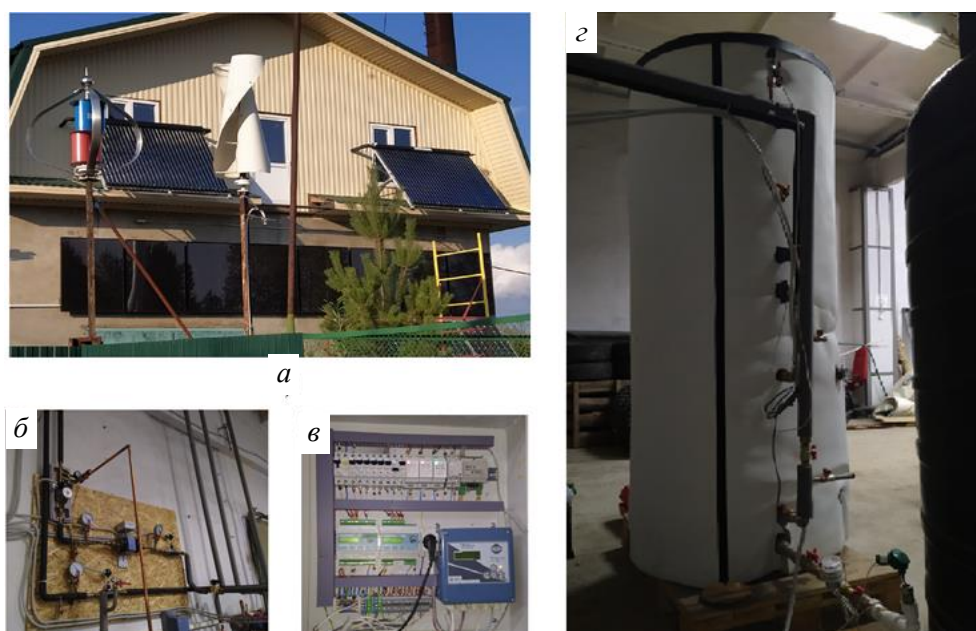


Рис. 1. Наружные и внутренние части гибридной солнечной системы ГВС:

а – расположение двух коллекторов, солнечных панелей и двух ветрогенераторов; б – внутренние трубопроводы; в – блок управления, сбора и передачи данных измерений; г – бак-аккумулятор

Принципиальная схема солнечной водонагревательной установки (СВНУ) опытно-промышленной установки ГССГВС представлена на рис. 2.

Отличительной особенностью исследуемой СВНУ является наличие управляемого контроллером электромагнитного (соленоидного) клапана в гидравлическом контуре коллекторов, обеспечивающего исключение возникновения естественной конвекции в ночное время. При выполнении экспериментов клапан закрывался и открывался в ручном режиме управления.

Натурные экспериментальные исследования выполнялись при использовании разработанного программно-аппаратного комплекса, который позволяет контролировать основные параметры работы системы и солнечную инсоляцию в реальном режиме времени с контролем на мнемосхеме (рис. 3). Все измерения выполнялись через 30 с. Комплекс позволял по выбору исследователя получать средние показания сенсоров и приборов через любой промежуток времени в минутах, представлять эти данные в требуемом табличном или графическом виде.

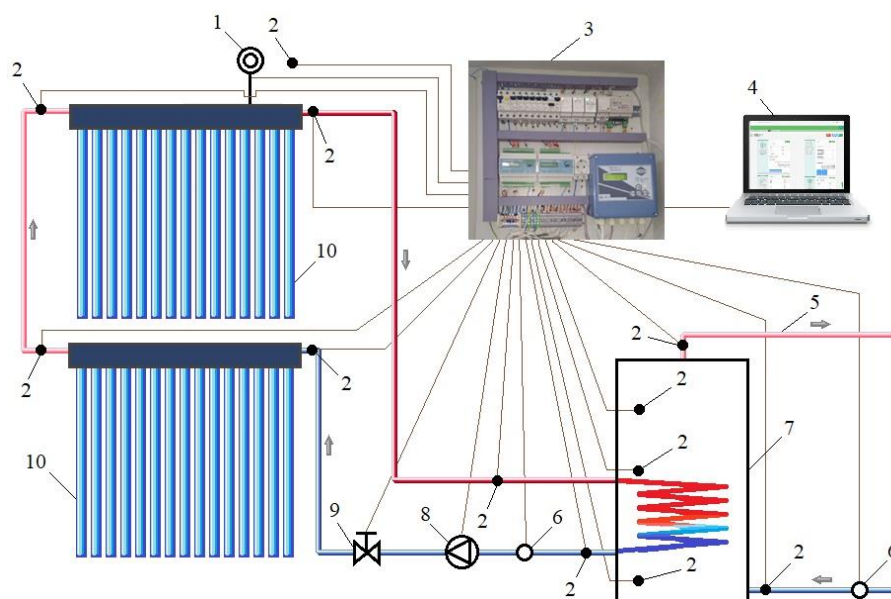


Рис. 2. Основные компоненты и используемые датчики исследуемой СВНУ:

1 – датчик солнечной инсоляции; 2 – датчики температуры; 3 – блок управления с устройством для сбора и передачи данных; 4 – сервер; 5 – трубопровод подачи нагретой воды к потребителю; 6 – расходомер холодной воды; 7 – бак-аккумулятор; 8 – циркуляционный насос; 9 – электромагнитный клапан; 10 – коллектор

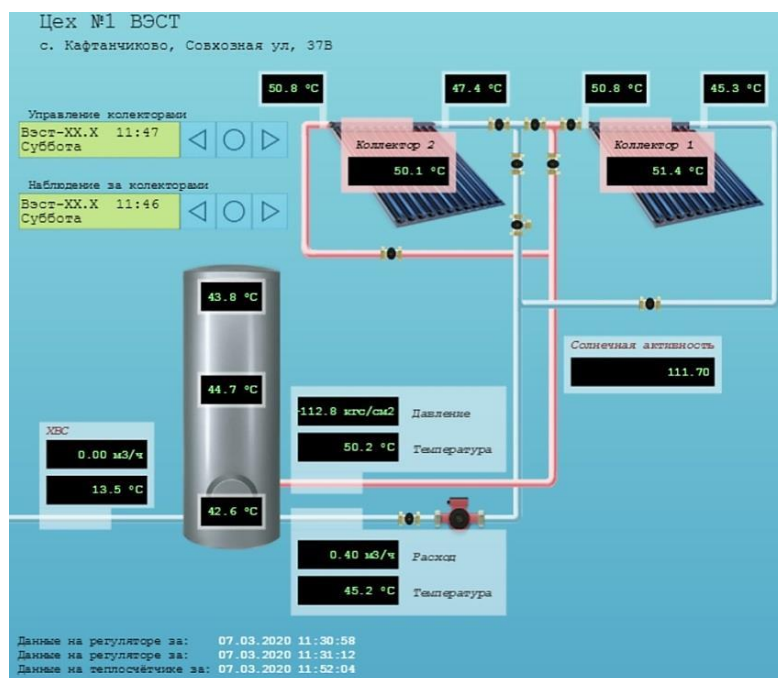


Рис. 3. Мнемосхема СВНУ для контроля основных параметров в реальном режиме местного времени

При экспериментальном годовом анализе производительности солнечной системы нагрева воды с трубчатым вакуумированным коллектором [15] использована разработанная автоматизированная подсистема для контроля параметров водонагревательной установки. В этой работе показана необходимость управления циркуляционным насосом в облачные дни. Циркуляционный насос (рис. 2) отключается при достижении разности осредненной температуры коллекторов и температуры воды в соответствующем баке-аккумуляторе менее $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и включается, когда эта разность больше $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Нагревание воды в баке-аккумуляторе солнечными коллекторами началось утром. После восхода солнца и достижения средней температуры первого коллектора $t_{\text{Кол1}}$ выше на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, чем температура в нижней части бака-аккумулятора $t_{\text{Бак1}}$, соленоидный клапан открывался (если был закрыт) и включался циркуляционный насос. В работе [15] показано, что эффективное управление режимом работы циркуляционного насоса может увеличить производительность коллекторов в пасмурные дни. Поэтому в течение всего дня насос периодически включался и выключался при указанном условии. Вечером, после заката солнца, температура коллектора $t_{\text{Кол1}}$ снижалась и при температуре на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше температуры воды в баке $t_{\text{Бак1}}$ соленоидный клапан (при необходимости) закрывался. В ночное время с открытым (или закрытым) соленоидным клапаном исследовался процесс охлаждения воды в баке-аккумуляторе. При этом измерялась температура воды в баке-аккумуляторе и температура теплоносителя в коллекторах.

Результаты

Типичный процесс нагревания воды в баке-аккумуляторе, изменение солнечной активности в пасмурный день с прояснениями и температуры в коллекторах показан на рис. 4. Этот рисунок генерирован разработанным программно-аппаратным комплексом. В левой части рис. 4 видно, что часть солнечной энергии расходуется утром на нагревание коллектора. После открытия клапана и включения насоса тепловая энергия поступает в СВНУ.

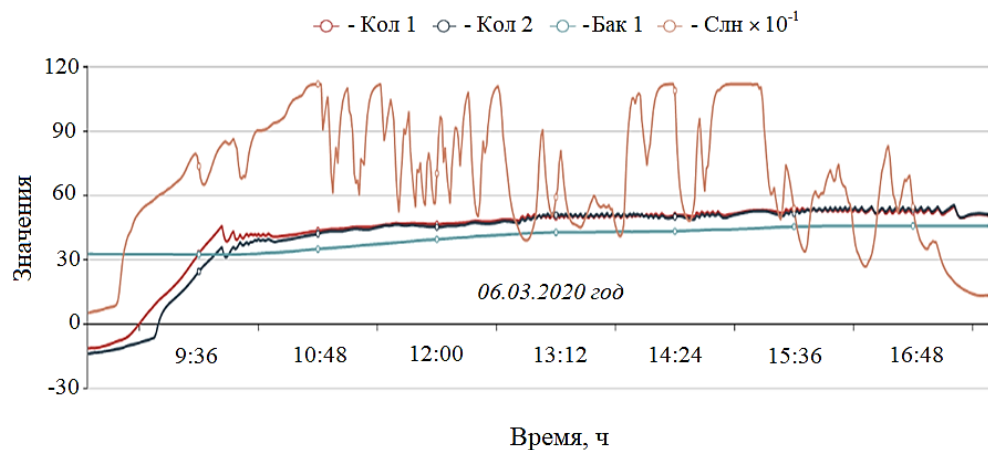


Рис. 4. Дневное нагревание воды в баке-аккумуляторе при облачной погоде

Изменение параметров СВНУ в ночное время при открытом и закрытом клапане в июне 2019 г. показано на рис. 5 и 6 соответственно.

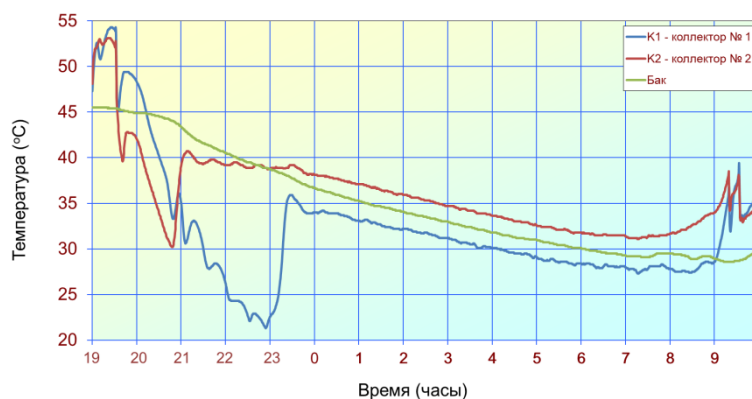


Рис. 5. Изменение параметров СВНУ при открытом клапане в ночное время с 20.06.19 г. на 21.06.19 г.

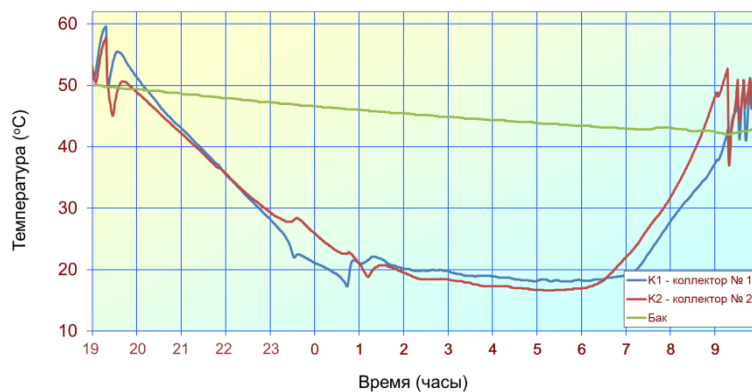


Рис. 6. Изменение параметров СВНУ при закрытом клапане в ночное время с 21.06.19 г. на 22.06.19 г.

Результаты изменения параметров СВНУ при поступлении тепловой энергии от коллекторов днем и при охлаждении воды в баке-аккумуляторе с закрытым и открытым клапаном ночью представлены на рис. 7–9.

Анализ рис. 5 и 7 показывает, что в процессе охлаждения коллекторов после выключения циркуляционного насоса при открытом клапане возникает естественная конвекция в контуре коллекторов в направлении от второго коллектора к первому. Это объясняет факт, что график изменения температуры коллектора № 2 расположен выше графика изменения температуры воды в баке-аккумуляторе, а график изменения температуры коллектора № 1 расположен ниже графика изменения температуры воды в баке-аккумуляторе. При этом тепловая энергия просто выбрасывается.

Эффект сохранения накопленной солнечной энергии при использовании соленоидного клапана в июне и в ноябре показан в табл. 1 и 2.

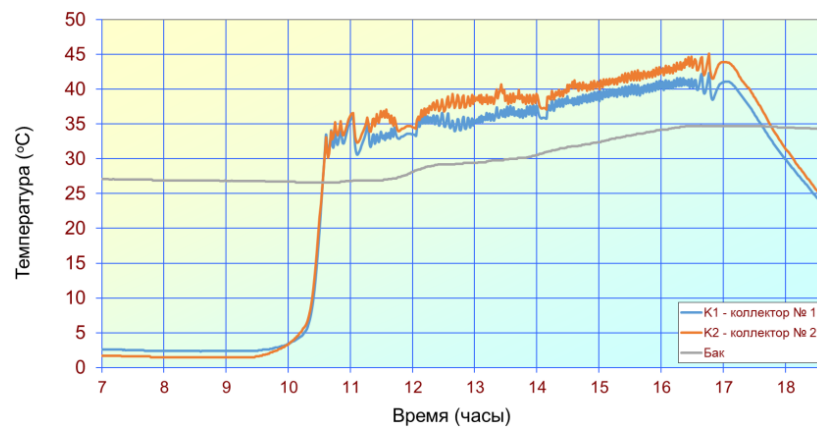


Рис. 7. Нагревание воды в баке-аккумуляторе 02.11.2019 г.

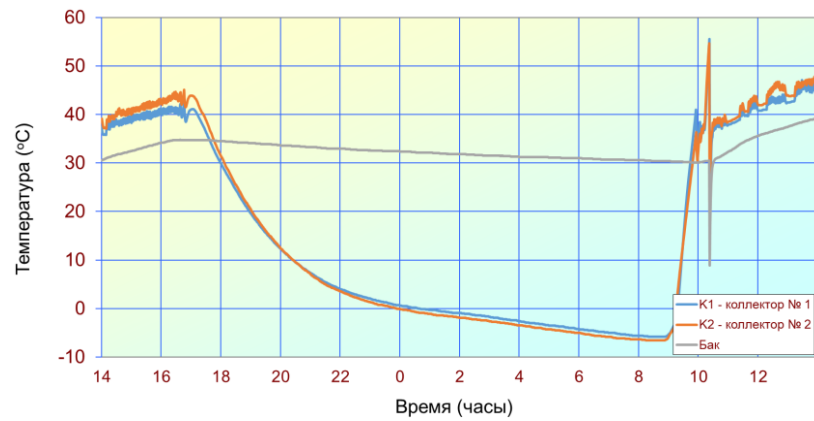


Рис. 8. Изменение параметров СВНУ при закрытом клапане с 14 ч 2 ноября по 14 ч 3 ноября 2019 г.

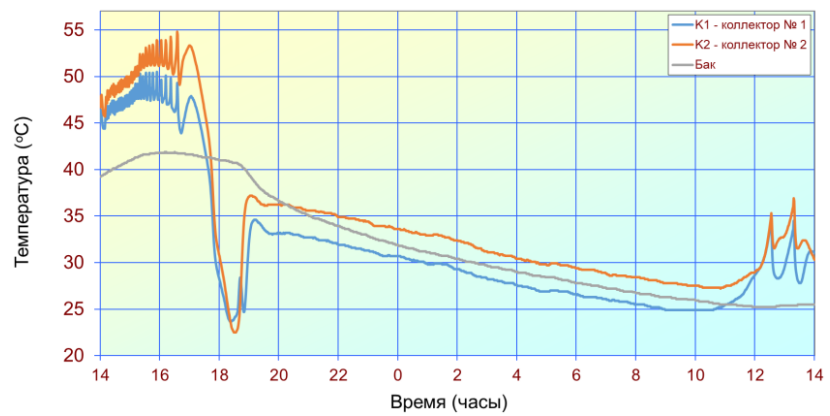


Рис. 9. Изменение параметров СВНУ при открытом клапане с 14 ч 3 ноября по 14 ч 4 ноября 2019 г.

Таблица 1

**Эффективность сохранения накопленной солнечной энергии
при использовании соленоидного клапана в июне (20.06.2019–22.06.2019)**

$t_{\text{нач}},$ °C	$t_{\text{кон}},$ °C	$I_1,$ МДж	$I_2,$ МДж	$I_1-I_2,$ МДж	$Q_{\text{бак}} + Q_{\text{колл}},$ МДж	$Q_{\text{колл}},$ МДж
Электромагнитный (соленоидный) клапан открыт						
45,0	28,5	169,29	107,22	62,07	62,07	35,74
Электромагнитный (соленоидный) клапан закрыт						
50,0	43,0	188,10	161,77	26,33	26,33	–

Таблица 2

**Эффективность сохранения накопленной солнечной энергии
при использовании соленоидного клапана в ноябре (02.11.2019–04.11.2019)**

$T_{\text{бак1}},$ °C	$T_{\text{бак2}},$ °C	$I_1,$ МДж	$I_2,$ МДж	$I_1-I_2,$ МДж	$Q_{\text{бак}} + Q_{\text{колл}},$ МДж	$Q_{\text{колл}},$ МДж
Электромагнитный (соленоидный) клапан открыт						
41,0	25,0	154,24	94,05	60,19	60,19	41,38
Электромагнитный (соленоидный) клапан закрыт						
35,1	30,1	132,05	113,24	18,81	18,81	–

В табл. 1, 2 обозначено: $t_{\text{нач}}, t_{\text{кон}}$ – температура воды в баке в начале и в конце охлаждения; I_1, I_2 – энтальпия воды в баке в начале и в конце охлаждения; $Q_{\text{бак}}$ – потери тепловой энергии с поверхности бака; $Q_{\text{колл}}$ – минимальные потери тепловой энергии воды из бака в гидравлическом контуре коллекторов при открытом клапане. Эти потери составляют в ночное время в июне 2019 г. 35,74 МДж, что в 1,36 раза выше, чем от бака-аккумулятора. В более холодную ночь (ноябрь 2019 г.) эти потери возросли до 41,38 МДж, что в 2,2 раза выше, чем от поверхности бака-аккумулятора.

Дальнейшее развитие исследований по созданию гибридных солнечных систем горячего водоснабжения на северных территориях будет связано с использованием уточненных математических моделей солнечной инсоляции на конкретной территории, как показано в работах [16–18], и усовершенствованием программно-аппаратных комплексов для управления работой элементов системы, мониторинга эффективности системы на основе технологий удаленного доступа [19].

Таким образом, применение соленоидного клапана в СВНУ для северных территорий исключает потерю около 50 % накопленной от солнца тепловой энергии в окружающую среду, обеспечивая и снижение выбросов продуктов сжигания топлива для компенсации этой части тепловых потерь. Экономия, например, природного газа при этом повышает экспортные возможности России.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Balatsky A.V., Balatsky G.I., Borysov S.S. Resource Demand Growth and Sustainability Due to Increased World Consumption Sustainability. 2015. № 7. P. 3430–3440. DOI:10.3390/su7033430.
2. Avtar R., Tripathi S., Aggarwal A.K., Kumar P. Population – Urbanization – Energy Nexus: A Review // Resources. 2019. № 8. P. 136. DOI:10.3390/resources8030136.
3. Sach J., Moya D., Giarola S., Hawkes A. Clustered spatially and temporally resolved global heat and cooling energy demand in the residential sector // Applied Energy. 2019. 250. P. 48–62. DOI:10.1016/j.apenergy.2019.05.011.
4. Abikoye B., Cucek L., Isafiade A.J., Kravanja Z. Synthesis of Solar Thermal Network for Domestic Heat Utilization // Chemical Engineering Transactions. 2019. 76. P. 1015–1020. DOI:10.3303/CET1976170.
5. Čuček L., Boldyryev S., Klemeš J.J., Kravanja Z., Krajačić G., Varbanov P.S., Neven Duić. Approaches for Retrofitting Heat Exchanger Networks within Processes and Total Sites, Journal of Cleaner Production (2018), doi:10.1016/j.jclepro.2018.11.129.
6. Башмаков И.А. Использование энергии и энергоэффективность в российском жилищном секторе. Как сделать его низкоуглеродным? // Энергосовет. 2014. № 2 (33). С. 22–31.
7. Голикова А.А., Кондратов Н.А. Перспективы использования альтернативных источников энергии в Арктической зоне России // География: развитие науки и образования : коллективная монография по материалам Всероссийской с международным участием научно-практической конференции LXXII Герценовские чтения, посвященной 150-летию со дня рождения В.Л. Комарова, 135-летию со дня рождения П.В. Гуревича, 90-летию со дня рождения В.С. Жекулина. 2019. С. 241–245.
8. Экологические проблемы Арктики и северных территорий : межвузовский сборник научных трудов / отв. ред. П.А. Феклистов. Архангельск : Изд-во: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2017. Вып. 20. 287 с.
9. Barzut O., Kondratov N., Bahmatova Yu., Shmilova Yu. Actual problems of sustainable socio-economic and ecological balanced development of the Russian Arctic // In the collection of articles: 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019 Conference proceedings, Sofia. 2019. P. 11–18.
10. Цветков Н.А., Кривошеин Ю.О. Автономное теплоснабжение малоэтажных зданий в Республике САХА (Якутия) (п. Жатай) с использованием газовых котлов и энергии солнца // Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий : сб. материалов II Всероссийской научной конференции с международным участием, ИТФ СО РАН, 24–26 марта 2015 г. С. 252–259.
11. Кривошеин Ю.О., Кривошеин Ю.О., Цветков Н.А., Хуторной А.Н. Автоматизированная дуальная система горячего водоснабжения с использованием энергии солнца и газового котла // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 1 (60). С. 162–173.
12. Хуторной А.Н., Цветков Н.А., Кривошеин Ю.О., Кузнецова А.А. Эффективность использования солнечных вакуумных трубчатых коллекторов в природно-климатических условиях Якутии // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 3. С. 156–165.
13. Кривошеин Ю.О., Шемдышев У.Ю., Цветков Н.А. Анализ эффективности дуальной системы горячего водоснабжения в Городском округе «Жатай» (г. Якутск) // Избранные доклады 65-й Юбилейной университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2019. С. 973–975.
14. Krivoshein Y.O., Tolstykh A.V., Tsvetkov N.A., Khutornoy A.N. Efficiency of dual hot water systems with the use of solar evacuated tube collectors in the Northern territories // SEWAN-2019IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. 408. 012011. DOI:10.1088/1755-1315/408/1/012011.
15. Ayompe L., Duffy A. Thermal performance analysis of a solar water heating system with heat pipe evacuated tube collector using data from a field trial // Solar Energy. 2013. 90. P. 17–28. doi.org/10.1016/j.solener.2013.01.001.

