

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный
архитектурно-строительный университет

ВЕСТНИК

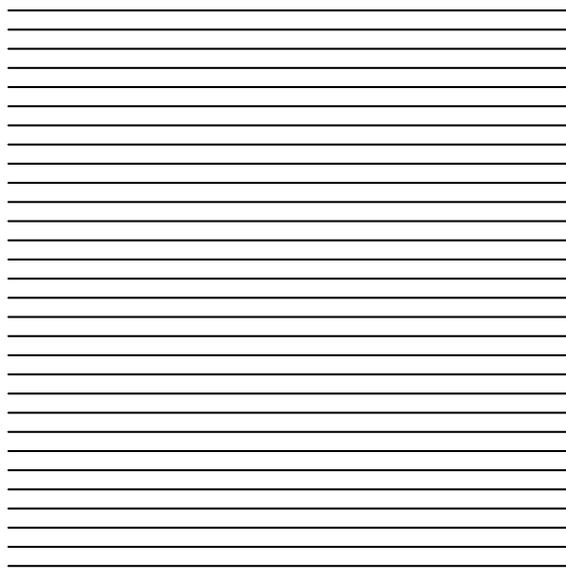
ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Том 23

№ 1 2021

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с апреля 1999 г.



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ляхович Л.С., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, зав. кафедрой строительной механики ТГАСУ; гл. редактор; lls@tsuab.ru; г. Томск
Акимов П.А., докт. техн. наук, профессор, академик РААСН, главный ученый секретарь РААСН; pavel.akimov@gmail.com; г. Москва
Белостоцкий А.М., докт. техн. наук, профессор, чл.-корр. РААСН, ген. директор научно-исследовательского центра СтаДиО; amb@stadyo.ru; г. Москва
Бондаренко И.А., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, директор НИИТИАГ, филиал ЦНИИП Минстроя России; niitag@yandex.ru; г. Москва
Власов В.А., докт. физ.-мат. наук, профессор, ректор ТГАСУ; rector@tsuab.ru; г. Томск
Волокитин Г.Г., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой прикладной механики и материаловедения ТГАСУ; vgg-tomsk@mail.ru; г. Томск
Гныря А.И., докт. техн. наук, профессор, советник РААСН, зав. кафедрой технологии строительного производства ТГАСУ; tsp_tgasu@mail.ru; г. Томск
Дегтярев В.В., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин); ngasu_gts@mail.ru; г. Новосибирск
Дзюбо В.В., докт. техн. наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения ТГАСУ; dzv1956@mail.ru; г. Томск
Ефименко В.Н., докт. техн. наук, зав. кафедрой автомобильных дорог ТГАСУ; svefimenko_80@mail.ru; г. Томск
Ефименко С.В., докт. техн. наук, декан дорожно-строительного факультета ТГАСУ; svefimenko_80@mail.ru; г. Томск
Есаулов Г.В., докт. архитектуры, профессор, академик РААСН, проректор по научной работе МАРХИ; gvesaulov@raasn.ru; г. Москва
Жерардо М.Ч., докт. наук, профессор инженерного факультета Международного дистанционного университета UNINETTUNO; g.cennamo@uninettunouniversity.net; г. Рим, Италия
Ильичев В.А., докт. техн. наук, профессор, вице-президент РААСН, академик РААСН; ilyichev@raasn.ru; г. Москва
Инжутов И.С., докт. техн. наук, профессор, директор инженерно-строительного института СФУ; iinzhutov@sfu-kras.ru; г. Красноярск
Кнаиа 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
Кумяк О.Г., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой железобетонных конструкций ТГАСУ, советник РААСН; kumpryak@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; torozov@spbgasu.ru; г. Санкт-Петербург
Овсянников С.Н., докт. техн. наук, профессор, зав. кафедрой архитектуры гражданских и промышленных зданий ТГАСУ; ovssn@tsuab.ru; г. Томск
Плачиди Л.Л., докт. техн. 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

ВЕСТИК ТГАСУ № 1 – 2021

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 24.02.2021. Формат 70×108/16. Гарнитура Таймс.
Уч.-изд. л. 13,48. Усл. печ. л. 16,01. Тираж 200 экз.
Зак. № 19.

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, 2021

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