16. Цветков Н.А., Кривошеин Ю.О., Толстых А.В., Хуторной А.Н. Моделирование инсоляции на горизонтальную поверхность для расчета почасовых значений солнечной радиации // Известия вузов. Строительство. 2019. № 6 (726). С. 81–92. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-726-6-81-92.
17. Krivoshein Y.O., Tolstykh A.V., Tsvetkov N.A., Khutornoi A.N. Mathematical model for calculating solar radiation on horizontal and inclined surfaces for the conditions of Yakutsk // SEWAN-2019 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2020. 408. 012002. DOI:10.1088/1755-1315/408/1/012002.
18. Tsvetkov N.A., Krivoshein U.O., Tolstykh A.V., Khutornoi A.N., Boldyryev S. The calculation of solar energy used by hot water systems in permafrost region: An experimental case study for Yakutia // Energy. 2020. V. 210. 118577. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118577>
19. Tsvetkov N.A., Krivoshein Y.O., Khutornoi A.N., Boldyryev S., Petrova A.V. Development of the Computer-Aided Application for the Use of Solar Energy in the Hot Water Supply System of Russian Permafrost Regions // Chemical Engineering Transactions. 2020. 81. P. 943–948. DOI:10.3303/CET2081158.

REFERENCES

1. Balatsky A.V., Balatsky G.I. and Borysov S.S. Resource demand growth and sustainability due to increased world consumption. *Sustainability*. 2015. V. 7. Pp. 3430–3440. DOI: 10.3390/su7033430.
2. Avtar R., Tripathi S., Aggarwal A.K., Kumar P. Population–urbanization–energy nexus: A review. *Resources*. 2019. V. 8. P. 136. DOI: 10.3390/resources8030136.
3. Sach J., Moya D., Giarola S., Hawkes A. Clustered spatially and temporally resolved global heat and cooling energy demand in the residential sector. *Applied Energy*. 2019. V. 250. Pp. 48–62. DOI: 10.1016/j.apenergy.2019.05.011.
4. Abikoye B., Cucek L., Isafiade A.J., Kravanja Z. Synthesis of solar thermal network for domestic heat utilization. *Chemical Engineering Transactions*. 2019. V. 76. Pp. 1015–1020. DOI: 10.3303/CET1976170.
5. Čuček L., Boldyryev S., Klemeš J.J., Kravanja Z., Krajačić G., Varbanov P.S., Neven Duić, Approaches for retrofitting heat exchanger networks within processes and total sites. *Journal of Cleaner Production*. 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.129. (rus)
6. Bashmakov I.A. Ispol'zovanie energii i energoeffektivnost' v rossiiskom zhilishchnom sektore. Kak sdelat' ego nizkouglerodnym? [Energy use and efficiency in the Russian housing sector. How to make it low-carbon?]. *Energosovet*. 2014. No. 2 (33). Pp. 22–31. (rus)
7. Golikova A.A., Kondratov N.A. Perspektivy ispol'zovaniya al'ternativnykh istochnikov energii v Arkticheskoi zone Rossii [Prospects for using alternative energy sources in Arctic Russia]. In: Geografiya: razvitie nauki i obrazovaniya [Geography: development of science and education]. Kollektivnaya monografiya po materialam Vserossiiskoi s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoi konferentsii the 72 Gertsenovskie chteniya, posvyashchennoi 150-letiyu so dnya rozhdeniya V.L. Komarova, 135-letiyu so dnya rozhdeniya P.V. Gurevicha, 90-letiyu so dnya rozhdeniya V.S. Zhekulina (Coll. Monograph adapted from 72nd All-Russ. Conf. in memory of V.L. Komarov, P.V. Gurevich and V.S. Zhekulina 'Gertsen Readings'). 2019. Pp. 241–245. (rus)
8. Feklistov P.A., (Ed.) Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territorii: mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov [Environmental problems in the Arctic and northern territories]. *Int. Coll. Papers*. 2017. No. 20. 287 p. (rus)
9. Barzut O., Kondratov N., Bahmatova Yu., Shmilova Yu. Actual problems of sustainable socio-economic and ecological balanced development of Russian Arctic. In: *Proc. 19th Int. Sci. Conf. 'GeoConference'*, Sofia, 2019. Pp. 11–18.
10. Tsvetkov N.A., Krivoshein Yu.O. Avtonomnoe teplosnabzhenie maloetazhnykh zdaniy v respublike SAKhA Yakutiya (p. Zhatai) s ispol'zovaniem gazovykh kotlov i energii solntsa [Autonomous heating of low-rise buildings in the Republic of Saha, Yakutia (Zhatai village) using gas boilers and solar energy]. *Energo- i resursoeffektivnost' maloetazhnykh zhilykh zdaniy: sb. materialov II Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym*

- uchastiem (Proc. 2nd All-Russ. Sci. Conf. 'Energy- and Resource-Efficiency of Low-Rise Buildings'). 2015 Pp. 252–259. (rus)
11. Krivoshein Yu.O., Krivoshein Yu.O., Tsvetkov N.A., Khutornoi A.N. Avtomatizirovannaya dual'naya sistema goryachego vodosnabzheniya s ispol'zovaniem energii solntsa i gazovogo kotla [Automated dual system of hot water supply provided with solar energy and gas boiler]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 1 (60). Pp. 162–173. (rus)
 12. Khutornoi A.N., Tsvetkov N.A., Krivoshein Yu.O., Kuznetsova A.A. Effektivnost' ispol'zovaniya solnechnykh vakuumnykh trubchatykh kollektorov v prirodno-klimaticheskikh usloviyakh Yakutii [Effective utilization of vacuum tube solar collectors in climatic conditions in Yakutia]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 3. Pp. 156–165. (rus)
 13. Krivoshein Yu.O., Shemdyshov U.Yu., Tsvetkov N.A. Analiz effektivnosti dual'noi sistemy goryachego vodosnabzheniya v Gorodskom okruge Zhatai (g. Yakutsk) [Analysis of efficiency of dual hot water supply system in Zhatay City (Yakutsk)]. In: *Izbrannye doklady 65 Yubileinoi universitetskoj nauchno-tehnicheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh (Proc. 65th All-Russ. Sci. Conf. of Students and Young Scientists)*. Tomsk: TSUAB, 2019. Pp. 973–975. (rus)
 14. Krivoshein Y.O., Tolstykh A.V., Tsvetkov N.A., Khutornoy A.N. Efficiency of dual hot water systems with the use of solar evacuated tube collectors in the Northern territories. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V. 408. 012011. DOI:10.1088/1755-1315/408/1/012011.
 15. Ayompe L., Duffy A. Thermal performance analysis of a solar water heating system with heat pipe evacuated tube collector using data from a field trial. *Solar Energy*. 2013. V. 90. Pp. 17–28. DOI: 10.1016/j.solener.2013.01.001.
 16. Tsvetkov N.A., Krivoshein Yu.O., Tolstykh A.V., Khutornoi A.N. Modelirovanie insolyatsii na gorizont'al'nyu poverkhnost' dlya rascheta pochasovykh znachenii solnechnoi radiatsii [Simulation of insolation on horizontal surface for calculation of hourly values of solar radiation]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2019. No. 6 (726). Pp. 81–92. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-726-6-81-92.
 17. Krivoshein Y.O., Tolstykh A.V., Tsvetkov N.A., Khutornoy A.N. Mathematical model for calculating solar radiation on horizontal and inclined surfaces for the conditions of Yakutsk. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V. 408. 012002. DOI: 10.1088/1755-1315/408/1/012002.
 18. Tsvetkov N.A., Krivoshein U.O., Tolstykh A.V., Khutornoi A.N., Boldyryev S. The calculation of solar energy used by hot water systems in permafrost region: An experimental case study for Yakutia. *Energy*. 2020. V. 210. 118577. DOI: 10.1016/j.energy
 19. Tsvetkov N.A., Krivoshein Y.O., Khutornoi A.N., Boldyryev S., Petrova A.V. Development of the computer-aided application for the use of solar energy in the hot water supply system of Russian permafrost regions. *Chemical Engineering Transactions*. 2020. V. 81. Pp. 943–948. DOI: 10.3303/CET2081158.

Сведения об авторах

Кривошеин Юрий Олегович, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, yurak89@list.ru

Цветков Николай Александрович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, nac.tsuab@yandex.ru

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

Хуторной Андрей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, khantgs@mail.ru

Колесникова Анна Владимировна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ann203040@yandex.ru

Петрова Алена Владимировна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, pvarnn@mail.ru

Authors Details

Yuriy O. Krivoshein, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq, 634003, Tomsk, Russia, yurak89@list.ru

Nikolay A. Tsvetkov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq, 634003, Tomsk, Russia, nac.tsuab@yandex.ru

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

Andrey N. Khutornoy, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq, 634003, Tomsk, Russia, khantgs@mail.ru

Anna V. Kolesnikova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq, 634003, Tomsk, Russia, ann203040@yandex.ru

Alena V. Petrova, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq, 634003, Tomsk, Russia, pvarnn@mail.ru

УДК 697.148

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-132-140

*А.Н. БЕЛОУС, М.В. ОВЕРЧЕНКО,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры*

ИССЛЕДОВАНИЕ БЫТОВЫХ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

Циклический режим работы образовательных учреждений в отопительный период является причиной нестационарности внутренних теплопоступлений. В статье выполнен сравнительный анализ методик расчета величин внутренних теплопоступлений. Определен приrost температуры по методике Шкловера с учетом прерывистой теплоподдачи. Проведены натурные исследования температурного режима учебной аудитории. На основании полученных данных установлен приrost температуры в течение рабочего дня, определена величина внутренних теплопоступлений. Полученные данные позволят в дальнейшем корректировать работу систем отопления, влиять на выбор теплоизоляционных систем и снижать расходы на энергоресурсы.

Ключевые слова: бытовые теплопоступления; нестационарные теплопоступления; температурный перепад; температура внутреннего воздуха; микроклимат помещения.

Для цитирования: Белоус А.Н., Оверченко М.В. Исследование бытовых теплопоступлений в образовательных учреждениях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 132–140.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-132-140

*A.N. BELOUS, M.V. OVERCHENKO,
Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture*

HEAT CONSUMPTION IN ACADEMIC INSTITUTIONS

The main purpose of the work is to estimate the influence of the intermittent heat supply from internal sources on inside air temperature in academic institutions. The functioning of academic institutions during the heating period is periodic. This is the reason for the unstable heat consumption. The periodic presence of people in classrooms leads to the intermittent heat supply. Heat consumption is averaged either over the area or the time. This makes it difficult to estimate the consumption on the thermal conditions in academic institutions. The paper gives a comparative analysis of calculating methods of the heat consumption. The temperature rise is determined theoretically allowing for the intermittent heat supply. Field studies are carried out of the temperature conditions in the classroom. The temperature increase and the heat consumption are determined herein.

Keywords: heat consumption; unstable heat consumption; temperature difference; inside air temperature; room climate.

For citation: Belous A.N., Overchenko M.V. Bytovye teplopоступleniya v obrazovatel'nykh uchrezhdeniyakh [Heat consumption in academic institutions]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 132–140.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-132-140

Введение

Строительная физика как наука начала развиваться еще в начале XX в. Основоположниками и авторами фундаментальных работ, труды которых лежат в основе строительной теплотехники, являются О.Е. Власов, В.Д. Мачинский, К.Ф. Фокин, А.М. Шкловер [1–5].

Современные ученые в странах СНГ и за рубежом активно занимаются поиском оптимальных конструктивных решений наружных ограждений и созданием комфортной среды во внутреннем пространстве здания. Большое внимание уделяется системам зданий, энергоэффективности, качеству воздуха в помещении, что регламентируется постоянно обновляющимися стандартами ISO, DIN, ASHRAE.

Одним из способов экономии тепловой энергии в отопительный период является контроль и поддержание нормируемой температуры внутреннего воздуха в помещении. Тепловой режим помещений образовательных учреждений в отопительный период зависит от ряда факторов: теплотехнических свойств ограждающих конструкций, системы отопления и вентиляции, режима работы здания, а также от переменных во времени внутренних поступлений тепла: от системы отопления и бытовых теплопоступлений. К бытовым теплопоступлениям относят метаболическую теплоту от людей, теплоту от осветительных приборов и от оборудования.

Режим работы образовательных учреждений в отопительный период носит циклический характер: максимальная заполняемость помещений людьми в утренние часы и практически нулевая во второй половине дня. Бытовые теплопоступления в данном случае характеризуются нестационарностью в течение суток, что оказывает влияние на тепловой баланс здания.

В образовательных учреждениях в зимний период года температура воздуха в помещениях была бы постоянной и поддерживалась на определенном уровне за счет работы системы отопления. Однако из-за пребывания людей в учебных аудиториях на протяжении рабочего дня возникает прерывистая теплоподача и происходит повышение внутренней температуры, обусловленное дополнительными выделениями тепла.

В работе [6] авторами исследован вопрос повышения энергоэкономической эффективности систем отопления и вентиляции с учетом полезного использования теплоты солнечной радиации и трансмиссионных теплопотерь здания. Подбору оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий при реконструкции образовательных учреждений посвящена работа [7], в которой рассмотрена энергетическая и экономическая целесообразность применения комплекса энергосберегающих мероприятий при реконструкции здания школы на основании требований СП 50.13330.2012 и общественного стандарта РНТО строителей РФ. Установлены критерии, входящие в систему параметров для оценки эффективности энергосберегающих мероприятий. Исследование теплового режима здания на примере корпусов Кузбасского ГТУ выполнено в работе [8]. В ходе работы выполнены замеры температуры внутреннего воздуха и температуры поверхностей наружных ограждений из кирпича. На основании выполненных измерений был рассчитан часовой рас-

ход тепла на 1 м^2 , а также сделан вывод о необходимости регулирования системы отопления в осенне-весенний период. Установлено влияние бытовых теплопоступлений на температурный режим помещений, позволяющее экономить около 4 % от годового теплопотребления на отопление зданий.

Зарубежные ученые также занимаются исследованием внутренних теплопоступлений в общественных и жилых зданиях. В работе [9] рассмотрены внутренние теплопоступления и их важность при проектировании систем охлаждения и вентиляции в зданиях. В статье [10] исследовано влияние различных типов источников света в зданиях на величину внутренних теплопоступлений, в [11] проанализировано изменение величины внутренних теплопоступлений в нормативной литературе на протяжении 30 лет.

В работе [12] выполнен анализ факторов, влияющих на выбор системы утепления общеобразовательных учреждений, выявлены наиболее неблагоприятные конструктивные решения. Исследован тепловлажностный режим, и определена температура внутренней поверхности наружных ограждающих конструкций при различных вариантах утепления.

Влияние внутренних теплопоступлений, в частности бытовых поступлений, учитывается при расчете теплового баланса здания, но при этом теплопоступления от людей принимаются как усредненные по площади или во времени выделения тепла и отличаются в различных методиках расчета, что затрудняет возможность оценки влияния внутренних теплопоступлений в образовательных учреждениях на тепловой режим помещений.

Цель работы – оценить влияние прерывистой теплоподдачи от внутренних источников на температурный режим помещений образовательных учреждений.

Задачи исследования:

1. Выполнить расчеты величин бытовых теплопоступлений по методикам государственных стандартов России (ГОСТ Р) и государственных стандартов Украины (ДСТУ).
2. Установить величину температурных колебаний с учетом поглощения тепла воздухом и оборудованием теоретически.
3. Произвести сравнительный анализ полученных в ходе расчета данных по температурным колебаниям с данными натурных исследований.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования была выбрана общеобразовательная школа, расположенная в г. Донецке. Здание четырехэтажное, сложной формы в плане. Стены выполнены из силикатного кирпича, толщина наружных стен – 510 мм, внутренних – 380 мм. Перекрытия – из сборных железобетонных плит толщиной 220 мм. Высота этажа – 3 м. Общая площадь объекта исследования – $3471,8 \text{ м}^2$. Схема здания представлена на рис. 1. Климатические данные месторасположения объекта исследования приняты по ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Строительная климатология» для г. Донецка. Максимальное количество людей, пребывающих в здании: взрослые – 37 чел., дети – 350 чел.

В ходе исследования был выполнен расчет величины внутренних теплопоступлений по двум методикам:

1. ГОСТ Р 55656–2013 (ИСО 13790:2008) «Энергетические характеристики зданий. Расчет использования энергии для отопления помещений».

2. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 «Энергетическая эффективность зданий. Метод расчета энергопотребления при отоплении, охлаждении, вентиляции, освещении и горячем водоснабжении» (EN ISO 13790).

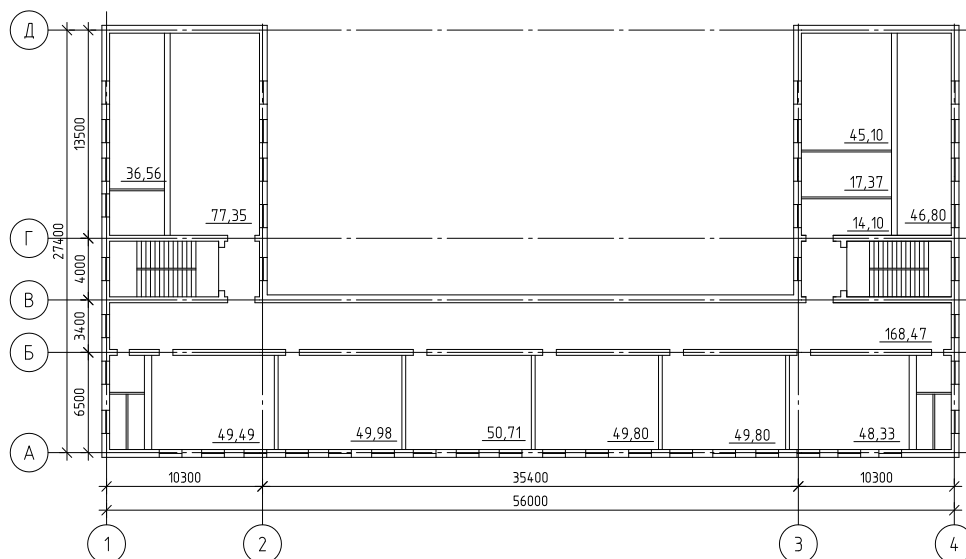


Рис. 1. План этажа исследуемого объекта

При расчете бытовых теплопоступлений в здание по ГОСТ Р 55656–2013 были учтены удельные бытовые тепловыделения от людей, освещения и техники, задействованной в функциональном процессе, происходящем в здании, время работы и заполняемость помещений.

Удельные бытовые тепловыделения в здании

$$q_v = \frac{(q_{\text{чел}} \cdot n_{\text{чел}} \cdot m_{\text{раб}} \cdot p_{\text{чел}} + Q_{\text{осв}} \cdot m_{\text{осв}} + q_{\text{орг}} \cdot A_p \cdot m_{\text{орг}} \cdot p_{\text{орг}})}{168 \cdot A_p} = 39,55 \text{ Вт/м}^2,$$

где A_p – расчетная площадь помещений, м^2 ; $q_{\text{чел}}$ – тепловыделения от одного человека, принимаемые 90 Вт/чел.; $n_{\text{чел}}$ – расчетное число работающих, чел.; $p_{\text{чел}}$ – заполняемость помещений людьми; $Q_{\text{осв}}$ – проектная мощность освещения, Вт; $m_{\text{осв}}$ – среднее за отопительный период число часов работы освещения в помещениях зоны, ч; $q_{\text{орг}}$ – средняя по расчетной площади зоны удельная установленная мощность (тепловой поток), Вт/м, от оргтехники и других внутренних источников теплоты, принята 10 Вт/м²; $m_{\text{орг}}$ – число часов работы оргтехники или других внутренних источников теплоты за неделю, ч; $p_{\text{орг}}$ – доля одновременно работающих источников теплоты.

Величина бытовых теплопоступлений за отопительный период составила

$$Q_{\Sigma B, \text{от}} = 0,024 \cdot q_B \cdot z_{\text{от}} \cdot A_p = 372\,625,6 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где $z_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода в днях.

При расчете теплопоступлений от внутренних источников по ДСТУ учитывался усредненный по времени тепловой поток от каждого из внутренних источников энергии для зданий образовательных учреждений:

- внутренний тепловой поток от людей $\Phi_{\text{int, Oc}} = 7 \text{ Вт/м}^2$;
- внутренний тепловой поток от освещения $\Phi_{\text{int, L}} = 7 \text{ Вт/м}^2$;
- внутренний тепловой поток от оборудования $\Phi_{\text{int, A}} = 6 \text{ Вт/м}^2$.

Теплопоступления от внутренних тепловых источников в здании определяются по формуле

$$Q_{\text{int}} = \left(\sum_k \Phi_{\text{int, mn, k}} \cdot A_f \right) t = 199975,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где $\Phi_{\text{int, mn, k}}$ – усредненный во времени тепловой поток от k -го внутреннего источника, Вт/м^2 ; A_f – кондиционируемая площадь зоны здания, м^2 ; t – продолжительность периода использования, выраженная в часах в месяц.

Значения величин внутренних теплопоступлений, рассчитанных по ГОСТ Р и ДСТУ, отличаются в 1,85 раза, что требует дальнейших исследований для определения наиболее точной методики расчета бытовых тепловыделений. Для этого было принято решение, основываясь на исходных данных объекта исследования, рассчитать теоретически прирост температуры в одной из учебных аудиторий образовательного учреждения и сравнить полученные данные с натурными измерениями температуры.

Повышение температуры [5] зависит от следующих характеристик помещения:

- 1) количества тепла, которое поступает в помещение при повышении температуры внутреннего воздуха на 1°C ;
- 2) усредненного коэффициента теплоусвоения всех поверхностей в помещении Y_0 ;
- 3) общей площади всех поверхностей помещения F_0 .

Увеличение температуры внутреннего воздуха в течение рабочего дня определим по формуле

$$\Delta t = \frac{W_m}{F_0} \left(\frac{\Omega'_{\text{max}} - \Omega'_{\text{min}}}{Y_0} + \frac{1}{\alpha_B} \right) = 2,4^\circ\text{C},$$

где W_m – метаболическое тепло от людей, Вт ; F_0 – общая площадь всех поверхностей помещения, м^2 ; Ω'_{max} , Ω'_{min} – величины, зависящие от длительности теплоподдачи и времени, прошедшего от окончания теплоподдачи от рассматриваемого момента в долях периода, принимаются по [4]; Y_0 – усредненный коэффициент теплоусвоения поверхностей помещения, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$; α_B – коэффициент теплоотдачи внутреннего воздуха, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$.

Однако колебание температуры, полученное в ходе расчета, не учитывает теплопоглощение воздухом и оборудованием, находящимся в исследуемом помещении. Следовательно, необходимо определить поправочный коэффициент ξ [4]:

$$\xi = \frac{1}{1 + \frac{A}{F_0} \left(\frac{1}{Y_0} - \frac{1}{\alpha'_B} + \frac{1}{\alpha_k} \right)} = 0,756,$$

где A – сумма коэффициентов теплопоглощения воздухом и оборудованием ($A_{\text{воз}} + A_{\text{обор}}$); α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м·К); α'_B – коэффициент теплоотдачи внутреннего воздуха с учетом усредненного по площади коэффициента теплоотдачи излучением α'_L и коэффициента теплоотдачи конвекцией α_k , Вт/(м·К).

На этом основании температурные колебания с учетом теплопоглощения воздухом и оборудованием составят

$$\Delta t'_{\text{воз}} = \Delta t \cdot \xi = 1,8 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для сравнения величины колебания температуры внутреннего воздуха в учебной аудитории образовательного учреждения были проведены измерения температуры и влажности внутреннего и наружного воздуха, а также температуры внутренней поверхности наружных ограждений с использованием измерительного комплекса, описанного в работе [13]. Измерения производились в течение рабочего дня. Размеры помещения, в котором проводилось исследование: 6,03×8,3 м. Среднее количество учащихся, присутствовавших к учебной аудитории на протяжении дня, – 20 чел. Схема расположения датчиков внутри и снаружи помещения, а также процесс измерения приведены на рис. 2–4.

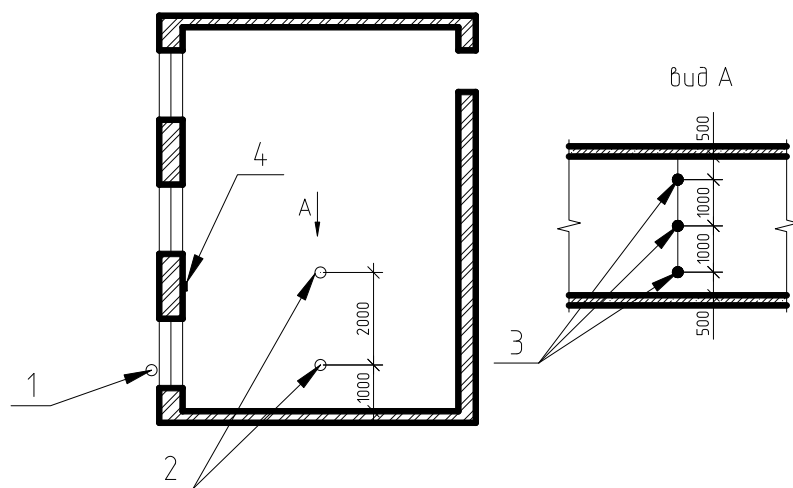


Рис. 2. Схема расположения датчиков:

1 – датчики, расположенные снаружи помещения; 2, 3 – датчики, расположенные по вертикали по центральной оси помещения; 4 – датчик теплового потока



Рис. 3. Датчики температуры и влажности, расположенные снаружи исследуемого помещения

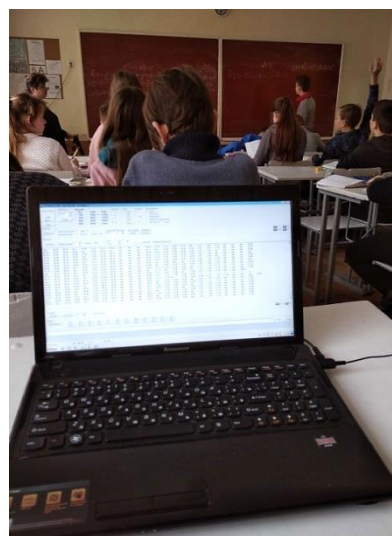


Рис. 4. Процесс записи данных с датчиков во время проведения натурального исследования

Результаты

На основе данных о теоретическом приросте температуры и натурных исследованиях температурно-влажностного режима учебной аудитории был произведен сравнительный анализ изменения температуры внутреннего воздуха в помещении во время пребывания там людей и определен прирост температуры.

Усредненные данные температуры внутреннего воздуха в учебной аудитории представлены на рис. 5.

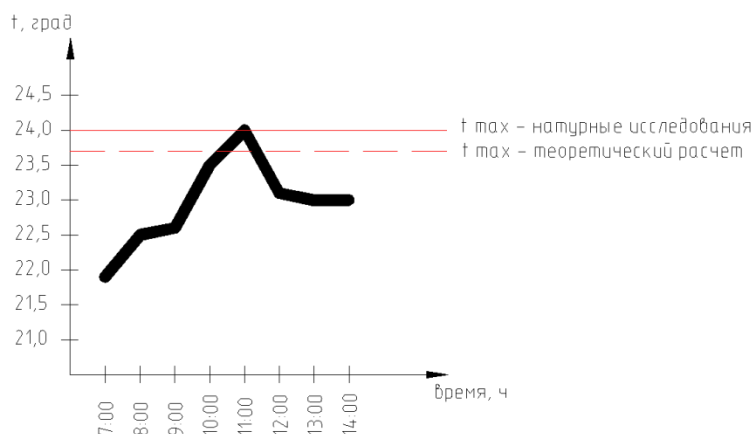


Рис. 5. График изменения температуры в учебной аудитории

Скачкообразное изменение температуры в интервале с 11:00 до 13:00 обусловлено проветриванием учебной аудитории во время перемен (длительностью 15–20 мин) по графику учебного процесса.

Максимальная температура, зафиксированная в ходе исследования, составила +24 °С. Температурный перепад $\Delta t = 2,1$ °С.

Разница между температурными колебаниями по расчету $\Delta t' = 1,8$ °С и натурными измерениями $\Delta t = 2,1$ °С составляет 0,3 °С, что показывает высокую сходимость полученных результатов исследования.

Заключение

Согласно приведенным методикам, выполнены расчеты величин бытовых теплопоступлений. Установлено, что данные, полученные в ходе расчета, отличаются в 1,85 раза, что требует дальнейших исследований для определения наиболее точной методики.

Величина температурных колебаний, рассчитанная теоретически по методике, предложенной А.М. Шкловером, составила 1,8 °С. В ходе натурных исследований установлена величина температурных колебаний, которая составила 2,1 °С. Данные, полученные в ходе теоретического исследования, отличаются от натурных на 14 %, что показывает достаточно высокую сходимость результатов исследования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Власов О.Е.* Теплотехнический расчет ограждающих конструкций. Москва ; Ленинград : Госстройиздат, 1933. 46 с.
2. *Мачинский В.Д.* Теплотехнические основы гражданского строительства. Москва : Госстройиздат, 1933. 312 с.
3. *Фокин К.Ф.* Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. 5-е изд., пересмотр. Москва : АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
4. *Шкловер А.М.* Теплопередача при периодических тепловых воздействиях. Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1961. 160 с.
5. *Шкловер А.М., Васильев Б.Ф., Уилов Ф.В.* Основы строительной теплотехники. Москва : Госстройиздат, 1956. 350 с.
6. *Липко В.И., Ланкович С.В.* Повышение энергоэкономической эффективности систем отопления и вентиляции зданий с технологическими чердаками // Актуальные проблемы архитектуры Белорусского Подвинья и сопредельных регионов : сб. науч. работ Междунар. науч.-практ. конф. к 50-летию Полоц. гос. ун-та, Новополоцк, 18–19 окт. 2018 г. Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2018. 292 с.
7. *Самарин О.Д.* Выбор оптимального сочетания энергосберегающих мероприятий при реконструкции зданий образовательных учреждений // Жилищное строительство. 2015. № 2. С. 25–28.
8. *Королев А.Т.* Исследование теплового режима зданий // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. С. 120–121.
9. *Turgay Coşkun, Cihan Turhan, Zeynep Durmuş Arsan, Gülden Gökçen Akkurt.* The importance of internal heat gains for building cooling design // Journal of Thermal Engineering. 2017. VI. 3. № 1. P. 1060–1064.
10. *Dariusz Suszanowicz.* Internal heat gain from different light sources in the building lighting systems // E3S Web of Conferences 19. 2017. 01024.
11. *Hyemi Kim, Kyung-soon Park, Hwan-yong Kim, Young-hak Song.* Study on Variation of Internal Heat Gain in Office Buildings by Chronology // Energies. 2018. 11 (4). 1013.
12. *Белоус А.Н., Оверченко М.В.* Анализ факторов, влияющих на выбор систем утепления образовательных учреждений // Строительные материалы и изделия. 2018. Т. 2. № 4. С. 17–23.
13. *Белоус А.Н., Оверченко М.В., Белоус О.Е.* Разработка теплотехнического измерительного комплекса // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 1. С. 140–151.

REFERENCES

1. Vlasov O.E. Teplotekhnicheskii raschet ogradhdayushchikh konstruktov [Thermal analysis of building walling systems]. Moscow, Leningrad: Gosstroizdat, 1933. 46 p. (rus)
2. Machinskii V.D. Teplotekhnicheskie osnovy grazhdanskogo stroitel'stva [Thermal engineering in civil engineering]. Moscow: Gosstroizdat, 1933. 312 p. (rus)
3. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ogradhdayushchikh chastei zdaniy [Thermal engineering of building walling systems], 5th ed., Yu.A. Tabunshchikov, V.G. Gagarin, Eds. Moscow: AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (rus)
4. Shklover A.M. Teploperedacha pri periodicheskikh teplovykh vozdeystviyakh [Heat transfer under periodic thermal influence]. Moscow, Leningrad: Gosenergoizdat, 1961. 160 p. (rus)
5. Shklover A.M., Vasil'ev B.F., Ushkov F.V. Osnovy stroitel'noi teplotekhniki [Fundamentals of building heat engineering]. Moscow: Gosstroizdat, 1956. 350 p. (rus)
6. Lipko V.I., Lankovich S.V. Povyshenie energoekonomicheskoi effektivnosti sistem otopeniya i ventilyatsii zdaniy s tekhnologicheskimi cherdakami [Energy and economic efficiency improvement of heating and ventilation systems in buildings with engineering attics]. In: Aktual'nye problemy arkhitektury Belorusskogo Podvin'ya i sopredel'nykh regionov: sb. nauch. rabot Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. k 50-letiyu Polots. gos. un-ta, Novopolotsk, 18–19 okt. 2018 g. (Proc. Int. Sci. Conf. 'Relevant Problems of Architecture of Belorusskoe Podvin'e and Related Regions'). Novopolotsk, 2018. 292 p. (rus)
7. Samarin O.D. Vybor optimal'nogo sochetaniya energosberegayushchikh meropriyatiy pri rekonstruktsii zdaniy obrazovatel'nykh uchrezhdenii [Optimal combination of energy-saving measures in reconstruction of academic institutions]. *Zhishchnoe stroitel'stvo*. 2015. No. 2. Pp. 25–28. (rus)
8. Korolev A.T. Issledovanie teplovogo rezhima zdaniy [Thermal conditions of buildings]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2013. Pp. 120–121. (rus)
9. Turgay Coşkun, Cihan Turhan, Zeynep Durmuş Arsan, Gülden Gökçen Akkurt. The importance of internal heat gains for building cooling design. *Journal of Thermal Engineering*. 2017 V. 3. No. 1. Pp. 1060–1064.
10. Dariusz Suszanowicz. Internal heat gain from different light sources in the building lighting systems. *E3S Web of Conferences*. 2017. V. 19. P. 01024.
11. Hyemi Kim, Kyung-soon Park, Hwan-yong Kim, Young-hak Song. Study on variation of internal heat gain in office buildings by chronology. *Energies*. 2018. V. 11. No. 4. P. 1013.
12. Belous A.N., Overchenko M.V. Analiz faktorov, vliyayushchikh na vybor sistem utepleniya obrazovatel'nykh uchrezhdenii [Selection of insulation systems in educational institutions]. *Stroitel'nye materialy i izdeliya*. 2018. V. 2. No. 4. Pp. 17–23. (rus)
13. Belous A.N., Overchenko M.V., Belous O.E. Perenosnoi teplotekhnicheskii izmeritel'nyi kompleks [Portable heat metering system design]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 1. Pp. 140–151. (rus)

Сведения об авторах

Белоус Алексей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 86123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, us28@ya.ru

Оверченко Мира Викторовна, ассистент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 86123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, miro4ka8@mail.ru

Authors Details

Aleksei N. Belous, PhD, A/Professor, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makiivka, Donetsk People's Republic, us28@ya.ru

Mira V. Overchenko, Assistant Lecturer, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makiivka, Donetsk People's Republic, miro4ka8@mail.ru

УДК 629.063.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-141-153

*О.Н. МЕДВЕДЕВА¹, Н.С. БЕССОНОВА²,**¹Саратовский государственный технический университет
имени Ю.А. Гагарина,**²ООО НПФ «ЭТНА ПЛЮС»*

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕПАДОВ ДАВЛЕНИЯ МЕЖДУ УЧАСТКАМИ ГАЗОВОЙ СЕТИ

По предварительным расчетам оптимальное распределение расчетного перепада давления между участками сети газораспределения и газопотребления в зависимости от характера планировки и застройки населенного пункта позволяет снизить металло- и материалоёмкость сетей до 10–15 % при снижении их стоимости до 4–5 % и является прогрессивным мероприятием. В настоящее время при проведении гидравлических расчетов сетей газораспределения целенаправленно распределением расчетного перепада давления не занимаются. Диаметр газопровода обычно подбирают по расчетному расходу газа и удельным потерям давления на единицу длины участков сети газораспределения. После чего проверяют условие соответствия и не превышения полученного перепада давления нормативному значению, установленному СП 42-101-2003. При невыполнении данного условия проводится некоторая корректировка диаметров из конструктивных соображений.

Целью настоящей работы является проведение дополнительных исследований по обоснованию расчетного перепада давления в газораспределительной системе.

Материалы и методы включают методику оценки эффективности распределения перепадов давления в сети газораспределения.

Вопросу оптимального функционирования газораспределительных систем посвящено большое количество научных публикаций, однако полученные авторами решения и разработанные на их основе рекомендации носят фрагментарный, часто противоречивый характер, поскольку не учитывают всю полноту и многообразие взаимодействия системообразующих факторов.

Проведенные исследования показали, что полученные значения расчетных потерь давления при применении бытовых газоиспользующих установок с пониженным номинальным давлением намного меньше установленных нормативными документами. Как следует из анализа полученных результатов, на величину удельных затрат в системе газоснабжения определяющее влияние оказывают характер застройки населенного пункта, плотность населения на газоснабжаемой территории, а также технические характеристики газоснабжаемых зданий.

Ключевые слова: эффективность; сеть газораспределения; перепад давления; оптимизация; пункт редуцирования; газопровод.

Для цитирования: Медведева О.Н., Бессонова Н.С. Экономическая эффективность оптимального распределения перепадов давления между участками газовой сети // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 141–153.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-141-153

O.N. MEDVEDEVA¹, N.S. BESSONOVA²,

¹*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,*

²*ООО "ETNA PLUS"*

OPTIMIZATION OF DIFFERENTIAL PRESSURE DISTRIBUTION BETWEEN GAS SUPPLY SYSTEM SECTIONS

The paper proposes the optimum distribution of the differential pressure between gas supply system sections and gas consumption, depending on the settlement planning and development. This provides a 10–15 % reduction in metal and material consumption of gas supply systems and a 4–5 % cost reduction. The hydraulic analysis of differential pressure distribution does not allow to purposefully distribute the calculated pressure drop. The pipeline diameter is usually selected according to the estimated gas flow rate and specific pressure loss per unit length of gas supply system sections. Then, in accordance with the State standard, the condition of compliance and non-exceedance of the obtained differential pressure is checked with the standard value. If this condition is not met, the pipeline diameter is adjusted for design reasons.

This work conducts additional research into the differential pressure distribution between gas supply system sections. Materials and methods include the assessment methodology for the effectiveness of differential pressure distribution between gas supply system sections.

Although many publications are devoted to the optimization of gas pressure distribution systems, the proposed solutions and the recommendations developed in this paper are fragmentary, often contradictory, since they do not consider the completeness and diversity of strategic factors.

The paper shows that the pressure loss values obtained for domestic gas-based units with a reduced nominal pressure, are much less than those given in regulatory documents. According to the analysis, the settlement development, population density in gas-supplied territories, and technical conditions of gas-supplied buildings, have a decisive influence on the unit costs of gas supply systems.

Keywords: efficiency; gas supply system; differential pressure; optimization; reduction; pipeline.

For citation: Medvedeva O.N., Bessonova N.S. Ekonomicheskaya effektivnost' optimal'nogo raspredeleniya perepadov davleniya mezhdru uchastkami gazovoi seti [Optimization of differential pressure distribution between gas supply system sections]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 141–153. DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-141-153

Введение

Особая роль природного газа в решении энергетических и экологических проблем связана как с абсолютными объемами его потребления, технологическим прогрессом, так и с появлением новых качественных решений. Важным направлением обеспечения надежности и безопасности функционирования существующих газораспределительных систем является внедрение новых прогрессивных технологий, материалов, технологического оборудования, средств измерения и метрологии, обеспечивающих высокую экономическую эффективность, надежность и безопасность систем [1–4].

При одинаковом уровне благоустройства расходы топлива на жилищно-коммунальный сектор в малых населенных пунктах (коттеджных поселках) будут выше, чем в городах, соответственно, потребуются большие капитальные вложения в системы энергоснабжения из-за более высокой удельной стоимости

мелких установок и меньшей тепловой плотности. Основным направлением снижения капитальных затрат и расхода топлива в малых населенных пунктах является разработка и внедрение более экономичных инженерных решений, отличных от городской практики, для разнообразных конкретных условий. Так, если в городах системы энергоснабжения выполняются, как правило, централизованными, то в поселках экономически целесообразным представляется применение как централизованных, так и автономных систем [3, 5].

Основными функциональными элементами газораспределительной системы населенных пунктов и коттеджных поселков являются газораспределительные сети различных категорий давления, блочные газорегуляторные пункты, пункты редуцирования газа шкафные, газоиспользующие приборы и оборудование [4]. В этой связи проблемы оптимального функционирования поселковых систем газораспределения и газопотребления представляют собой сложную научно-техническую задачу, эффективное решение которой требует глубокой системной проработки вопроса с учетом многообразия системообразующих связей и факторов технологического, энергетического и экологического характера.

Как уже было отмечено в публикациях [5–7], к числу важнейших предпосылок к реализации математической модели оптимальной централизации распределительных систем газоснабжения на базе пунктов редуцирования газа относится обоснование расчетного перепада давления в сетях газораспределения и газопотребления и его оптимальное распределение между структурными участками сети.

Как известно, газоиспользующее оборудование для бытовых нужд потребителей выпускается для двух значений номинальных давлений газа: $\Delta P_{\text{ном}} = 1274 \text{ Па}$ и $\Delta P_{\text{ном}} = 1960 \text{ Па}$. Как правило, при применении газоиспользующих приборов с повышенным номинальным давлением снижается металлоемкость сетей газораспределения [8, 9], однако необходимо следить за герметичностью коммуникаций во избежание утечек газа и образования взрывоопасных газозоудушных смесей [10]. Характер работы газоиспользующего оборудования предопределяет гидравлические режимы эксплуатации газовых сетей, и рабочее давление газа перед газоиспользующим оборудованием отличается от номинального значения [8]. Имеющийся в сети газораспределения (рассчитанной на нормативный перепад давления в виде значения $\Delta P_p \leq 1800 \text{ Па}$) перепад давления не используется полностью, и сеть оказывается дороже, поскольку оборудование, подключенное вблизи пунктов редуцирования (в начале трассы), работает при максимальных значениях давления газа $P_{\text{макс}}^{\text{приб}}$, а газоиспользующее оборудование, подключенное на значительном удалении от пунктов редуцирования, работает при минимальных значениях давления газа $P_{\text{мин}}^{\text{приб}}$ [8].

Как показали исследования, рекомендуемая СП 42-101-2003 величина располагаемого (расчетного) перепада давления продиктована в основном требованиями к надежной и безопасной работе газоиспользующего оборудования без учета потери давления в счетчиках газа, особенностей гидравлических режимов работы пунктов редуцирования и влияния давления

газа на величину коэффициента полезного действия [8, 11–15], поэтому задача обоснования требует проведения дополнительных исследований.

Обзор исследований

Выбору расчетного перепада давления и его распределения по участкам сети газораспределения было посвящено значительное количество научных публикаций, датированных 60–70 гг. прошлого столетия [9, 16, 17]. Адекватное решение задачи оптимального распределения перепада давления в сетях газораспределения должно отражать специфические особенности современных газораспределительных систем, при этом, как показали исследования [8], необходимо учитывать тот факт, что неустойчивость давления газа у потребителей напрямую зависит от величины расчетного перепада давления и уровня его расходования по маршруту движения газового потока от источника до газоиспользующего оборудования, от режима работы этих установок и способа регулирования давления газа. Нормальное функционирование газового оборудования возможно только при условии обеспечения устойчивого значения давления газа перед ними, что достигается в большей степени правильным выбором способа регулирования начального давления газа [8, 13, 18]. Как известно, надежная, безопасная и экономичная работа газоиспользующего оборудования обеспечивается при значении давления газа, близком к номинальному. При номинальном давлении создаются наиболее благоприятные условия для сжигания газа, горелки газоиспользующего оборудования работают устойчиво и обеспечивают необходимую полноту сгорания газа с максимальным коэффициентом полезного действия [17–20]. Предельно допустимые изменения давления газа для бытовых газовых приборов закреплены соответствующими нормативными документами. Универсализируя эти данные, примем по всей номенклатуре газовых приборов следующие значения [5]:

– для бытового газоиспользующего оборудования, запроектированного на номинальное давление $\Delta P_{\text{ном}} = 2000$ Па, $\Delta P_{\text{max}} = 2500$ Па, $\Delta P_{\text{min}} = 1700$ Па. Тогда максимальное значение допустимого перепада давления, реализуемого в распределительной системе газоснабжения, составит $\Delta P_{\text{max}} = 800$ Па;

– для бытового газоиспользующего оборудования, запроектированного на номинальное давление $\Delta P_{\text{ном}} = 1300$ Па, $\Delta P_{\text{max}} = 1764$ Па, $\Delta P_{\text{min}} = 650$ Па. Тогда максимальное значение допустимого перепада давления, реализуемого в распределительной системе газоснабжения, составит $\Delta P_{\text{max}} = 1114$ Па.

Газоиспользующее оборудование, работающее на пониженном номинальном давлении, имеет большую устойчивость к проскоку и отрыву пламени, при этом повышается степень безопасности газораспределительных систем. Этими обстоятельствами и объясняется увеличение размера допустимого перепада давления, поэтому использование оборудования с номинальным давлением $P_{\text{ном}}^{\text{приб}} = 1300$ Па более рационально [8].

Материалы и методы

В современных условиях газоснабжения потребителей популярность набирают системы, включающие в себя сети газораспределения среднего дав-

ления с установкой непосредственно перед газоиспользующим оборудованием устройства снижения давления газа до номинального. Наиболее широкое распространение такие системы получили в районах с одно-, двухэтажной застройкой [4, 13, 19, 20].

Вопрос неравномерной подачи газа потребителю по сетям газораспределения низкого давления газа до сих пор остается актуальным (рис. 1).

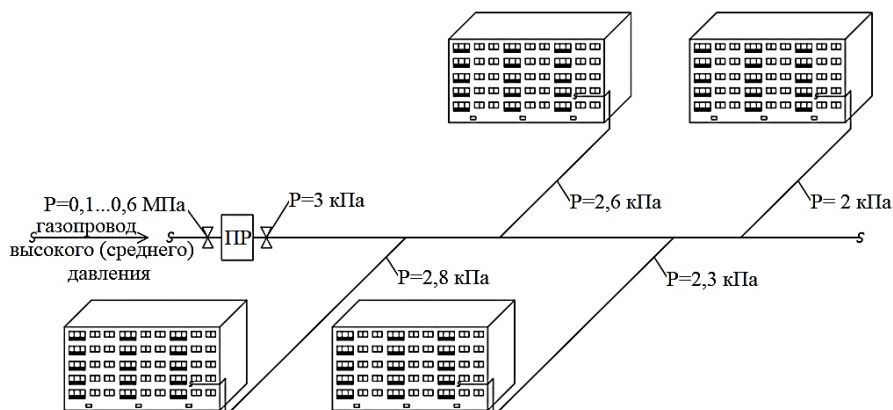


Рис. 1. Газораспределительная сеть низкого давления

Не меньшую проблему представляет собой и подключение нового газоиспользующего оборудования, работающего на разных номинальных давлениях (1300, 2000 или 3000 Па) к уже существующим сетям низкого давления газа. Работа всего оборудования в номинальном режиме в таком случае не подразумевается. При повышенном давлении в сетях газопотребления низкого давления газа автоматика безопасности не всегда срабатывает должным образом [10, 21]. В этом случае наилучшим решением проблемы является установка регуляторов давления газа непосредственно перед отводом трубопровода к жилым домам с повышением входного давления до 12 кПа на выходе из пункта редуцирования (рис. 2).

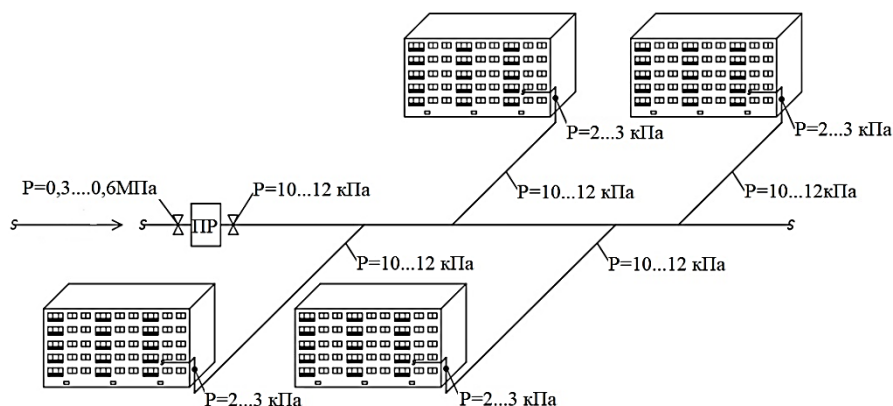


Рис. 2. Газораспределительная сеть при повышенном давлении с применением регуляторов давления газа

Основной задачей сетей газораспределения и газопотребления является обеспечение бесперебойной работы газоиспользующего оборудования у потребителей [3, 9, 10, 22–24]. При прокладке/замене газопроводов нельзя не учитывать потери давления. Так, суммарные потери от пункта редуцирования до конечного потребителя могут превышать 1,5 кПа [16, 25, 26]. Такие «скачки» давления не могут пройти бесследно для газоиспользующего оборудования. Как показали исследования, изменение коэффициента полезного действия на 1 % происходит при изменении фактического давления газа на 80–100 Па [8].

Разрешенная степень отклонения мощности газоиспользующего оборудования определяется его паспортными данными и, в частности, коэффициентом предельного регулирования $K_{пр}$. Коэффициент предельного регулирования определяет границы отклонения давления на входе в газоиспользующее оборудование от установленного для него номинального значения. Данный диапазон давлений является оптимальным для стабильной и безопасной работы газоиспользующего оборудования [8, 25].

Как показал проведенный анализ, располагаемый расчетный перепад давления в распределительных газопроводах от пунктов редуцирования составляет:

– для газоиспользующего оборудования с номинальным давлением $P_{ном}^{приб} = 1300$ Па: $\Delta P_p = 596–914$ Па;

– для газоиспользующего оборудования с номинальным давлением $P_{ном}^{приб} = 2000$ Па: $\Delta P_p = 150–600$ Па.

Многолетний опыт проектирования АО «Гипрониигаз» показал, что по ряду причин не всегда удастся полностью использовать располагаемый перепад давления (при величине $Z = 1$). Крайнее значение использования данного параметра составляет 50 % ($0,5 \cdot Z$) и еще более редкого – 25 % ($0,25 \cdot Z$) [10]. Численное значение $Z = 1$ представляет собой максимальное использование располагаемого квадратичного и линейного перепада величин абсолютных давлений для всех категорий газопроводов.

Как показали результаты расчетов [5, 8, 10], неполное использование располагаемого перепада давления значительно повышает величину затрат в газораспределительную систему 3 и существенно увеличивает опасность выбросов газа из поврежденного газопровода V. Например, при использовании расчетного перепада давления на 50 % ($0,5 \cdot Z$) для газопроводов высокого и среднего давления величина затрат возрастает почти на 15 %, а опасность выбросов – на 30 %; для газопроводов низкого давления – на 16 и на 35 % соответственно. То есть во всем диапазоне возрастание вероятности выбросов по сравнению с величиной затрат в процентном соотношении примерно в 2 раза больше. Эта закономерность распространяется как на газопроводы высокого и среднего давления, так и на газопроводы низкого давления [10].

Таким образом, проведение гидравлического расчета системы из условия наиболее полного использования располагаемого расчетного перепада давления является условием снижения затрат в сооружение и эксплуатацию газораспределительной системы. Наряду с этим его наличие создает пониженное давление

газа перед газовыми приборами, вследствие чего понижается тепловая эффективность газоиспользующего оборудования, увеличивается расход газа и, как следствие, стоимость потребляемого топлива. Поэтому для обоснования оптимального расчетного перепада давления в уличных газовых сетях требуется проведение дополнительных технико-экономических исследований.

Целевой функцией задачи являются дисконтированные затраты в газораспределительную систему, состоящую из распределительных газопроводов и газоиспользующего оборудования (бытовые газовые плиты, отопительные котлы и газовые водонагреватели).

Сделав допущение, что дисконтированные затраты в газоиспользующие установки не зависят от величины располагаемого расчетного перепада давления, представим переменную часть целевой функции в следующем виде:

$$Z = Z_{\text{ГС}}(V, \Delta P, n, q, s) + \Delta T [\eta_{\text{Г}} \{P_{\text{Г}}(\Delta P)\}, V_{\text{год}}] = \min,$$

где Z – суммарные дисконтированные затраты в газораспределительную систему, руб/(год·кв.); $Z_{\text{ГС}}$ – дисконтированные затраты в распределительные газопроводы, руб/(год·кв.); ΔT – приращение годовой стоимости газа за счет снижения тепловой эффективности газоиспользующего оборудования, руб/(год·кв.); q – плотность населения, чел./м²; s – средняя заселенность квартир, чел./кв.; n – оптимальное количество квартир (домов), подключаемых к одному пункту редуцирования, кв; V – максимальный часовой расход газа одной квартирой, м³/(ч·кв.), принимается в зависимости от характера газоиспользующего оборудования и режимов его эксплуатации; $V_{\text{год}}$ – годовой расход газа одной квартирой, м³/(год·кв.); ΔP – оптимальный расчетный перепад давления в газопроводах, Па; $\eta_{\text{Г}}$ – коэффициент полезного действия газоиспользующего оборудования, %, принимается в зависимости от давления используемого газа, Па.

Результаты исследований

Целевая функция имеет сложный характер, в этой связи для определения оптимальной величины проектного параметра ΔP_{opt} целесообразно использовать метод вариантных технико-экономических расчетов с применением ЭВМ. Выполнение расчетов по данному методу сводится к следующему: задаваясь несколькими значениями параметра $\Delta P_1; \Delta P_2; \dots, \Delta P_n$, определяем значение критерия $Z_1; Z_2; \dots, Z_n$. Оптимальное значение потери давления в уличном газопроводе ΔP_{opt} определяет минимум целевой функции Z_{min} .

При численной реализации математической модели, например, для котельной, работающей на природном газе, было получено значение потери давления $\Delta P_{\text{opt}} = 120$ Па, соответствующее минимальному значению дисконтированных затрат в проектируемую систему и являющееся оптимальным. Полученная величина в пять раз меньше предельно допустимого значения расчетного перепада давления, установленного ранее ($\Delta P_{\text{min}}^P = 596$ Па). Анализ полученных результатов показывает, что оптимизация потерь давления

в уличных газовых сетях позволяет получить значительную экономию дисконтированных затрат в сооружение и эксплуатацию проектируемой газораспределительной системы. Например, при расчетном перепаде давления $\Delta P_{\min}^p = 596$ Па имеем снижение затрат на 42,2 % в относительном выражении. Еще одним положительным результатом оптимизации потерь давления в сетях газораспределения является повышение величины давления газа перед газоиспользующим оборудованием и, как следствие, повышение общей эффективности использования газового топлива.

Тогда приращение оптимального давления газа

$$\Delta P_{opt} = \frac{\Delta P_{\min}^p - \Delta P_{opt}}{P_{\text{приб}}^{\text{ном}}} = \frac{596 - 120}{1300} = 0,37.$$

При этом приращение относительного коэффициента полезного действия $\Delta \eta_{\text{отн}}$ составит 2,3 %, а годовая экономия газа за счет повышения тепловой эффективности оборудования превысит 850 м³/год.

Предложенную математическую модель оптимизации потери давления для транзитного газопровода можно использовать для определения обоснованной величины потери давления в уличных газораспределительных системах от индивидуальных пунктов редуцирования.

При проведении расчетов использовались следующие данные:

1. Параметры газоснабжаемых зданий:

– усадебные здания с существующим уровнем теплозащиты; газоиспользующее оборудование: газовые плиты и газовые отопительные печи периодического действия;

– усадебные здания с экономически целесообразным уровнем теплозащиты; газоиспользующее оборудование: газовые плиты и отопительные котлы;

– коттеджные здания с экономически целесообразным уровнем теплозащиты; газоиспользующее оборудование: газовые плиты и отопительные котлы двухцелевого назначения.

2. Климатические зоны эксплуатации зданий: умеренно теплая, холодная.

3. Площадь индивидуальных земельных участков – 4 и 50 соток.

4. Режимы работы пункта редуцирования: с минимальным и максимальным выходным давлением газа.

В качестве примера на рис. 3 представлена графическая интерпретация результатов расчетов применительно к коттеджным зданиям.

Из анализа результатов следует, что наряду с потерей давления в уличном газопроводе на величину дисконтированных затрат значительное влияние оказывают техническая оснащенность зданий, газоиспользующее оборудование и режимы его эксплуатации, архитектурно-планировочные решения по застройке населенных пунктов (площадь индивидуального земельного участка) и климатическая зона.

Например, при значении ΔP 250 Па величина дисконтированных затрат изменяется от 171 050 руб./(год·кв.) (усадебные здания с существующим уровнем тепловой защиты, эксплуатируемые в условиях холодной климатической зоны, газоиспользующее оборудование: газовые плиты и газовые отопительные

печи периодического действия, площадь приусадебного участка – 50 соток) до 91 620 руб./ (год·кв.) (усадебные здания с повышенным уровнем тепловой защиты, эксплуатируемые в условиях умеренно теплой климатической зоны, газоиспользующее оборудование: газовые плиты и газовые котлы непрерывного действия, площадь приусадебного участка – 4 сотки), т. е. почти в 2 раза.

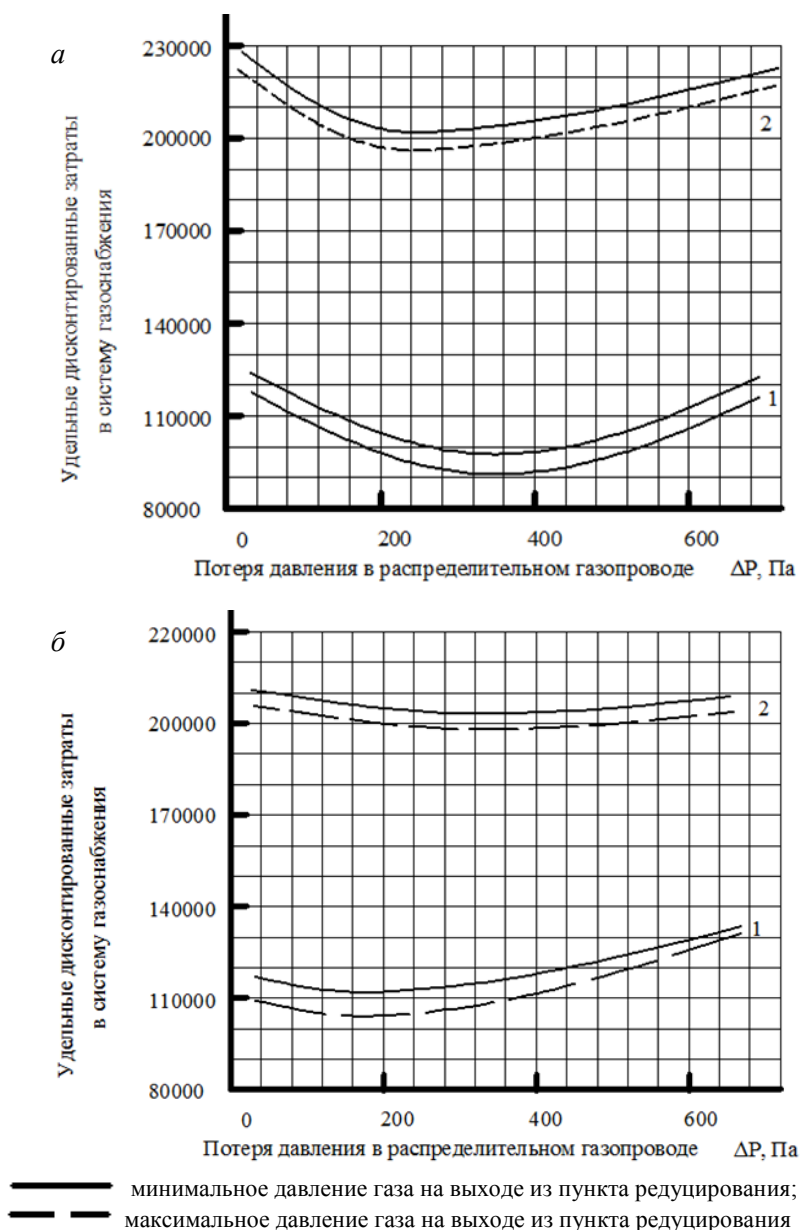


Рис. 3. К определению оптимальных потерь давления:

а – условия умеренно теплой климатической зоны; *б* – условия холодной климатической зоны; 1 – площадь приусадебного участка 4 сотки; 2 – площадь приусадебного участка 50 соток

Одновременно с этим режимы эксплуатации пункта редуцирования (значения максимальных или минимальных давлений газа на выходе из источника) практически не изменяют величину дисконтированных затрат (расхождение по затратам не превышает 3–4 %). Как следует из анализа графиков, в указанных диапазонах изменения исходных параметров оптимальные значения потери давления в уличном газопроводе изменяются в широких пределах – от 150 до 350 Па. В то же время наличие заметной пологости целевой функции в районе экстремума дает возможность применять в качестве обобщенной рекомендации для использования в проектной практике значения $\Delta P_{opt} = 250$ Па. При этом погрешность решения задачи не превышает 4–5 %.

Рекомендуемое значение оптимальной потери давления ΔP_{opt} гораздо меньше величины предельно допустимого перепада давления ($\Delta P_{min}^p = 596$ Па) и нормативной величины, установленной СП 42-101-2003 для дворовых и внутридомовых газопроводов, $\Delta P_H = 600$ Па.

Заключение

Результаты численной реализации математической модели оптимизации потерь давления показывают снижение годовых затрат в относительном выражении более чем на 10 %. При этом экономия годовых затрат на газовое топливо составляет 30–50 тыс. руб./ (год·кв.) при годовой экономии газа в размере 250–400 м³/ (год·кв.). Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что оптимизация потери давления в сетях газораспределения обеспечивает значительную экономию дисконтированных затрат в газораспределительную систему, обеспечивая адекватную экономию газового топлива без снижения тепловой эффективности работы газоиспользующего оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кусильдин Т.Р., Дмитриев М.Е., Мастобаев Б.Н. Актуальные проблемы развития газовых сетей и основные направления повышения эксплуатационной надежности газораспределительных систем // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2016. № 3. С. 40–45.
2. Медведева О.Н. Рекомендации по выбору оптимальных параметров систем газоснабжения населенных пунктов // Вестник МГСУ. 2011. № 7. С. 515–519.
3. Левин А.М. Системы газоснабжения городов и населенных пунктов. Минск : БПИ, 1990. 74 с.
4. Горелов С.А. Сооружение и реконструкция распределительных систем газоснабжения. Москва : Недра-бизнесцентр, 2002. 294 с.
5. Medvedeva O.N. Comparative evaluation of the energy and economic efficiency the gas supply systems of small towns // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2018. № 1 (37). P. 29–41.
6. Бессонова Н.С. Выбор источника газоснабжения сельских населенных пунктов // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2020. № 4 (43). С. 278–283.
7. Медведева О.Н., Бессонова Н.С. Сравнительная оценка энергоэкономической эффективности поселковых систем газоснабжения // Научный журнал строительства и архитектуры. 2017. № 3 (47). С. 21–31.
8. Медведева О.Н., Бессонова Н.С. Методика оценки тепловой эффективности газоиспользующих аппаратов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2019. № 2 (75). С. 108–120.

9. Левин А.М. Расчетные режимы давления газа в сетях низкого давления // Газовая промышленность. 1956. № 4. С. 24–30.
10. Фастов Л.М., Медведева О.Н. Надежность систем газоснабжения. Саратов : СГТУ, 2012. 148 с.
11. Ходжаев Ш.Т. Вычислительный эксперимент анализа и оценки сезонной неравномерности регулирования потока газа на выходе ГРП // Современные материалы, техника и технологии. 2016. № 2 (5). С. 233–238.
12. Савастиев А.А. Ресурсосберегающая методика гидравлического расчета распределительных газопроводов // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: международный научно-технический и производственный журнал. 2007. № 4. С. 57–65.
13. Бадалова М.Ш., Норова И.П. Гидравлический расчет уличной газораспределительной сети низкого давления // Современные материалы, техника и технологии. 2016. № 1 (4). С. 40–43.
14. Медведева О.Н. Моделирование и оптимизация распределительных систем газоснабжения сетевым природным газом // Архитектура и строительство России. 2009. № 12. С. 18–25.
15. Лепихин А.П. К оценке коэффициента гидравлического сопротивления в гладких трубах // Вычислительная механика сплошных сред. 2015. Т. 8. № 4. С. 369–375.
16. Николаев А.К., Дыкин А.К., Фидусь А.И. Уменьшение гидравлического сопротивления при транспорте газа по газораспределительным системам // Деловой журнал NEFTEGAZ.RU. 2020. № 3,5 (99,5). С. 60–70.
17. Баясанов Д.Б. Автоматическое регулирование и управление в городских газовых сетях. Москва : Стойиздат, 1970. 192 с.
18. Смирнов В.А. Оптимальные перепады давления в газопроводах // Использование газа в народном хозяйстве. Саратов : Коммунист, 1965. С. 26–33.
19. Тихомиров С.А., Гришин Г.С., Маринченко В.А. Влияние падения нагрузки потребителей на оптимальную величину давления источника газоснабжения // Инженерный вестник Дона. 2017. № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4201 (дата обращения: 31.08.2020).
20. Agegnehu A., Tilahun M. Modeling and Simulation of Real Gas Flow in a Pipeline // Journal of Applied Mathematics and Physics. 2016. № 4. P. 1652–1681.
21. Mel'kumov V.N., Chujkin S.V., Papshickij A.M., Sklyarov K.A. Modelling of structure of engineering networks in territorial planning of the city // Scientific Herald of the Voronezh state university of architecture and civil engineering. Construction and architecture. 2015. № 4 (28). P. 33–40.
22. Сазонова С.А., Николенко С.Д., Манохин В.Я. Численная апробация математических моделей мониторинга безопасного функционирования систем газоснабжения // Известия КГАСУ. 2016. № 1 (35). С. 255–264.
23. Сьянов С.Л. Численное и экспериментальное исследование потерь напора в трубе переменного сечения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2013. № 2. С. 176–185.
24. Иниаков Р.С., Балабуха А.В., Анисимова Е.Ю. и др. Применение завихрителя потока движущейся среды для снижения гидравлических потерь в трубопроводах // Вестник Евразийской науки. 2018. № 3. URL: <https://esj.today/PDF/36SAVN318.pdf> (дата обращения: 31.08.2020).
25. Goodland R. Oil and Gas Pipelines. Virginia USA : McLean, 2005. 190 p.
26. Курицын Б.Н., Медведева О.Н., Иванов А.А. Влияние давления газа на эффективность его использования // Приволжский научный журнал. Нижний Новгород : ННГАСУ. 2009. № 3 (11). С. 65–69.
27. Прокутинский А.О., Комина Г.П. О реконструкции городских газораспределительных сетей низкого давления // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=17748> (дата обращения: 31.08.2020).

REFERENCES

1. Kuskil'din T.R., Dmitriev M.E., Mastobaev B.N. Aktual'nye problemy razvitiya gazovyh setej i osnovnye napravleniya povysheniya ekspluatacionnoj nadezhnosti gazoraspredeletel'nyh sis-

- tem [Actual problems and main directions of gas supply system development and reliability]. *Transport i hranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya*. 2016. No. 3. Pp. 40–45. (rus)
2. *Medvedeva O.N.* Rekomendacii po vyboru optimal'nyh parametrov sistem gazosnabzheniya naselennykh punktov [Recommendations on choosing optimal parameters of gas supply systems for settlements]. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 7. Pp. 515–519.
3. *Levin A.M.* Sistemy gazosnabzheniya gorodov i naselennykh punktov [Gas supply systems for cities and towns]. Minsk: BPI, 1990. 74 p. (rus)
4. *Gorelov S.A.* Sooruzhenie i rekonstrukciya raspredelitel'nykh sistem gazosnabzheniya [Construction and reconstruction of gas distribution systems]. Moscow: Nedra-biznescentr, 2002. 294 p. (rus)
5. *Medvedeva O.N.* Comparative evaluation of the energy and economic efficiency the gas supply systems of small towns. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2018. No. 1 (37). Pp. 29–41.
6. *Bessonova N.S.* Vybor istochnika gazosnabzheniya sel'skikh naselennykh punktov [Choosing gas supply source for rural settlements]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve*. 2020. No. 4 (43). Pp. 278–283. (rus)
7. *Medvedeva O.N., Bessonova N.S.* Sravnitel'naya ocenka energoekonomicheskoy effektivnosti poselkovykh sistem gazosnabzheniya [Comparative assessment of energy-economic efficiency of gas supply systems]. *Nauchnyy zhurnal stroitel'stva i arhitektury*. 2017. No. 3(47). Pp. 21–31. (rus)
8. *Medvedeva O.N., Bessonova N.S.* Metodika ocenki teplovoj effektivnosti gazoispol'zuyushchih apparatov [Thermal efficiency assessment of gas-based units]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2019. No. 2 (75). Pp. 108–120. (rus)
9. *Levin A.M.* Raschetnye rezhimy davleniya gaza v setyah nizkogo davleniya [Gas pressure mode calculations for low pressure networks]. *Gazovaya promyshlennost'*. 1956. No. 4. Pp. 24–30. (rus)
10. *Fastov L.M., Medvedeva O.N.* Nadezhnost' sistem gazosnabzheniya [Reliability of gas supply systems]. Saratov: SGTU, 2012. 148 p. (rus)
11. *Hodzhaev Sh.T.* Vychislitel'nyy eksperiment analiza i ocenki sezonnoj neravnomernosti regulirovaniya potoka gaza na vyhode GRP [Computational analysis and assessment of seasonal non-uniformity of gas flow regulation at the output of reduction point]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii*. 2016. No. 2 (5). Pp. 233–238. (rus)
12. *Savastienok A.Ya.* Resursosberegayushchaya metodika gidravlicheskogo rascheta raspredelitel'nykh gazoprovodov [Resource-saving method of hydraulic analysis of gas distribution pipelines]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij i energeticheskikh ob"edinenij SNG. Energetika*. 2007. No. 4. Pp. 57–65. (rus)
13. *Badalova M.Sh., Norova I.P.* Gidravlicheskij raschet ulichnoj gazoraspredelitel'noj seti nizkogo davleniya [Hydraulic analysis of low-pressure street gas distribution systems]. *Sovremennye materialy, tekhnika i tekhnologii*. 2016. No. 1 (4). Pp. 40–43. (rus)
14. *Medvedeva O.N.* Modelirovanie i optimizaciya raspredelitel'nykh sistem gazosnabzheniya setevym prirodnykh gazom [Modeling and optimization of natural gas supply distribution systems]. *Arhitektura i stroitel'stvo Rossii*. 2009. No. 12. Pp. 18–25. (rus)
15. *Lepihin A.P.* K ocenke koefitsienta gidravlicheskogo soprotivleniya v gladkih trubah [Calculation of hydraulic resistance coefficient for smooth pipes]. *Vychislitel'naya mekhanika sploshnykh sred*. 2015. V. 8. No. 4. Pp. 369–375. (rus)
16. *Nikolaev A.K., Dykin A.K., Fidus' A.I.* Umen'shenie gidravlicheskogo soprotivleniya pri transporte gaza po gazoraspredelitel'nykh sistemam [Reduction in hydraulic resistance during gas transport in gas distribution systems]. *Neftegaz.Ru*. 2020. No. 3,5 (99,5). Pp. 60–70. (rus)
17. *Bayasanov D.B.* Avtomaticheskoe regulirovanie i upravlenie v gorodskikh gazovykh setyah [Automatic regulation and control in urban gas systems]. Moscow: Stoiizdat, 1970. 192 p. (rus)
18. *Smirnov V.A.* Optimal'nye perepady davleniya v gazoprovodakh [Optimal pressure drops in gas pipelines]. In: *Ispol'zovanie gaza v narodnom hozyajstve* [Optimum pressure drops in gas pipelines]. Saratov: Kommunist, 1965. Pp. 26–33. (rus)
19. *Tihomirov S.A., Grishin G.S., Marinchenko V.A.* Vliyanie padeniya nagruzki potrebitelej na optimal'nyu velichinu davleniya istochnika gazosnabzheniya [Influence of consumer load

- drop on optimal pressure of gas supply system]. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2017. No. 2. Available: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2017/4201 (accessed August 31, 2020). (rus)
20. Agegnehu A., Tilahun M. Modeling and simulation of real gas flow in a pipeline. *Journal of Applied Mathematics and Physics*. 2016. No. 4. Pp. 1652–1681.
 21. Mel'kumov V.N., Chujkin S.V., Papshickij A.M., Sklyarov K.A. Modelling of structure of engineering networks in territorial planning of the city. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*. 2015. No. 4 (28). Pp. 33–40.
 22. Sazonova S.A., Nikolenko S.D., Manohin V.Ya. Chislennaya aprobaciya matematicheskikh modelej monitoringa bezopasnogo funkcionirovaniya sistem gazosnabzheniya [Numerical testing of mathematical models for safe functioning monitoring of gas supply systems]. *Izvestiya KGASU*. 2016. No. 1 (35). Pp. 255–264. (rus)
 23. S'yanov S.L. Chislennoe i eksperimental'noe issledovanie poter' napora v trube peremennogo secheniya [Pressure losses in a pipe of variable cross-section]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mekhanika*. 2013. No. 2. Pp. 176–185. (rus)
 24. Inshakov R.S., Balabuha A.V., Anisimova E.Yu. Primenenie zavivritelya potoka dvizhushchejsya sredi dlya snizheniya gidravlicheskih poter' v truboprovodah [Flow swirling in moving medium for reducing hydraulic loss in pipelines]. *Vestnik Evrazijskoj nauki*. 2018. No. 3. Available: <https://esj.today/PDF/36SAVN318.pdf> (accessed August 31, 2020). (rus)
 25. Goodland R. Oil and gas pipelines. Virginia: McLean, 2005. 190 p.
 26. Kuricyn B.N., Medvedeva O.N., Ivanov A.A. Vliyanie davleniya gaza na effektivnost' ego ispol'zovaniya [Gas pressure efficiency]. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*. 2009. No. 3 (11). Pp. 65–69. (rus)
 27. Proshutinskij A.O., Komina G.P. O rekonstrukcii gorodskih gazoraspredelitel'nyh setej nizkogo davleniya [Reconstruction of low-pressure gas distribution networks in cities]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. No. 1. Available: www.science-education.ru/article/view?id=17748 (accessed August 31, 2020). (rus)

Сведения об авторах

Медведева Оксана Николаевна, докт. техн. наук, доцент, Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, medvedeva-on@mail.ru

Бессонова Надежда Сергеевна, инженер, ООО НПФ «ЭТНА ПЛЮС», 410040, г. Саратов, ул. Вишневая, 11, bessonova_n@icloud.com

Authors Details

Oksana N. Medvedeva, DSc, A/Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77, Politekhnikeskaya Str., 410054, Saratov, Russia, medvedeva-on@mail.ru

Nadezhda S. Bessonova, Engineer, ООО "ETNA PLUS", 11, Vishnevaya Str., 410040, Saratov, Russia, bessonova_n@icloud.com

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

УДК 624.21.014.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-154-166

С.В. ЕФИМОВ, К.О. ЖУНЕВ,

Сибирский государственный университет путей сообщения

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

На сети железных дорог России продолжается активное внедрение инновационных тяжеловесных вагонов с нагрузкой на ось 25–27 тс и организация движения грузовых поездов повышенной массы и длины. Новые условия эксплуатации сооружений неизбежно приводят к необходимости оценки несущей способности, долговечности, скорости накопления усталостных повреждений и надежности этих конструкций. Кроме того, для железнодорожных мостов важными контролируемыми параметрами являются динамические характеристики (частоты и формы собственных колебаний, скорость их затухания, динамическая жесткость).

В статье рассмотрены особенности динамического взаимодействия неоднородных по структуре и разных по общему весу и длине поездов с мостовым сооружением методом численного моделирования в программном комплексе Midas Civil. Верификация расчетной модели осуществлена по динамическим параметрам пролетных строений (частотам собственных колебаний), которые были определены при обследовании моста с использованием системы Тензор-МС.

В результате расчетов был проведен модальный анализ конечно-элементной модели железнодорожного моста, позволивший установить низшие формы собственных колебаний. На основании численного моделирования взаимодействия подвижного состава с несущими конструкциями установлены неблагоприятные скорости движения поездов, приводящие к нарастанию амплитуды колебаний пролетных строений и опор, а также к увеличению динамического коэффициента несущих конструкций с учетом конструктивных особенностей сооружения и состава подвижной нагрузки.

Ключевые слова: метод конечных элементов; численное моделирование; подвижная нагрузка; динамическое воздействие; экспериментальные исследования; железнодорожный мост; сталежелезобетонное пролетное строение; сварное пролетное строение.

Для цитирования: Ефимов С.В., Жунев К.О. Моделирование динамического взаимодействия подвижного состава и железнодорожных мостов // Вестник

Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020.
Т. 22. № 6. С. 154–166.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-154-166

S.V. EFIMOV, K.O. ZHUNEV,
Siberian State Transport University

FINITE ELEMENT MODEL OF DYNAMIC TRAIN-BRIDGE INTERACTION

Innovative heavy wagons with a 25–27 tf axle load and the freight train movement organization having a higher weight and length are being put into operation in Russia. New operating conditions of railway bridges require an assessment of bearing capacity, durability, accumulation rate of fatigue damage and reliability. The important parameters are the dynamic properties of railway bridges (frequencies and modes of natural vibrations, decay rate, dynamic stiffness).

The aim of this work is to determine the dynamic interaction of trains having different structure, weight and length with a railway bridge using numerical modeling in the midas Civil bridge software. The proposed model is verified by the dynamic parameters of spans (natural vibration frequencies), which are determined during the bridge inspection using a Tensor-MS system.

The modal analysis is given to the finite element model. The lowest natural modes of the bridge are determined. Based on numerical simulation of the interaction between the train and the bridge unfavorable speed of trains is calculated leading to an increase in the oscillation amplitude of the bridge span as well as in the bridge dynamic coefficient with regard to the design features of the train structure and composition.

Keywords: finite element model; numerical simulation; moving load; dynamic load; experimental research; railway bridge; steel-reinforced concrete span; weld-fabricated span.

For citation: Efimov S.V., Zhunev K.O. Modelirovanie dinamicheskogo vzaimodeistviya podvizhnogo sostava i zheleznodorozhnykh mostov [Finite element model of dynamic train-bridge interaction]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 154–166.
DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-154-166

Введение

В последние годы на сети железных дорог России происходит постепенное увеличение скоростей движения, осевых нагрузок и массы поездов в связи с реализацией стратегии развития железнодорожного транспорта [1]. Подобное изменение режима эксплуатации искусственных сооружений приводит к необходимости оценки несущей способности, долговечности, скорости накопления усталостных повреждений и надежности этих конструкций [2, 3]. Совершенствованию методов определения и контроля этих параметров на всех этапах жизненного цикла сооружения уделяют большое внимание как в России [3–5], так и за рубежом [6–8]. Результатом таких исследований становится, как правило, корректировка рекомендаций и норм по содержанию сооружений с учетом изменившихся условий эксплуатации.

Кроме того, в условиях увеличения скоростей движения и массы железнодорожных нагрузок для конструкций большой протяженности, малого соб-

ственного веса и низкой изгибной жесткости важными контролируемыми параметрами являются динамические характеристики (частоты и формы собственных колебаний, скорость их затухания, динамическая жесткость), которые отражают особенности работы системы «сооружение – подвижная нагрузка». В связи с этим растет интерес к научным исследованиям в области взаимодействия железнодорожного подвижного состава с металлическими мостами [9–13]. Главной задачей таких исследований является выявление неблагоприятных режимов движения и параметров состава, приводящих к резонансным явлениям. Наиболее эффективным инструментом для анализа динамического взаимодействия подвижной нагрузки и искусственного сооружения в настоящее время является численное моделирование [14].

Настоящая работа направлена на определение неблагоприятных режимов движения и параметров железнодорожного состава, приводящих к нарастанию амплитуды колебаний пролетных строений и опор, при помощи численного моделирования взаимодействия подвижной нагрузки и несущих конструкций моста в программном комплексе Midas Civil [15].

Методы

В качестве объекта исследования выбран мост, эксплуатируемый на Забайкальской железной дороге, через р. Ангарака на 13 км обхода Северомуйского тоннеля (рис. 1). В плане мост расположен в кривой малого радиуса (менее 300 м). Несущие конструкции моста представлены пятью сталежелезобетонными пролетными строениями расчетной длиной 33,6 м и комбинированными двухъярусными опорами со стоечной верхней частью и массивной нижней. Трехмерная модель сооружения была построена с учетом его фактического планово-высотного расположения и помимо пролетных строений и опор включала элементы верхнего строения пути (рис. 2). Пролетные строения и опоры сооружения аппроксимировали балочными элементами. В качестве материала главных балок пролетных строений была использована сталь 15ХСНД, в качестве материала плиты балластного корыта и промежуточных опор – бетон В30. Береговые опоры в модели были заменены шарнирно неподвижными (опора № 0) и шарнирно подвижными (опора № 5) связями. Опирающие пролетных строений на промежуточные опоры смоделировано при помощи двухузловых связей.

Для исследования особенностей взаимодействия сооружения с различными подвижными составами расчетная модель была загружена двумя неоднородными поездами, состоящими из 71 вагона общим весом 4300 т и 102 вагонов общим весом 7100 т (рис. 3). Воздействие подвижной нагрузки было смоделировано при помощи массива единичных сил, меняющих свои координаты во времени. Единичные силы прикладывали к балочным элементам, имитирующим рельсы верхнего строения пути. Скорость прохождения поездов по модели сооружения варьировалась и составляла 20, 40 и 60 км/ч. При динамическом расчете в модели были учтены демпфирующие особенности реальной конструкции, полученные по результатам вибродиагностики.

Верификацию расчетной модели производили по частотным характеристикам собственных колебаний элементов, как основным динамическим парамет-

рам [16]. Для определения фактических частот собственных колебаний пролетных строений моста были применены датчики-акселерометры (вибродатчики), подключенные к мобильной измерительной системе Тензор МС (свидетельство Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии об утверждении типа средств измерения RU.C.34.007.A № 32603/1) [17]. Колебания пролетных строений возбуждали при помощи метода «малых воздействий» (прыжками человека). В процессе измерений вибродатчики размещали на мостовом полотне в середине пролетных строений (рис. 4) и записывали как вертикальные, так и горизонтальные (поперечные и продольные) колебания конструкции с последующим выделением спектра частот путем преобразований Фурье [18].



Рис. 1. Общий вид сооружения

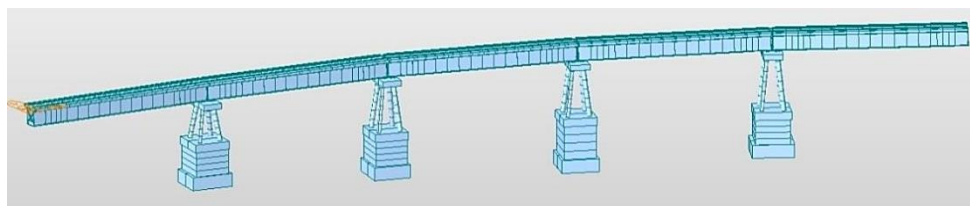


Рис. 2. Общий вид модели



Рис. 3. Схема поезда общим весом 7100 т



Рис. 4. Измерительная система Тензор-МС для вибродиагностики

Для количественной оценки динамических параметров были определены фактические и расчетные значения динамического коэффициента¹. Расчетное значение динамического коэффициента для сталежелезобетонного пролетного строения определяли по формуле

$$1 + \mu = 1 + \frac{18}{30 + \lambda}, \quad (1)$$

где λ – длина загрузки пролетного строения, м.

Результаты

Пример получаемых виброграмм для сталежелезобетонных пролетных строений моста приведен на рис. 5, а результат выделения спектра частот отражен на рис. 6. На графиках зеленым цветом показаны вертикальные колебания, красным – горизонтальные поперечные, синим – горизонтальные продольные. Всплески амплитуд на виброграммах соответствуют моментам приложения возбуждающих воздействий.

Определяющими, судя по амплитуде, являются вертикальные колебания пролетных строений. Зафиксированные амплитуды горизонтальных (поперечных и продольных) колебаний пролетных строений существенно ниже вертикальных. Логарифмический декремент затухания колебаний сталежелезобетонных пролетных строений на основной собственной частоте, определенный по результатам вибродиагностики, составляет 0,18. Сводные данные по измеренным частотам собственных колебаний пролетных строений представлены в таблице.

¹ СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03–84*. Москва: Минрегион, 2011. 347 с.

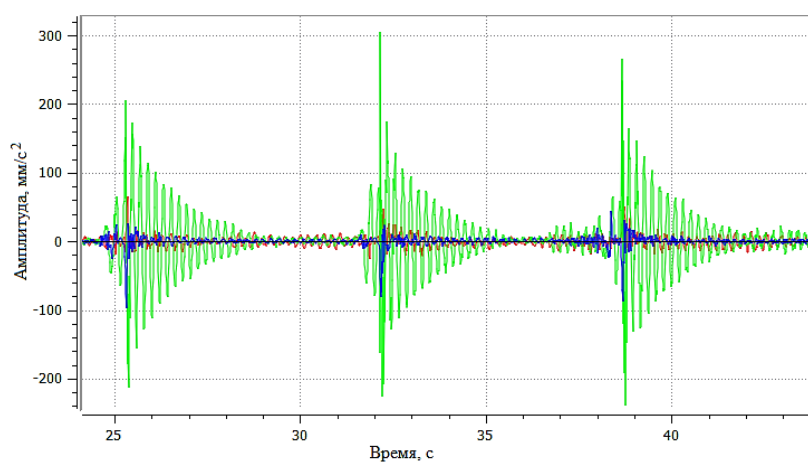


Рис. 5. Виброграмма колебаний пролетного строения № 2

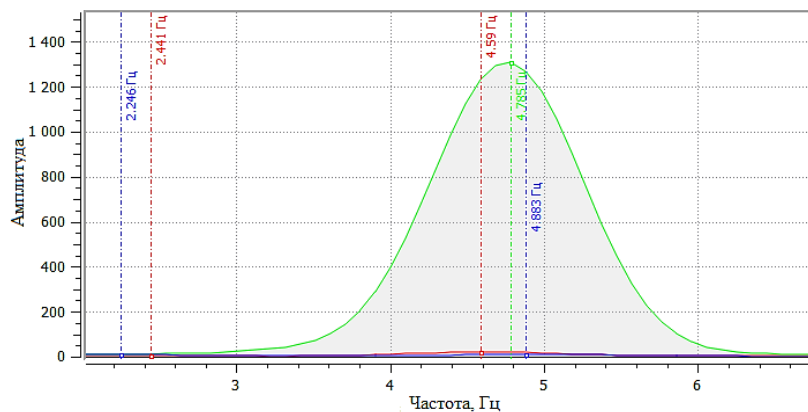


Рис. 6. Спектр частот колебаний пролетного строения № 2

Динамические параметры пролетных строений

Номер пролетного строения	Частота собственных колебаний, Гц			
	вертикальная		горизонтальная (поперечная)	горизонтальная (продольная)
	фактическая	расчетная		
1	4,9	4,9	4,3	4,7
2	4,8		4,6	4,9
3	4,7		4,4	3,8
4	4,7		5,3	4,0
5	4,7		5,8	3,8

Из данных таблицы следует, что расчетная частота собственных колебаний пролетных строений (4,9 Гц) достаточно хорошо согласуется с измеренными частотами. Следовательно, можно утверждать о соответствии работы расчетной модели реальной конструкции, а также о возможности исследования динамической работы сооружения на основе разработанной модели.

В результате динамического расчета конечно-элементной модели, учитывающей демпфирующие свойства, логарифмический декремент вертикальных колебаний пролетных строений составил 0,17, что совпадает со значениями, полученными по результатам вибродиагностики (0,18). Модальный анализ модели моста позволил установить, что первой (низшей) формой колебаний являются поперечные колебания с частотой около 2,5 Гц. При этом наибольшие поперечные перемещения наблюдаются у опоры № 3 (рис. 7). Продольные колебания сооружения с наибольшей амплитудой происходят с частотой около 4,0 Гц.

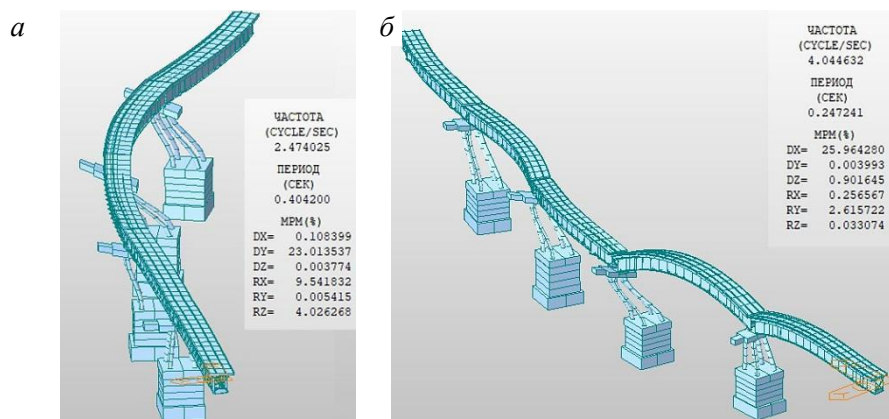


Рис. 7. Деформированный вид модели:

а – при поперечных колебаниях; б – при продольных колебаниях

В результате моделирования воздействия подвижных нагрузок на сооружение были определены вертикальные перемещения пролетных строений, продольные и поперечные перемещения верхних ярусов промежуточных опор. На рис. 8, 10, 12 приведены графики прогибов пролетного строения № 2, продольных и поперечных перемещений опоры № 3 при проходе поезда общим весом 7100 т с разными скоростями.

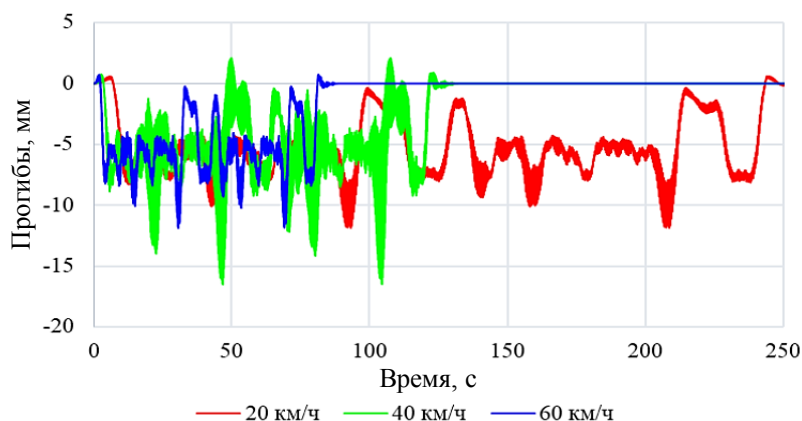


Рис. 8. Прогибы пролетного строения при проходе поезда с разными скоростями

На рис. 9, 11, 13 приведены спектры частот вертикальных колебаний пролетного строения № 2, продольных и поперечных колебаний опоры № 3.

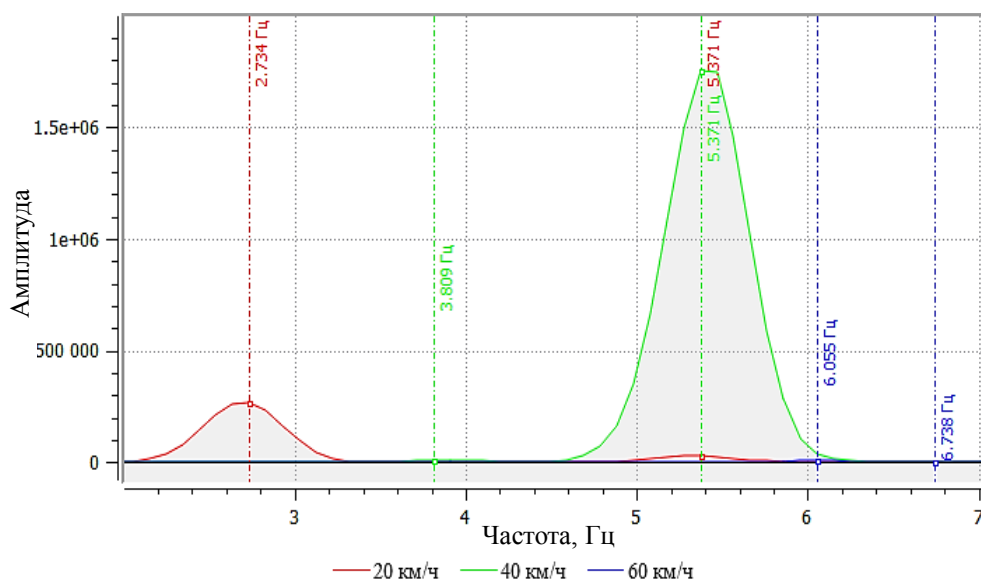


Рис. 9. Спектр частот вертикальных колебаний пролетного строения при проходе поезда с разными скоростями

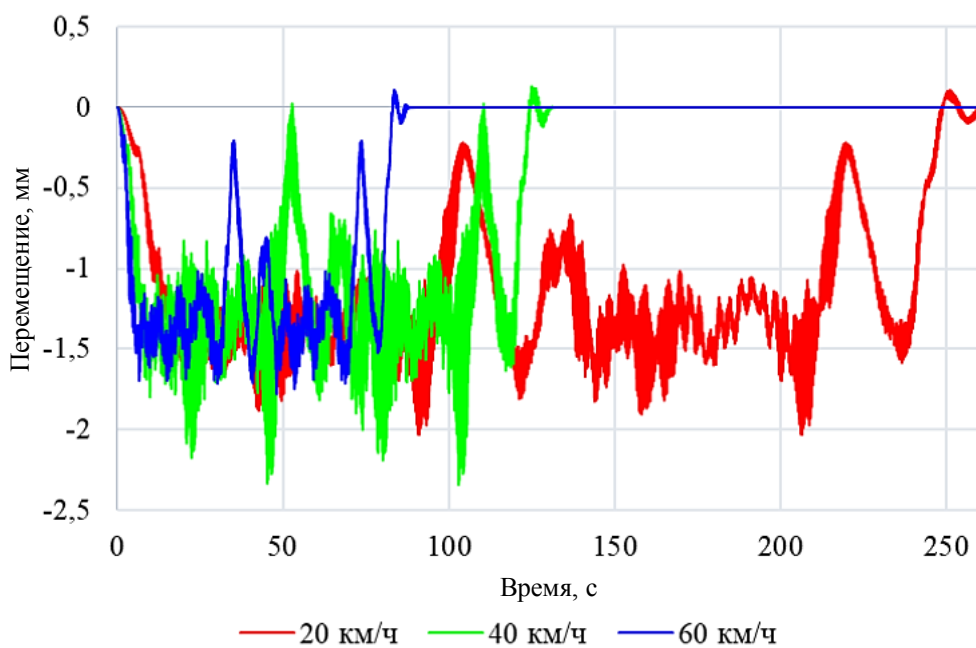


Рис. 10. Продольные перемещения опоры при проходе поезда с разными скоростями

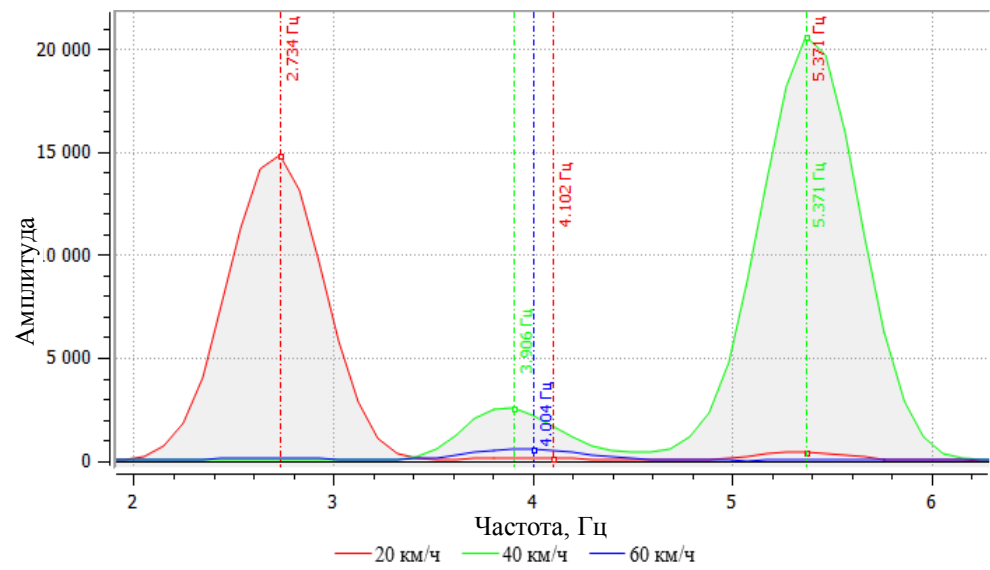


Рис. 11. Спектр частот продольных колебаний опоры при проходе поезда с разными скоростями

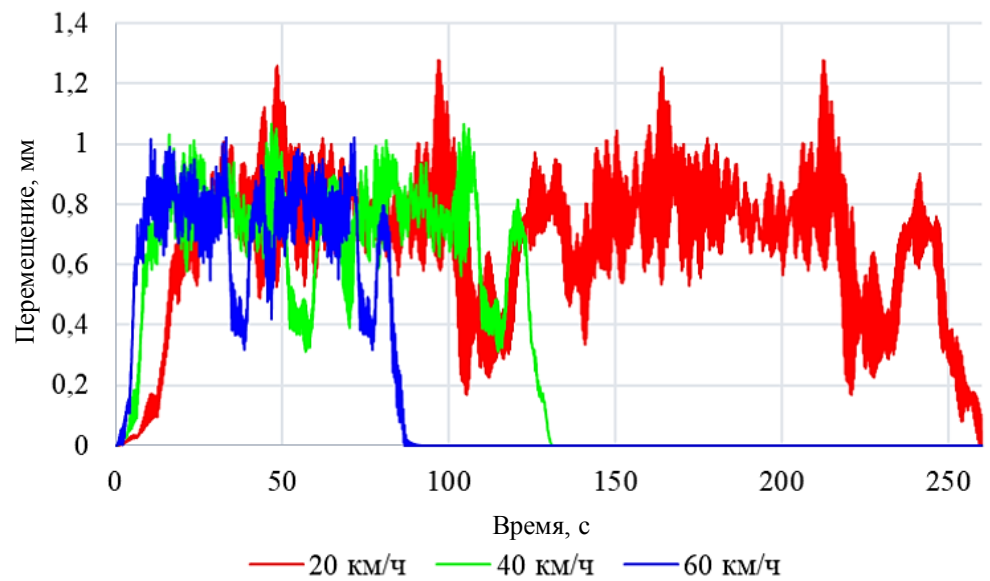


Рис. 12. Поперечные перемещения опоры при проходе поезда с разными скоростями

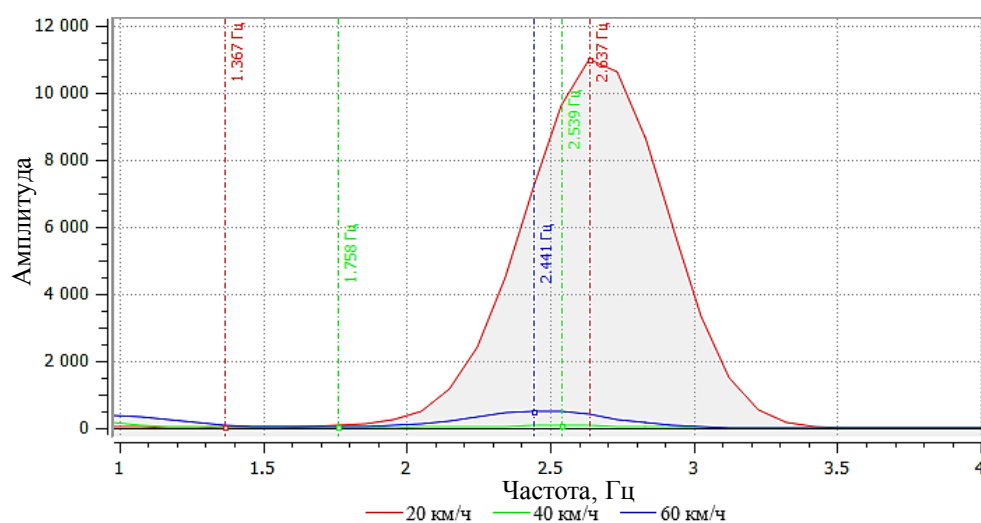


Рис. 13. Спектр частот поперечных колебаний опоры при проходе поезда с разными скоростями

Заключение

Анализ результатов загрузки модели неоднородными по структуре и разными по общему весу и длине поездами не выявил существенных изменений в спектре частот вынужденных колебаний. Увеличение динамических коэффициентов элементов конструкции при увеличении общего веса поезда с 4300 до 7100 т также не было зафиксировано. Однако было установлено, что на величину амплитуд колебаний пролетного строения и опор оказывает влияние скорость движения временной нагрузки.

Амплитуда вертикальных колебаний пролетных строений максимальна при скорости движения 40 км/ч. При этом значение динамического коэффициента увеличивается на 20 % относительно расчетного и составляет 1,59. Выделение спектра частот показало, что при движении поезда со скоростью 40 км/ч частоты вертикальных колебаний пролетных строений составляют 5,4 Гц. При увеличении скорости движения до 60 км/ч или уменьшении до 20 км/ч амплитуда колебаний уменьшается, динамический коэффициент становится равным 1,19. Очевидно, что при скоростях 30–40 км/ч частота приложения внешних нагрузок от проходящего поезда приближается к частоте собственных вертикальных колебаний пролетного строения (4,9 Гц), усиливая динамическое воздействие движущейся нагрузки.

Амплитуды колебаний опор максимальны при движении временной нагрузки со скоростями 20 и 40 км/ч. При этом динамический коэффициент составляет 1,48, а амплитуда поперечных перемещений верха опоры достигает 0,5 мм. Выделение спектра частот показало, что при движении поезда с этими скоростями частоты колебаний конструкции находятся в диапазоне 2,6–5,4 Гц. Увеличение скорости до 60 км/ч приводит к снижению динамического коэффициента до 1,28. Очевидно, что в диапазоне скоростей 20–40 км/ч частота приложения внешних нагрузок от проходящего поезда совпадает с частотами соб-

ственных продольных и поперечных колебаний опор (2,5 и 4,0 Гц соответственно), усиливая динамическое воздействие движущейся нагрузки.

Таким образом, модальный анализ конечно-элементной модели железнодорожного моста, с высокой достоверностью отражающей динамические характеристики реального сооружения, позволил установить низшие формы собственных колебаний. На основании численного моделирования взаимодействия подвижного состава с несущими конструкциями была установлена возможность совпадения частот вынуждающей силы с частотами собственных колебаний сооружения при определённых скоростях движения нагрузки. Расчет показал, что в диапазоне скоростей 20–40 км/ч происходит нарастание амплитуды перемещений пролетных строений и опор. Увеличение скорости движения подвижной нагрузки до 60 км/ч существенно снижает ее динамическое воздействие на элементы конструкции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голикова Ю.А. Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта в России // Вестник СИБИТа. 2015. № 3. С. 32–37.
2. Гапанович В.А. Вопросы взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры при тяжеловесном движении // Железнодорожный транспорт. 2016. № 10. С. 9–15.
3. Бокарев С.А., Мурованный Ю.Н., Прибытков С.С., Усольцев А.Н. Условия обеспечения движения тяжеловесных поездов по искусственным сооружениям // Железнодорожный транспорт. 2017. № 7. С. 64–67.
4. Бокарев С.А., Прибытков С.С., Ефимов С.В. Остаточный ресурс железобетонных пролетных строений железнодорожных мостов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 3. С. 169–183.
5. Глушков С.П., Соловьев Л.Ю., Соловьев А.Л. Экспериментальная оценка долговечности сварных металлических пролетных строений мостов методом инфракрасной термографии // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2018. № 2. С. 63–71.
6. Кирян В.И., Мальгин М.Г. Пути обеспечения нормативного ресурса пролетных строений мостов // Вестник Днепровского национального университета железнодорожного транспорта. 2011. № 39. С. 55–60.
7. Viswanath K., Kumar R. Fatigue analysis of railway steel bridge // International journal of engineering and technology. 2018. V. 7. P. 1098–1101.
8. Kossakowski P.G. Fatigue strength of an over one hundred year old railway bridge // The Baltic journal of road and bridge engineering. 2013. V. 8. P. 166–173.
9. Дьяченко Л.К., Смирнов В.Н. Динамическое взаимодействие высокоскоростного подвижного состава и пролетных строений мостов // Путь и путевое хозяйство. 2018. № 11. С. 16–21.
10. Жунев К.О. Динамическое воздействие подвижной нагрузки на сварные пролетные строения // Наука и практика в решении стратегических и тактических задач устойчивого развития России : материалы конференции. 2019. С. 9–12.
11. Sun Y.Q., Cole C., Spiriyagin M., Dhanasekar M. Vertical dynamic interaction of trains and rail steel bridges // Electronic journal of structural engineering. 2013. V. 13. P. 88–97.
12. Zhai W., Han Z., Chen Z., Ling L., Zhu S. Train-track-bridge dynamic interaction: a state-of-the-art review // International journal of vehicle mechanics and mobility. 2019. V. 57, P. 984–1027.
13. Smirnov V.N., Shestakova E.B., Chizhov S.V., Antonyuk A.A., Lediaev L.A., Indeykin I.A., Ev-tukov E.S. Dynamic interaction of high-speed trains with span structures and flexible support // Magazine of Civil Engineering. 2017. V. 76. P. 115–129.
14. Круговова Е.А. Оценка влияния колебаний моста на динамику поезда в программном комплексе «Универсальный механизм» // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2012. № 6. С. 16–23.

15. *Midas Civil. Getting Started*. MIDAS IT, 2015. 240 p.
16. Бондарь Н.Г., Козьмин Ю.Г., Ройтбурд З.Г., Тарасенко В.П., Яковлев Г.Н. Взаимодействие железнодорожных мостов с подвижным составом. Москва : Транспорт, 1984. 272 с.
17. Бокарев С.А., Яшинов А.Н., Снежков И.И., Слюсарь А.В. Малогабаритные автоматизированные системы для диагностики ИССО // Путь и путевое хозяйство. 2007. № 9. С. 25–26.
18. Князев Б.А., Черкасский В.С. Дискретное преобразование Фурье – как это делается // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2008. № 4. С. 74–86.

REFERENCES

1. Golikova Yu.A. Problemy i perspektivy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossii [Problems and prospects of railway transport in Russia]. *Vestnik SIBITa*. 2015. V. 3. Pp. 32–37. (rus)
2. Gapanovich V.A. Voprosy vzaimodeistviya podvizhnogo sostava i infrastruktury pri tyazhe-lovesnom dvizhenii [Train-bridge interaction in heavy traffic]. *Zheleznodorozhnyi transport*. 2016. V. 10. Pp. 9–15. (rus)
3. Bokarev S.A., Murovannyi Yu.N., Pribytkov S.S., Usol'tsev A.N. Usloviya obespecheniya dvizheniya tyazhelovesnykh poezdov po iskusstvennym sooruzheniyam [Conditions for heavy train operation on engineering structures]. *Zheleznodorozhnyi transport*. 2017. V. 7. Pp. 64–67. (rus)
4. Bokarev S.A., Pribytkov S.S., Efimov S.V. Ostatochnyi resurs zhelezobetonnykh proletnykh stroenii zheleznodorozhnykh mostov [Residual life of reinforced concrete superstructures of railway bridges]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2018. V. 2. No. 3. Pp. 169–183. (rus)
5. Glushkov S.P., Solov'ev L.Yu., Solov'ev A.L. Eksperimental'naya otsenka dolgovechnosti svarnykh metallicheskiykh proletnykh stroenii mostov metodom infrakrasnoi termografii [Infrared thermography of weld-fabricated bridge durability]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2018. V. 2. Pp. 63–71. (rus)
6. Kiryan V.I., Mal'gin M.G. Puti obespecheniya normativnogo resursa proletnykh stroenii mostov [Ways to ensure the bridge span life]. *Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta*. 2011. V. 39. Pp. 55–60. (rus)
7. Viswanath K., Kumar R. Fatigue analysis of railway steel bridge. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. V. 7. Pp. 1098–1101.
8. Kossakowski P.G. Fatigue strength of an over one hundred year old railway bridge. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 2013. V. 8. Pp. 166–173.
9. D'yachenko L.K., Smirnov V.N. Dinamicheskoe vzaimodeistvie vysokoskorostnogo podvizhnogo sostava i proletnykh stroenii mostov [Dynamic interaction of train and railway bridge spans]. *Put' i putevoe khozyaistvo*. 2018. V. 11. Pp. 16–21. (rus)
10. Zhunev K.O. Dinamicheskoe vozdeistvie podvizhnoi nagruzki na svarnye proletnye stroeniya [Dynamic effect of moving load on welded spans]. *Materialy konferentsii "Nauka i praktika v reshenii strategicheskikh i takticheskikh zadach ustoichivogo razvitiya Rossii" (Proc. Sci. Conf. 'Science and Practices of Sustainable Development in Russia')*. Saint-Petersburg, 2019. Pp. 9–12. (rus)
11. Sun Y.Q., Cole C. Spiryagin M., Dhanasekar M. Vertical dynamic interaction of trains and rail steel bridges. *Electronic Journal of Structural Engineering*. 2013. V. 13. Pp. 88–97.
12. Zhai W., Han Z., Chen Z., Ling L., Zhu S. Train-track-bridge dynamic interaction: a state-of-the-art review. *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*. 2019. V. 57. Pp. 984–1027.
13. Smirnov V.N., Shestakova E.B., Chizhov S.V., Antonyuk A.A., Lediaev L.A., Indeykin I.A., Ev-tukov E.S. Dynamic interaction of high-speed trains with span structures and flexible support, *Magazine of Civil Engineering*. 2017. V. 76. Pp. 115–129.
14. Krugovova E.A. Otsenka vliyaniya kolebaniy mosta na dinamiku poezda v programmnom komplekse 'Universal'nyi mekhanizm' [Bridge fluctuations and train dynamics calculated in Universal Mechanism software]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*. 2012. V. 6. Pp. 16–23. (rus)
15. *Midas Civil. Getting Started*. MIDAS IT, 2015. 240 p.
16. Bondar' N.G., Koz'min Yu.G., Roitburd Z.G., Tarasenko V.P., Yakovlev G.N. Vzaimodeistvie zheleznodorozhnykh mostov s podvizhnym sostavom [Bridge-train interaction]. Moscow: Transport, 1984. 272 p. (rus)

17. Bokarev S.A., Yashnov A.N., Snezhkov I.I., Slyusar' A.V. Malogabaritnye avtomatizirovannye sistemy dlya diagnostiki ISSO [Small automated systems for engineering structure diagnostics]. *Put' i putevoe khozyaistvo*. 2007. V. 9. Pp. 25–26. (rus)
18. Knyazev B.A., Cherkasskii V.S. Diskretnoe preobrazovanie Fur'e – kak eto delaetsya [Fast Fourier transform – calculation and interpretation]. *Vestnik NGU. Seriya: Fizika*. 2008. V. 4. Pp. 74–86. (rus)

Сведения об авторах

Ефимов Стефан Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Сибирский университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, esvmt@mail.ru

Жунев Кирил Олегович, аспирант, Сибирский университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, junev.kirill@yandex.ru

Authors Details

Stefan V. Efimov, PhD, A/Professor, Siberian State Transport University, 191, Dusi Koval'chuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, esvmt@mail.ru

Kirill O. Zhunev, Research Assistant, Siberian State Transport University, 191, Dusi Koval'chuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, junev.kirill@yandex.ru

УДК 622.692.4.074.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-167-176

*В.И. ХИЖНЯКОВ, А.В. НЕГОДИН, В.А. ШЕЛКОВ, А.Н. ТОЗ,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ НА ЗАБОЛОЧЕННЫХ УЧАСТКАХ ТРАССЫ

Показано, что на линейной части магистральных нефтегазопроводов, проложенных на заболоченных участках трассы, под воздействием вертикального и осевого усилия, температурного перепада появляются плавающие участки протяженностью 150–300 м и более с арками выброса, прогиб которых достигает 1,0–1,5 м. Проведен расчет на продольную устойчивость выбранного участка трубопровода, проложенного по болоту. Полученные результаты свидетельствуют о том, что потеря продольной устойчивости в виде плавающих участков и арочного выброса связана с отсутствием в проекте на строительство трубопровода на заболоченном участке расчета на продольную устойчивость от воздействия продольных сил с учетом рельефа дна траншеи, характеризующего напряженно-деформированное состояние трубопровода. На основе осуществленного анализа сделан вывод о необходимости проведения более детальных изысканий под строительство магистральных нефтегазопроводов и учета профиля трассы при расчете продольной устойчивости трубопровода на заболоченных участках трассы на стадии проектирования.

Ключевые слова: магистральные нефтегазопроводы; напряженно-деформированное состояние стенки трубы; сжимающая продольная сила; изгибающий момент; арки выброса; гофры; заболоченные участки трассы; балластировка трубопровода.

Для цитирования: Хижняков В.И., Негодин А.В., Шелков В.А., Тоз А.Н. Особенности проектирования и строительства линейной части магистральных нефтегазопроводов на заболоченных участках трассы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 167–176.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-167-176

*V.I. KHIZHNYAKOV, A.V. NEGODIN, V.A. SHELKOV, A.N. TOZ,
Tomsk State University of Architecture and Building*

DESIGN AND CONSTRUCTION OF LINEAR MAIN PIPELINE ON WATER-LOGGED GROUNDS

The paper shows that the linear segments of the main pipelines laid on water-logged grounds are characterized by the floating parts 150–300 m long, with arch blowouts with a deflection of 1.0–1.5 m. This occurs due to the vertical axial loads and the temperature difference. The buckling stability of the floating part is calculated for the pipeline laid in a bog. It is shown that the loss of the buckling stability in the form of the floating parts and arch blowout can be explained by the fact that the project on the water-logged ground construction has no the analysis of the buckling stability under axial loads with regard to the topography of the trench bottom that describes the stress-strain state of the pipeline. At a design stage, it is necessary to conduct more detailed surveys on the pipeline laying with regard to the trench profile in calculating the pipeline buckling stability on water-logged grounds.

Keywords: main pipeline; stress-strain state; compressive axial force; bending moment; arch blowout; corrugations; water-logged ground; buoyancy control.

For citation: Khizhnyakov V.I., Negodin A.V., Shelkov V.A., Toz A.N. Osobennosti proektirovaniya i stroitel'stva lineinoi chasti magistral'nykh neftegazoprovodov na zabolochennykh uchastkakh trassy [Design and construction of linear main pipeline on water-logged grounds]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 167–176.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-167-176

Строительство линейной части магистральных нефтегазопроводов и последующая их эксплуатация осуществляется в сложных почвенно-климатических и инженерно-геологических условиях, что, как правило, обуславливает существенное отклонение их укладки от проектного положения. В большей степени это относится к заболоченным участкам трассы, где преимущественно проложены магистральные нефтегазопроводы России (более 60 %). Заболоченные и переувлажненные участки трассы развиты в долинах рек и ручьев, у подножий склонов и в седловинах. Потеря устойчивого состояния построенных трубопроводов на заболоченных участках трассы связана со сложной комбинацией нагрузок: вертикальной составляющей q_v и продольной сжимающей силы $S_{сж}$, возникающей под воздействием рабочего давления в трубопроводе и изменения температурного режима его эксплуатации. Практика показывает, что основной причиной отказов линейной части на заболоченных участках является напряженно-деформированное состояние стенки трубы. Сезонные колебания температуры и уровня воды на заболоченной трассе изменяются в широких пределах, что непосредственно оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние стенки трубы. Обеспечение устойчивого положения трубы на проектных отметках на заболоченных участках трассы в настоящее время достигается за счет балластировки. Однако на заболоченных участках трассы балластировка не всегда обеспечивает сохранность устойчивого состояния на проектных отметках запущенного в эксплуатацию трубопровода. Следовательно, изменяется и напряженно-деформированное состояние трубопровода. По нашему мнению, это связано с недоучетом ряда факторов на стадии проектирования, основным из которых является отсутствие в рабочем проекте на строительство линейной части расчета от воздействия продольных сил на упругоизогнутый трубопровод в траншее. В проекте приведен расчет количества пригрузов и шага их установки против всплытия трубопровода. Практика показывает, что этого недостаточно. В условиях постоянных продольных и поперечных перемещений трубопровода под воздействием выталкивающей силы воды, осевого усилия и температурного перепада на линейной части появляются плавающие участки протяженностью 150–300 м и более с арками выпучивания, прогиб которых достигает 1,0–1,5 м (рис. 1) [1].

Потеря продольной устойчивости в виде появления плавающих участков и арочного выброса сводится к двум основным причинам проектного и строительного характера [2]:

– на стадии проектирования практически невозможно точно рассчитать продольно-поперечные перемещения из-за отсутствия детальных инженерных изысканий под строительство магистральных нефтегазопроводов;

– на стадии строительства не обеспечивается то положение трубы в плане и профиле, которое принято в проекте и под которое при проектировании должны быть выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния трубопровода на эксплуатационные нагрузки и воздействия.

а*б*

Рис. 1. Образование плавающего участка (а) и арки выброса (б) на линейной части действующего магистрального трубопровода

Потеря общей устойчивости трубопровода на заболоченных участках трассы в продольном направлении связана с заземлением трубопровода на береговых участках трассы, где трубопровод жестко связан с окружающим грунтом (рис. 1), что приводит к повышению напряжений в стенке трубы, провоцирует всплытие трубопровода с образованием арок выпучивания под воздействием возникающего продольного усилия сжатия $S_{сж}$ (рис. 2).

Возникает вопрос – на сколько неизбежна потеря устойчивости трубопровода под воздействием сжимающих сил, направленных вдоль оси с последующим появлением плавающих участков с арками выпучивания на заболоченных участках трассы магистральных нефтегазопроводов.

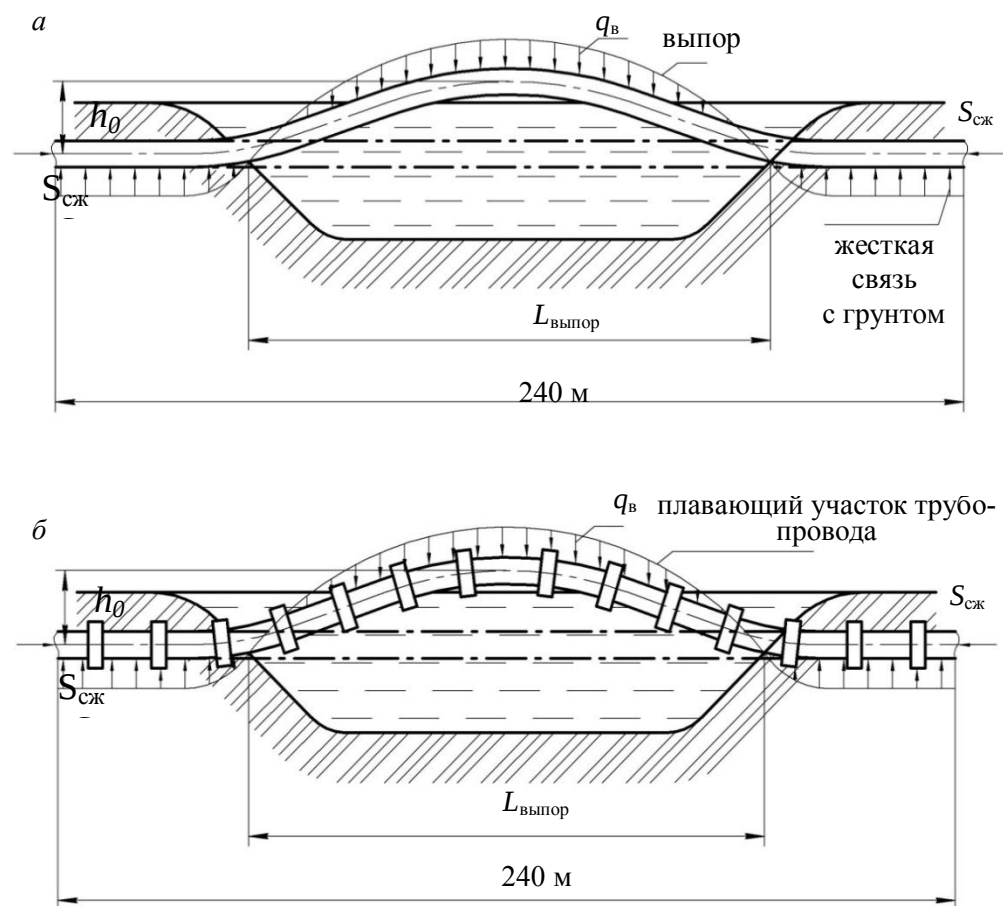


Рис. 2. Схема отклонения напряженно-деформированного участка магистрального трубопровода от проектных отметок на заболоченной трассе под воздействием вертикальной нагрузки q_v и продольного сжимающего усилия $S_{сж}$:

a – в отсутствии балластировки; b – при недостаточно забалластированном трубопроводе

Рассмотрим заболоченный участок трассы магистрального трубопровода диаметром $D=1020$ мм с толщиной стенки трубы $\delta=12$ мм, длиной $l=240$ м – длина участка трубопровода, участвующая в выпучивании (расстояние между суглинистыми берегами – заземленными концами трубопровода), проложенного на болоте в торфяном грунте на проектной глубине укладки (на стадии окончания строительства) до верхней образующей трубопровода $h_0=0,8$ м. Перепад температуры – 40°C . Характеристики трубной стали 17ГС: временное сопротивление $\sigma=530$ МПа; предел текучести $\sigma=340$ МПа; модуль упругости трубной стали $E=2,01\cdot 10^5$ МПа; коэффициент температурного расширения стали $\alpha_t=12\cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$, изменение температуры $\pm\Delta t=20^\circ\text{C}$; толщина стенки трубы $\delta=12$ мм. Рабочее давление $P_{\text{раб}}=3,5$ МПа.

При рабочем давлении $P_{\text{раб}}$ стенка трубы испытывает действие окружающих (кольцевых) напряжений:

$$\sigma_{\text{кц}} = nP_{\text{раб}}D_{\text{вн}} / 2\delta = 1,1 \cdot 3,5 \cdot 0,996 / 2 \cdot 0,012 = 159,775 \text{ МПа.}$$

Площадь поперечного сечения трубы

$$F_{\text{тр}} = \frac{\pi(D_{\text{н}}^2 - D_{\text{вн}}^2)}{4} = \frac{3,14(102^2 - 99,6^2)}{4} = 379,94 \text{ см}^2 = 0,038 \text{ м}^2.$$

Осейвой момент инерции поперечного сечения трубы

$$I = \frac{\pi(D_{\text{н}}^4 - D_{\text{вн}}^4)}{64} = \frac{3,14(1,02^4 - 0,996^4)}{64} = 0,0049 \text{ м}^4.$$

В трубопроводном строительстве используют две расчетные модели взаимодействия трубопровода с грунтом: модель жесткопластичной связи трубопровода с грунтом и модель упругой связи прямолинейного трубопровода с грунтом [3, 4]. Согласно СНиП 2.05.06-85 [5], устойчивость трубопровода в продольном направлении в плоскости наименьшей жесткости системы «труба – грунт» определяется соотношением

$$S_{\text{сж}} \leq mN_{\text{кр}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{сж}}$ – продольное усилие сжатия трубопровода от действия рабочего давления $P_{\text{раб}}$ и перепада температуры Δt , равное

$$\begin{aligned} S_{\text{сж}} &= (0,2\sigma_{\text{кц}} + \alpha_t E \Delta t) F = \\ &= (0,2 \cdot 159,775 + 12 \cdot 10^{-6} \cdot 2,01 \cdot 10^5 \cdot 40) 0,038 = 4,88 \text{ МН}, \end{aligned} \quad (2)$$

где α_t – коэффициент температурного расширения; E – модуль Юнга. В соотношении (1) m – коэффициент условий работы трубопровода (рассматриваемый участок трассы относится к III категории, $m = 0,9$); $N_{\text{кр}}$ – продольное критическое усилие, при котором наступает потеря продольной устойчивости трубопровода.

При использовании расчетной модели (рис. 2, а) принимается, что грунт при любых деформациях оказывает равномерное по длине сопротивление, достигающее предельного значения $q_{\text{в}}$. При этом окружающий грунт оказывает сопротивление в продольном направлении в месте контакта «труба – грунт» с интенсивностью p_0 .

Для прямолинейного участка трубопровода авторами работы [6] предложено выражение для расчета критического усилия, при котором происходит продольная потеря устойчивости трубопровода:

$$N_{\text{кр}} = 4,09 \sqrt[11]{p_0^2 q_{\text{в}}^4 F^2 E^5 I^3},$$

где p_0 – сопротивление грунта продольным перемещениям участка трубопровода единичной длины; $q_{\text{в}}$ – сопротивление поперечным вертикальным перемещениям участка трубопровода, обусловленное весом грунтовой засыпки и собственным весом трубопровода, отнесенное к единице длины.

Сопротивление грунта продольным перемещениям определим по формуле

$$p_0 = \pi D_n \tau_{np} = 3,14 \cdot 1,02 \cdot 8,12 \cdot 10^{-3} = 26,0 \cdot 10^{-3} \text{ МПа/м.}$$

Здесь τ_{np} – предельное касательное напряжение в контакте «труба – грунт»:

$$\tau_{np} = p_{гр} \operatorname{tg} \varphi_{гр} + c_{гр} = 3,14 \cdot 1,02 \cdot 8,12 \cdot 10^{-3} = 26,0 \cdot 10^{-3} \text{ МПа,}$$

где $p_{гр}$ – удельное давление на единицу поверхности контакта «труба – грунт»; $\varphi_{гр}$ – угол внутреннего трения грунта; $c_{гр}$ – сцепление грунта. Для торфяного болотного грунта центральной части Западной Сибири, где уложен трубопровод, соответственно: $\varphi_{гр} = 14^\circ$; $c_{гр} = 0$. Плотность торфа $\lambda_{тр}$ на заболоченной трассе зависит от влажности и степени разложения. Для условий рассматриваемой задачи $\lambda_{тр} = 9,8 \text{ кН/м}^3$.

Удельное давление на единичную поверхность контакта «труба – грунт» определим из выражения [4]:

$$p_{гр} = \frac{2n_{гр}\gamma_{гр}D_n \left[\left(h_0 + \frac{D_n}{8} \right) + \left(h_0 + \frac{D_n}{2} \right) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_{гр}}{2} \right) \right] + q_{тр}}{\pi D_n} =$$

$$= \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 9800 \cdot 1,02 \left[\left(0,8 + \frac{1,02}{8} \right) + \left(0,8 + \frac{1,02}{2} \right) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{14^\circ}{2} \right) \right] + 2115,67}{3,14 \cdot 1,02} =$$

$$= 11\,217,24 \text{ Па.}$$

где $n_{гр}$ – коэффициент надежности по нагрузке от веса грунта, принимаемый равным 0,8; h_0 – глубина укладки трубопровода, в рассматриваемом случае равная 0,8 м; $q_{тр}$ – нагрузка от собственного веса заизолированной трубы без учета веса перекачиваемого продукта,

$$q_{тр} = \rho g F + 0,1 \rho g F = 7850 \cdot 9,8 \cdot 0,038 + 0,1 \cdot 1923,34 = 2115,67 \text{ Н/м.}$$

Сопротивление вертикальным перемещениям

$$q_v = n_{гр}\gamma_{гр}D_n \left(h_0 + \frac{D_n}{2} - \frac{\pi D_n}{8} \right) + q_{тр} = 0,8 \cdot 9800 \cdot 1,02 \times$$

$$\times \left(0,8 - \frac{1,02}{2} - \frac{3,14 \cdot 1,02}{8} \right) + 2115,67 = 2178,97 \text{ Н/м} = 2,17 \cdot 10^{-3} \text{ МН/м.}$$

Теперь произведем расчет критического усилия выбранного участка трубопровода для случая жесткопластичной связи его с грунтом:

$$N_{кр} = 4,09^{11} \sqrt{p_0^2 q_v^4 F^2 E^5 I^3} =$$

$$= 4,09^{11} \sqrt{(26,0 \cdot 10^{-3})^2 + (2,17 \cdot 10^{-3})^4 + (0,038)^2 + (2,01 \cdot 10^5)^5 + (0,0049)^3} =$$

$$= 4,09^{11} \sqrt{49,67} = 5,85 \text{ МН.}$$

Полученный результат свидетельствует о том, что согласно расчетной модели жесткопластичной связи прямолинейного участка трубопровода

с грунтом условие устойчивости (1) выполняется практически на пределе: $4,88 \leq 5,265$.

Проверим выполнение условия (1) по расчетной модели упругой связи прямолинейного трубопровода с грунтом:

$$N_{кр} = 2\sqrt{k_0 D_H EI} = 2\sqrt{0,5 \cdot 1,02 \cdot 2,01 \cdot 10^5 \cdot 0,0049} = 44,82 \text{ МН.}$$

Здесь k_0 – коэффициент постели грунта, для влажного торфа $k_0 = 0,5$. Наглядно показано, что в случае упругой связи трубопровода с грунтом условие устойчивости (1) $4,88 \leq 40,33$ выполняется с большим запасом.

В процессе строительства трубопровод, уложенный в траншею, практически всегда имеет начальную кривизну, поэтому сжимающее усилие действует с эксцентриситетом. В связи с этим произведем расчет критического сжимающего усилия для условий, когда прокладка трубопровода не соответствует прямолинейному положению (для упругоизогнутого участка) [7]:

$$N_{кр} = 2 \frac{\pi}{l} \sqrt{EI \rho} = 2 \frac{3,14}{240} \sqrt{2,01 \cdot 10^{11} \cdot 4,9 \cdot 10^{-3} \cdot 2170 \cdot 1000} = 1,18 \text{ МН,}$$

где ρ – радиус упругого изгиба трубопровода, соответствующий рельефу дна траншеи. В расчете принят равным 1000 м. Видим, что в случае напряженно-деформированного (упругоизогнутого) трубопровода условие (1) $4,88 \geq 1,06$ не выполняется: $4,88 \geq 1,06$.

Для определения расчетной длины единичной волны выпучивания $l_{вып}$ трубопровода воспользуемся следующей зависимостью:

$$l_{вып} = 2\pi \sqrt{\frac{EI}{k_0 D_H}} = 2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{2,01 \cdot 10^5 \cdot 0,0049}{0,5 \cdot 1,02}} = 41,7 \text{ м.}$$

Реальная длина волны выпучивания трубопровода из заболоченной траншеи с учетом погрешности измерений не превышает 50 м. Прогиб на длине волны от действия поперечных нагрузок [8]:

$$f_{волн} = \frac{l_{вып}^2}{\pi^2 \rho} = \frac{41,7^2}{3,14^2 \cdot 1000} = 0,176 \text{ м.}$$

Суммарный прогиб трубопровода на болоте определим по уравнению

$$f = f_{волн} \frac{1}{1 - \frac{S}{N_{кр}}} = 0,176 \frac{1}{1 - \frac{4,88}{5,85}} = 1,1.$$

Реальная высота выпора – 0,84 м.

Для расчета максимального изгибающего момента в трубопроводе на волне выпучивания воспользуемся известной зависимостью

$$\begin{aligned} M_{изг} &= \frac{q_v (l_{вып})^2}{24} + \frac{S_{сж} \cdot f}{2} = \\ &= \frac{2170(41,7)^2}{24} + \frac{4880000 \cdot 1,1}{2} = 2841224 \text{ Н} \cdot \text{м.} \end{aligned}$$

Осевой момент сопротивления сечения трубы при изгибе

$$W = \frac{\pi(D_H^3 - D_{BH}^3)}{32} = \frac{3,14(1,02^3 - 0,996^3)}{32} = 0,0072 \text{ м}^3.$$

Откуда суммарные продольные напряжения в трубопроводе на исследуемом участке

$$\sigma_{\text{прН}} = \frac{M_{\text{изг}}}{W} + \frac{S}{F} = \frac{2841224}{0,0072} + \frac{4880000}{0,038} = 502,2 \text{ МПа}.$$

Допустимое сопротивление сжатию $R_2 = 324,49 \text{ МПа}$.

$502,2 \text{ МПа} > 324,49 \text{ МПа}$. Условие прочности на продольную устойчивость от воздействия суммарных продольных напряжений для случая упруго-изогнутого трубопровода в траншее не выполняется. Превышение в стенке трубы допустимых напряжений сжатия на практике приводит к потере продольной устойчивости трубопровода в виде арочного выброса. Проведенный анализ свидетельствует о необходимости на стадии проектирования учета воздействия продольных усилий на продольную устойчивость трубопровода с учетом рабочего давления в трубопроводе, перепада температуры и реального рельефа дна траншеи, характеризующего напряженно-деформированное состояние трубопровода. Комплексное обследование линейной части магистральных нефтегазопроводов, проложенных на заболоченных участках трассы, свидетельствует о том, что волны выпучивания на незабалластированных и недостаточно забалластированных нефтегазопроводах возникают на участках, имеющих начальный изгиб вследствие свободного изгиба на пересеченной трассе и вследствие изгибов после засыпки траншеи при строительстве. В большей степени выпучивание трубопроводов с образованием гофр происходит на углах поворота, где возникают максимальные изгибающие моменты, обуславливающие сложные взаимодействия продольных и поперечных перемещений трубопровода в грунте.

На начальном этапе строительства и эксплуатации магистральных нефтегазопроводов появление плавающих участков с арками выпучивания на заболоченных участках трассы и, как следствие, появление аварийных ситуаций, связанных с выходом трубопровода из устойчивого состояния, носило массовый характер на магистральных нефтегазопроводах Западной Сибири и на севере европейской части России (рис. 3) [9].

Сжимающие продольные силы, возникающие под давлением перекачиваемого продукта, выталкивающей распределенной нагрузки и сезонных изменений температурного режима, приводят к тому, что реальные условия укладки трубопровода практически всегда отличаются от проектных в силу ряда серьезных факторов, основными из которых являются качество инженерных изысканий под строительство магистральных нефтегазопроводов и качество выполнения строительных работ.

Массовые случаи появления плавающих участков и арок выброса на заболоченных участках трассы магистральных нефтегазопроводов связаны с достаточно большими финансовыми потерями из-за необходимости вывода из работы участков магистральных нефтегазопроводов и затрат на их устранение.



Рис. 3. Выход на поверхность незабалластированного участка магистрального нефтепровода с образованием арки на заболоченном участке трассы

В настоящее время для ликвидации плавающих участков и арок выпучивания на практике применяют способ подсадки трубопровода на проектные отметки с помощью кривых вставок, устанавливаемых при входе и выходе участков трубопровода из болот, с последующей дополнительной балластировкой. При этом расчет продольных напряжений в кривых вставках в зависимости от изменения длины трубопровода на заболоченном участке под действием рабочего давления и температурных напряжений, как правило, отсутствует. По этой причине окончательного решения этой проблемы с приемлемой для практики надежностью до настоящего времени не получено.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Строкова Л.А., Ермолаева А.В. Природные особенности строительства магистрального газопровода «Сила Сибири» на участке Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение – Ленск // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 4. С. 41–45.
2. Димов Л.А., Богушевская Е.М. Магистральные трубопроводы в условиях болот и обводненной местности. Москва, 2010. С. 14.
3. Бородавкин П.П. Механика грунтов в трубопроводном строительстве. Москва : Недра, 1986. С. 57.
4. Быков Л.И., Мустафин Ф.М., Рафиков С.К., Нечваль А.М., Лаврентьев А.Е. Типовые расчеты при сооружении и ремонте газонефтепроводов. Санкт-Петербург : Недра, 2005. С. 101.
5. СНиП2-05-06–85. Магистральные трубопроводы. С. 41.
6. Ясин Э.М., Черников В.И. Устойчивость подземных трубопроводов. Москва : Недра, 1968. С. 34.
7. Коржаева К.В., Мустафин Ф.М., Быков Л.И., Файзуллин С.М. Методика определения критического продольного сжимающего усилия для подводных переходов трубопроводов // Нефтегазовое дело. 2015. № 3. С. 355.
8. Айнбиндер А.Б. Расчет магистральных и промысловых трубопроводов на прочность и устойчивость : справочное пособие. Москва : Недра, 1991. С. 116.
9. Мазур И.И., Иванцов О.М. Безопасность трубопроводных систем. Москва : ЕЛИМА, 2004. С. 627.

REFERENCES

1. *Strokova L.A., Ermolaeva A.V.* Prirodnye osobennosti stroitel'stva magistral'nogo gazoprovoda "Sila Sibiri" na uchastke Chayandinskoe neftegazokondensatnoe mestorozhdenie – Lensk ["Sila Sibiri" pipeline construction in the Chayandinsky oil/gas/condensate field – Lensk section]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2015. V. 326. No. 4. Pp. 41–45. (rus)
2. *Dimov L.A., Bogushevskaya E.M.* Magistral'nye truboprovody v usloviyakh bolot i obvodnennoi mestnosti [Main pipelines in wetlands and flooded areas]. Moscow, 2010. 14 p. (rus)
3. *Borodavkin P.P.* Mekhanika gruntov v truboprovodnom stroitel'stve [Soil mechanics in pipeline construction]. Moscow: Nedra, 1986. 57 p. (rus)
4. *Bykov L.I., Mustafin F.M., Rafikov S.K., Nechval A.M., Lavrentyev A.E.* Tipovye raschety pri sooruzhenii i remonte gazonefteprovodov [Model calculations for pipeline construction and repair]. Saint-Petersburg: Nedra, 2005. 101 p. (rus)
5. SNiP 2-05-06–85. Magistral'nye truboprovody [Main pipelines]. 41 p. (rus)
6. *Yasin E.M., Chernikin V.I.* Ustoichivost' podzemnykh truboprovodov [Stability of underground pipelines]. Moscow: Nedra, 1968. 34 p. (rus)
7. *Korzhaeva K.V., Mustafin F.M., Bykov L.I., Fayzullin S.M.* Metodika opredeleniya kriticheskogo prodol'nogo szhimayushchego usiliya dlya podvodnykh perekhodov truboprovodov [Calculation of critical longitudinal compressive load for underwater pipe crossings]. *Neftegazovoe delo*. 2015. No. 3. 355 p. (rus)
8. *Ainbinder A.B.* Raschet magistral'nykh i promyslovykh truboprovodov na prochnost' i ustoychivost' [Strength and stability analysis of main and field pipelines]. Moscow: Nedra, 1991. 116 p. (rus)
9. *Mazur I.I., Ivantsov O.M.* Bezopasnost' truboprovodnykh sistem [Safety of pipeline systems]. Moscow: ELIMA, 2004. p. 627. (rus)

Сведения об авторах

Хижняков Валентин Игнатьевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, val@tpu.ru

Негодин Александр Викторович, ст. преподаватель, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, Semerka.82@mail.ru

Шелков Валерий Алексеевич, студент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, fanttom_95@mail.ru

Тоз Антон Николаевич, студент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tozantoz@mail.ru

Authors Details

Valentin I. Khizhnyakov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, val@tpu.ru

Aleksandr V. Negodin, Senior Lecturer, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, Semerka.82@mail.ru

Valeriy A. Shelkov, Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, Fanttom_95@mail.ru

Anton N. Toz, Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, tozantoz@mail.ru

УДК 625.831.083.74 (571.17) DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-177-187

В.С. ЧУРИЛИН¹, С.В. ЕФИМЕНКО¹, В.Н. ЕФИМЕНКО¹,
А.В. СУХОРУКОВ¹, Ю.В. ДРОЗДОВ²,

¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,

²Областное государственное казённое учреждение «Томскавтодор»

СТАНДАРТИЗАЦИЯ РАСЧЁТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В статье указана необходимость разработки стандарта организации с учётом региональных исследований, выполненных специалистами кафедры «Автомобильные дороги» Томского государственного архитектурно-строительного университета. Уточнено территориальное распространение линий границ дорожно-климатических зон с выделением однородных по геоконструкциям дорожных районов на территории Томской области. Рекомендован комплекс расчётных значений характеристик глинистых грунтов для качественного проектирования нежёстких дорожных одежд.

Ключевые слова: стандарт организации; проектирование; автомобильная дорога; дорожная одежда; прочность; морозоустойчивость.

Для цитирования: Чурилин В.С., Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Сухоруков А.В., Дроздов Ю.В. Стандартизация расчётных характеристик глинистых грунтов Томской области для обеспечения качества проектирования автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 6. С. 177–187.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-177-187

V.S. CHURILIN¹, S.V. EFIMENKO¹, V.N. EFIMENKO¹,
A.V. SUHORUKOV¹, Yu.V. DROZDOV²,

¹Tomsk State University of Architecture and Building,

²State Regional Enterprise "Tomskavtodor"

ESTIMATED PERFORMANCE STANDARDIZATION OF CLAYEY SOILS IN THE TOMSK REGION FOR THE QUALITY ASSURANCE IN ROAD CONSTRUCTION

The paper indicates the need to develop a standard of organization with regard to the regional studies carried out by specialists from the Automobile Roads Department of Tomsk State University of Architecture and Building. The boundaries of the road-building climatic zones are clarified together with the road geocomplexes in the Tomsk region. A set of design values is recommended for clay soils to provide the qualitative design of nonrigid road pavements.

Keywords: proprietary standard; design; automobile road; pavement; durability; frost resistance.

For citation: Churilin V.S., Efimenko S.V., Efimenko V.N., Suhorukov A.V., Drozdov Yu.V. Standartizatsiya raschetnykh kharakteristik glinistykh gruntov Tomskoi oblasti dlya obespecheniya kachestva proektirovaniya avtomobil'nykh

dorog [Estimated performance standardization of clayey soils in the Tomsk region for the quality assurance in road construction]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2020. V. 22. No. 6. Pp. 177–187.

DOI: 10.31675/1607-1859-2020-22-6-177-187

На территории Томской области свод правил¹ выделяет две дорожно-климатические зоны (ДКЗ) (рис. 1). Специалисты Томского государственного архитектурно-строительного университета при исследовании влияния геокомплексов на водно-тепловые процессы в грунтах земляного полотна автомобильных дорог Томской области установили, что схема дорожно-климатических зон существенно отличается по сравнению с приведённой в СП 34.13330.2012. Также доказано, что на территории Томской области присутствуют геокомплексы, обладающие характерными для I ДКЗ признаками [1, 2].

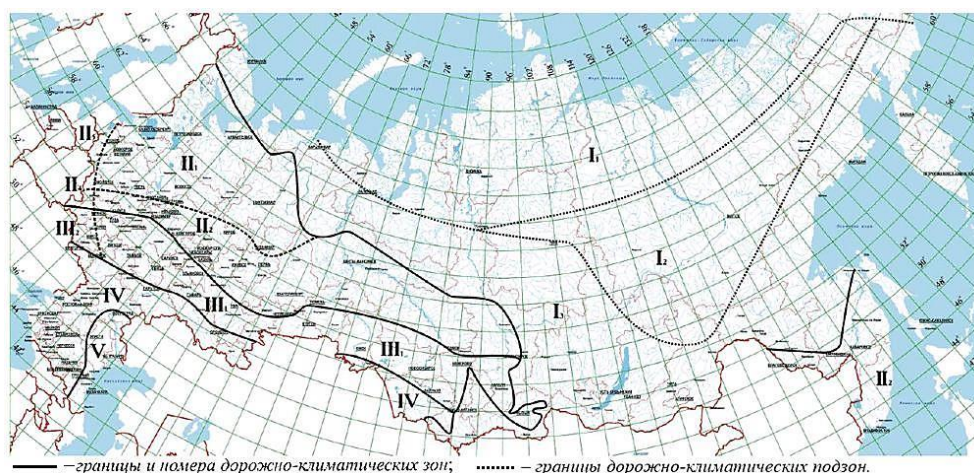


Рис. 1. Карта дорожно-климатического районирования по СП 34.13330.2012

Осреднение природно-климатических условий в пределах территории, входящей в состав той или иной дорожно-климатической зоны, приводит к завышению или занижению расчётных значений характеристик грунтов земляного полотна в пределах конкретного района строительства. Это снижает качество проектных решений и не позволяет обеспечить требуемую эксплуатационную надёжность дорожных одежд. В связи с этим в ряде пунктов (пп. 1.7, 2.37, 3.28)² предлагается учитывать сведения регионально-научно-практического опыта, отражённого в действующих региональных технических условиях, нормах и правилах, утверждённых в установленном порядке.

¹ СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги / Министерство регионального развития РФ. Москва, 2013.

² ОДН 218.046-01. Проектирование нежёстких дорожных одежд. Введ. 2000.12.20. Москва: Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации: Информавтодор, 2001. 145 с.

Одним из способов повышения качества проектирования и строительства автомобильных дорог на территории отдельных административных образований Российской Федерации является разработка стандартов организации, учитывающих результаты региональных исследований.

Так, специалистами кафедры «Автомобильные дороги» Томского государственного архитектурно-строительного университета разработан стандарт организации³ в развитие ОДН 218.046-01 и СТП ТОДДФиАД 32-03-2002 применительно к природным условиям Томской области. Стандарт устанавливает основные требования по назначению расчётных значений характеристик глинистых грунтов земляного полотна при проектировании по условиям прочности и морозоустойчивости нежестких дорожных одежд вновь строящихся и реконструируемых автомобильных дорог.

В основу детализации районирования Томской области положена таксономическая система: «зона – подзона – дорожный район». В этой системе таксон «дорожный район» соответствует генетически однородной территории, характеризующейся типичными, только свойственными ей, природными факторами. На территории дорожного района однотипные дорожные конструкции характеризуются примерно одинаковой прочностью и устойчивостью [3–5].

На основе обобщения и анализа основных географических комплексов, влияющих на срок службы автомобильных дорог на территории Томской области, рекомендованы три дорожно-климатические зоны (I, II и III), две подзоны и шесть дорожных районов, которые отражены на карте-схеме дорожно-климатического районирования (рис. 2).

Для характеристики увлажнения отдельных районов применён гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК). Он является показателем естественного обеспечения территории влагой и определяется как отношение суммы осадков за период со среднесуточными температурами воздуха выше 10 °С к сумме температур за это же время, уменьшенной в 10 раз. Так, для II ДКЗ значения ГТК > 1,40; для III ДКЗ ГТК = 1,00–1,40 [4, 6]. В условиях I ДКЗ увлажнённость ГТК Селянинова не является характерным показателем.

Исследования по изучению водно-теплого режима земляного полотна автомобильных дорог Томской области дают основание рекомендовать для выделенных дорожных районов значения характеристик глинистых грунтов земляного полотна для расчёта дорожных одежд по условиям прочности и морозоустойчивости.

К факторам, оказывающим влияние на изменение значений прочности и деформируемости глинистых грунтов, относятся природно-климатические, грунтово-гидрологические условия и, как следствие, влажность грунта земляного полотна, особенно к концу периода его оттаивания [6, 7].

При назначении расчётной влажности глинистых грунтов W_p учтены результаты длительного изучения водно-теплого режима земляного полотна и дорожных одежд в условиях близкого и глубокого залегания уровня грунтовых вод на автомобильных дорогах Томской области [6, 7].

³ СТО УАД ТО 10-2015. Расчётные значения характеристик глинистых грунтов земляного полотна для проектирования по условиям прочности и морозоустойчивости нежестких дорожных одежд автомобильных дорог Томской области. Утверждён приказом № 150-П от 21.12.2015 г. Управление автомобильных дорог Томской области. 2016. 29 с.

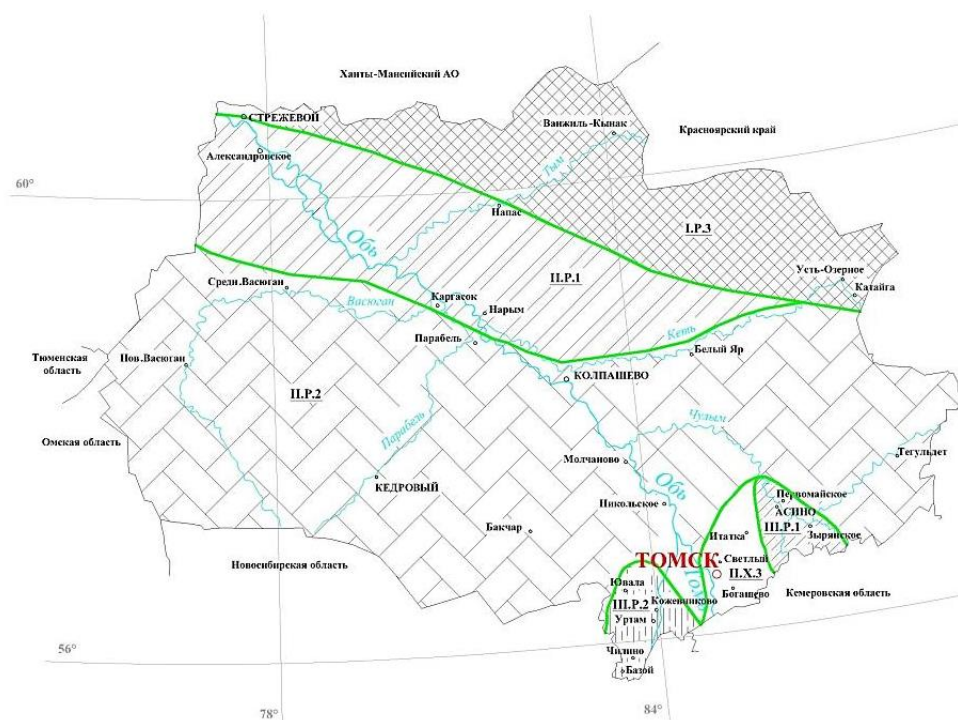


Рис. 2. Карта дорожно-климатического районирования территории Томской области:
I, II, III – дорожно-климатические зоны; Р, Х – подзона по типу рельефа (равнинная, холмистая); 1–3 – номера дорожных районов

Для определения расчётной влажности грунта в условиях глубокого залегания грунтовых вод профессором В.Н. Ефименко установлена зависимость, учитывающая температурный и влажностный режимы выделенных на территории Томской области дорожных районов [6]:

$$W_p = \frac{(e \cdot K_c)}{\lg \Theta_p - 1}, \quad (1)$$

где K_c – гидротермический коэффициент Селянинова, мм/град-сут; e – коэффициент размерности, равный 0,97; Θ_p – расчётная (исходя из «мягкой» зимы) сумма отрицательных температур воздуха за зиму, град-сут.

Так как значительная часть Томской области характеризуется избыточным увлажнением, а грунтово-гидрологические и климатические условия предопределяют увлажнение земляного полотна в жидкой форме, расчет влажности грунта для ряда населённых пунктов осуществляли теоретически, при этом была оценена возможность применения и уточнены решения, предложенные профессором И.А. Золотарём [7–9].

Значения характеристик прочности и деформируемости глинистых грунтов для условий глубокого и близкого залегания уровня грунтовых вод (табл. 1, 2), рекомендуемые для расчёта дорожных одежд, получены на основе экспериментально установленных зависимостей вида

$$E_{гр}, \varphi_{гр}, C_{гр} = f(w_{от}). \quad (2)$$

В районах сезонного промерзания грунтов на участках дорог, находящихся в неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях, наряду с требуемой прочностью должна быть обеспечена достаточная морозоустойчивость дорожных одежд. Обоснованное расчётом назначение толщины дорожной одежды из морозостойких материалов позволяет ограничить зону промерзания глинистых грунтов земляного полотна и уменьшить отрицательное влияние пучения.

Таблица 1

**Расчётные значения характеристик глинистых грунтов
земляного полотна участков дорог с глубоким залеганием
уровня грунтовых вод**

Индекс дорожного района	Административный пункт	W_p в д. ед.	$E_{гр}$, МПа	$\varphi_{гр}$, град.	$C_{гр}$, МПа
I.Р.3	Стрежевой, Усть-Озерное, Катайга	0,86	22,0	11	0,009
II.Р.1	Александровское, Каргасок, Напас	0,77	22,0	16	0,019
II.Р.2	Нов. Васюган, Кедровый, Колпашево	0,84	21,0	12	0,048
II.Х.3	Кожевниково, Чилино, Уртам	0,86	22,0	11	0,009
III.Р.2	Томск, Светлый, Богашево	0,79	23,0	13	0,049
III.Р.1	Асино, Первомайское, Зырянское	0,76	30,0	14	0,016

Таблица 2

**Расчётные значения характеристик глинистых грунтов
земляного полотна, рекомендуемые для расчёта нежестких
дорожных одежд по условию прочности (дорожный район II.Х.1)**

K_1 , см ² /ч	H_b , м	Расчётные значения показателей грунта			
		W_p , в д. ед.	$E_{гр}$, МПа	$\varphi_{гр}$, град	$C_{гр}$, МПа
2	0,5	0,94	21,4	15,1	0,0083
	1,0	0,82	22,1	15,8	0,0151
	1,5	0,70	23,9	17,8	0,0287
	2,0	0,63	25,7	19,9	0,0394
	2,5	0,62	26,3	20,5	0,0423
3	0,5	0,98	21,3	15,0	0,0066
	1,0	0,85	21,8	15,5	0,0127
	1,5	0,72	23,4	17,3	0,0257
	2,0	0,65	25,2	19,2	0,0363
	2,5	0,62	26,1	20,3	0,0415

Окончание табл. 2

K_1 , см ² /ч	H_b , м	Расчётные значения показателей грунта			
		W_p , в д. ед.	$E_{гр}$, МПа	$\phi_{гр}$, град	$C_{гр}$, МПа
4	0,5	—	—	—	—
	1,0	0,88	21,7	15,4	0,0110
	1,5	0,74	23,1	16,9	0,0233
	2,0	0,66	24,7	18,7	0,0336
	2,5	0,64	25,6	19,7	0,0388
5	0,5	—	—	—	—
	1,0	0,91	21,5	15,2	0,0097
	1,5	0,75	22,8	16,7	0,0215
	2,0	0,68	24,4	18,3	0,0316
	2,5	0,65	25,2	19,3	0,0367
6	0,5	—	—	—	—
	1,0	0,93	21,4	15,1	0,0086
	1,5	0,77	22,6	16,4	0,0198
	2,0	0,69	24,0	18,0	0,0297
	2,5	0,66	24,9	18,9	0,0349

Примечание. H_b – возвышения бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод; K_1 – коэффициент влагопроводности.

Теоретические и экспериментальные исследования, а также анализ особенностей природных условий, характерных для автомобильных дорог Томской области, показали, что влагонакопление и пучение в грунтах земляного полотна в значительной мере определяются режимом промерзания дорожных конструкций. При этом наибольшее влагонакопление наблюдается после «мягких» зим, характеризующихся незначительной суммой отрицательных температур воздуха [6]. Отмеченное обстоятельство учтено при определении расчётных значений характеристик глинистых грунтов для расчёта дорожных одежд по условию морозоустойчивости на территории Томской области.

К расчётным характеристикам, необходимым для определения толщины дорожной одежды по условию морозоустойчивости, относятся допускаемое морозное пучение грунта ($l_{доп}$), величину которого определяют в зависимости от типа дорожной одежды и вида покрытия, см; относительная деформация морозного пучения, величину которой устанавливают экспериментально или по рекомендациям ОДН 218.046–01, д. ед.; комплексная характеристика грунта по степени пучинистости B , см²/сут; климатический показатель α_0 , см²/сут, определяемый по формуле профессора Н.А. Пузакова [8]; расчётная глубина промерзания Z_p , см.

Ожидаемое поднятие дорожной одежды, определяемое объёмом влаги в рабочем слое земляного полотна, в основном зависит от глубины и скорости

промерзания грунта. Расчётное значение глубины промерзания дорожной конструкции Z_p следует определять на основе сведений региональных исследований. При отсутствии сведений натурных наблюдений за промерзанием дорожных конструкций среднюю глубину рекомендуется принимать по карте изолиний, представленной в ОДН 218.046–01, предназначенной для целей фундаментостроения и не учитывающей специфику работы дорожных конструкций в зимний период.

С учётом результатов исследований профессора В.Н. Ефименко [6] за расчётную принята вероятностная глубина промерзания дорожной конструкции (рис. 3), которая формируется в данных климатических условиях района строительства в наиболее «мягкую» зиму. Такой подход в определении глубины промерзания дорожной конструкции вызван следующими двумя причинами.

1. Пучение и влагонакопление в грунтах земляного полотна зависят от режима промерзания. Медленному промерзанию соответствует большее количество мигрирующей влаги. При прочих равных условиях одной и той же величине пучения грунтов могут соответствовать различная влажность и плотность грунта рабочего слоя земляного полотна, а соответственно, и различная прочность грунтов в расчётный (весенний) период.

2. При высокой скорости промерзания дорожных конструкций (более 1,6 см/сут) в начальный период зимы и значительной глубине расположения границы промерзания величина пучения может превысить допустимые пределы за счёт влажности слоёв грунта, расположенных ниже рабочего слоя, что не сказывается на прочности грунтов земляного полотна и дорожной одежды в расчётный (весенний) период. Следовательно, значительная глубина промерзания и высокая скорость в «суровые» зимы не всегда являются причиной ухудшения эксплуатационного состояния дорожных одежд в отличие от медленного и сравнительно неглубокого промерзания грунтов в «мягкие» зимы.

Комплексная характеристика глинистых грунтов по степени пучинистости B назначена на основе результатов испытаний (табл. 3) [10, 11].

В условиях широкого распространения на территории Томской области пучинистых, сильнопучинистых и чрезмернопучинистых глинистых грунтов расчёт конструкций дорожных одежд на морозоустойчивость следует выполнять отдельно для участков с глубоким и близким залеганием уровня грунтовых вод. Для участков автомобильных дорог с глубоким залеганием уровня грунтовых вод общую толщину стабильных слоёв дорожной одежды Z_1 назначают по формуле [8]:

$$Z_1 = Z_{кр} - \frac{l_{доп} \cdot \alpha_0}{(B \cdot \beta \cdot \gamma)}, \quad (3)$$

где $Z_{кр}$ – критическая глубина промерзания, в пределах которой пучение грунта оказывает влияние на неравномерность деформации покрытия дорожной одежды. Для глин и суглинков величина $Z_{кр}$ составляет 160 см, для тяжёлых пылеватых суглинков $Z_{кр} = 140$ см; β – коэффициент, учитывающий гидрологические условия местности (для сухих мест $\beta = 1,0$ для сырых $\beta = 1,5$); γ – коэффициент, зависящий от конструкции земляного полотна (для насыпей $\gamma = 1,0$, для выемок $\gamma = 1,5$).

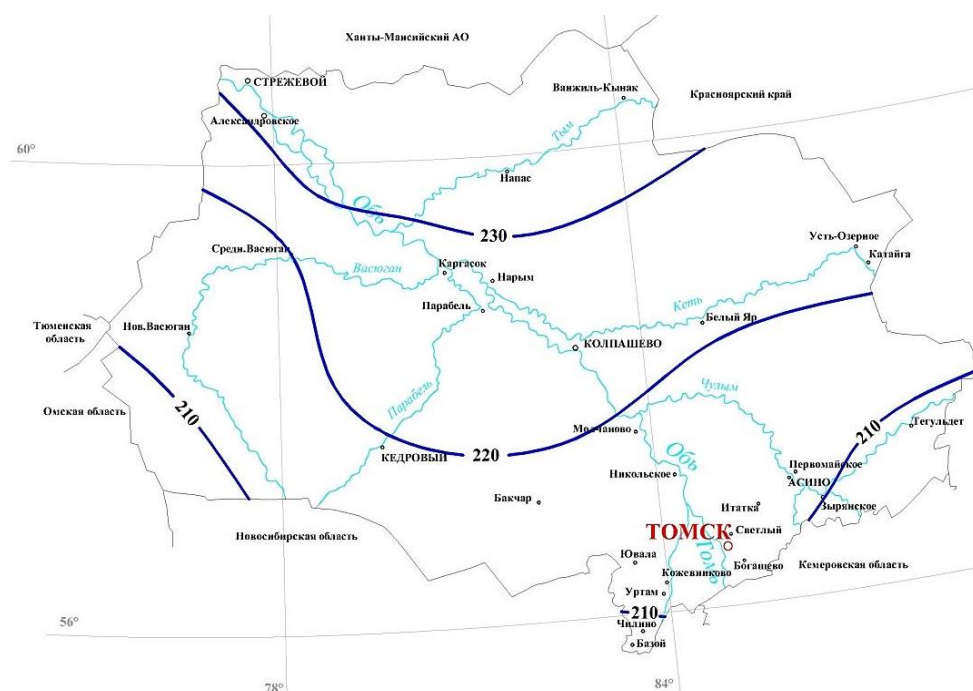


Рис. 3. Карта-схема изолиний расчётной глубины промерзания дорожных конструкций

Таблица 3

**Значения комплексной характеристики пучинистости
глинистых грунтов на территории Томской области**

Индекс дорожного района	Комплексная характеристика грунта по степени пучинистости B , $\text{см}^2/\text{сут}$		
	Пучинистый	Сильно- пучинистый	Чрезмерно- пучинистый
I.P.1	3,2–5,6	5,7–8,1	> 8,2
II.P.1	3,1–5,5	5,6–7,8	> 7,9
II.P.2	3,0–5,3	5,4–7,5	> 7,6
II.X.1	2,8–5,0	5,1–7,1	> 7,2
III.P.2	2,8–4,9	5,0–7,0	> 7,1
III.P.1	2,8–4,9	5,0–7,0	> 7,1

Для участков автомобильных дорог с близким залеганием уровня грунтовых вод общую толщину конструкции дорожной одежды для обеспечения морозоустойчивости авторы рекомендуют определять по методу, разработанному в СоюздорНИИ [8].

Сопоставление результатов расчёта дорожных одежд по предложенным характеристикам для определения общей толщины морозоустойчивых конструкций с фактическими, находящимися в эксплуатации и работающими без разрушений, показало эффективность применения параметров при проекти-

ровании нежестких дорожных одежд. Это позволяет рекомендовать характеристики глинистых грунтов для расчёта дорожных одежд по условиям прочности и морозоустойчивости.

Выполненные исследования по обоснованию расчётных значений характеристик глинистых грунтов земляного полотна позволяют повысить надёжность проектных решений по обеспечению прочности и морозоустойчивости дорожных одежд автомобильных дорог на территории Томской области и увеличить срок их службы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Афиногенов А.О. К уточнению схемы дорожно-климатического районирования территорий на примере районов Западной Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 1. С. 125–134.
2. Ефименко С.В., Ефименко В.Н., Бадина М.В., Афиногенов А.О. Учёт особенностей распространения геоконструкций при территориальной организации дорожно-климатического районирования // Дороги и мосты. 2014. № 31. С. 42–52.
3. Ефименко С.В., Бадина М.В. Дорожное районирование территории Западной Сибири. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. 244 с.
4. Ефименко В.Н., Ефименко С.В., Сухоруков А.В. Назначение расчётных характеристик грунтов земляного полотна для расчёта дорожных одежд // Вестник КузГТУ. 2015. № 3. С. 124–130.
5. Ефименко С.В. Учёт территориальной однородности географических комплексов при проектировании автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 3. С. 226–236.
6. Ефименко В.Н. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (На примере Юго-Востока Западной Сибири) : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.22.03 / Ефименко Владимир Николаевич. Москва, 1978. 216 с.
7. Ефименко С.В. Обоснование расчётных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд автомобильных дорог (на примере Западной Сибири) : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.23.11 / Ефименко Сергей Владимирович. Омск, 2006. 217 с.
8. Золотарь И.А., Пузакова Н.А., Сиденко В.М. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд. Москва : Транспорт, 1971. 416 с.
9. Сухоруков А.В., Ефименко С.В. Некоторые вопросы обеспечения надёжного функционирования автомобильных дорог в сложных природных условиях Сибири // Перспективы развития фундаментальных наук : труды XI Международной конференции студентов и молодых учёных. Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. С. 825–828.
10. Бадина М.В. Лабораторные исследования величины морозного пучения грунтов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 3. С. 150–156.
11. Чурилин В.С. Расчётные характеристики глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд по условию морозоустойчивости в Западно-Сибирском регионе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2014. № 3. С. 291–294.

REFERENCES

1. Efimenko, S.V., Efimenko V.N., Afinogenov A.O. K utochneniyu skhemy dorozhnoklimaticheskogo raionirovaniya territorii na primere raionov Zapadnoi Sibiri [The outline of road building climatic zoning in Western Siberia]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 1. Pp. 125–134. (rus)

2. Efimenko S.V., Efimenko V.N., Badina M.V., Afinogenov A.O. Uchet osobennostei rasprirostraneniya geokompleksov pri territorial'noi organizatsii dorozhno-klimaticheskogo raionirovaniya [Geocomplex development at road-building climatic zoning]. *Dorogi i mosty*. 2014. No. 31. Pp. 42–52. (rus)
3. Efimenko S.V., Badina M.V. Dorozhnoe raionirovanie territorii Zapadnoi Sibiri [Road zoning on the West Siberia territory]. Tomsk: TSUAB, 2014. 244 p. (rus)
4. Efimenko V.N., Efimenko S.V., Sukhorukov A.V. Naznachenie raschetnykh kharakteristik gruntov zemlyanogo polotna dlya rascheta dorozhnykh odezhd [Design values of subgrade soil properties for road pavement]. *Vestnik KuzSTU*. 2015. No. 3. Pp. 124–130. (rus)
5. Efimenko S.V. Uchet territorial'noi odnorodnosti geograficheskikh kompleksov pri proektirovani avtomobil'nykh dorog [Territorial homogeneity of geographic complexes in design of automobile roads]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 3. Pp. 226–236. (rus)
6. Efimenko V.N. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog pri glubokom promerzani gruntov (Na primere Yugo-Vostoka Zapadnoi Sibiri) [Water and thermal control of subgrades at deep soil freezing (South-East of Western Siberia case studies)]. Moscow, 1978. 216 p. (rus)
7. Efimenko S.V. Obosnovanie raschetnykh znachenii kharakteristik glinistykh gruntov dlya proektirovaniya dorozhnykh odezhd avtomobil'nykh dorog (na primere Zapadnoi Sibiri): dis. ... kand. tekhn. nauk [Substantiation of theoretical values of clay soil properties for road pavement design. PhD Thesis]. Omsk, 2006. 217 p. (rus)
8. Zolotar' I.A., Puzakov N.A., Sidenko V.M. Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna i dorozhnykh odezhd. [Water and thermal control of road subgrades and pavements]. Moscow: Transport, 1971. 416 p. (rus)
9. Sukhorukov A.V., Efimenko S.V. Nekotorye voprosy obespecheniya nadezhnogo funktsionirovaniya avtomobil'nykh dorog v slozhnykh prirodnykh usloviyakh Sibiri [Problems of ensuring the reliable operation of automobile roads in Siberian climatic conditions]. In: *Perspektivy razvitiya fundamental'nykh nauk : trudy XI Mezhdunarodnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh (Proc. 11th Int. Sci. Conf. of Students and Young Scientists 'Prospects of Fundamental Sciences Development')*. 2014. Pp. 825–828. (rus)
10. Badina M.V. Laboratornye issledovaniya velichiny moroznogo pucheniya gruntov [Laboratory studies of frost heaving of soils]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2009. No. 3. Pp. 150–156. (rus)
11. Churilin V.S. Raschetnye kharakteristiki glinistykh gruntov dlya proektirovaniya dorozhnykh odezhd po usloviyu morozoustoichivosti v Zapadno-Sibirskom regione [Frost resistant pavement design in West Siberian region]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2013. No. 4. Pp. 291–294. (rus)

Сведения об авторах

Ефименко Сергей Владимирович, докт. техн. наук, доцент, декан дорожно-строительного факультета, заведующий кафедрой «Автомобильные дороги», Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, svefimenko_80@mail.ru

Ефименко Владимир Николаевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, svefimenko_80@mail.ru

Сухоруков Алексей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, homesuhov@mail.ru

Чурилин Владимир Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, lex-16-2008@mail.ru

Дроздов Юрий Викторович, директор Управления автомобильных дорог Томской области (Томскавтодор), 634009, г. Томск, пр. Ленина, 117, main@uad.tomsk.ru

Authors Details

Sergei V. Efimenko, DSc, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, svefimenko_80@mail.ru

Vladimir N. Efimenko, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, svefimenko_80@mail.ru

Aleksei V. Sukhorukov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, homesuhov@mail.ru

Vladimir S. Churilin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, lex-16-2008@mail.ru

Yurii V. Drozdov, Director, State Regional Enterprise "Tomskavtodor", 117, Lenin, Ave., 634009, Tomsk, Russia, main@uad.tomsk.ru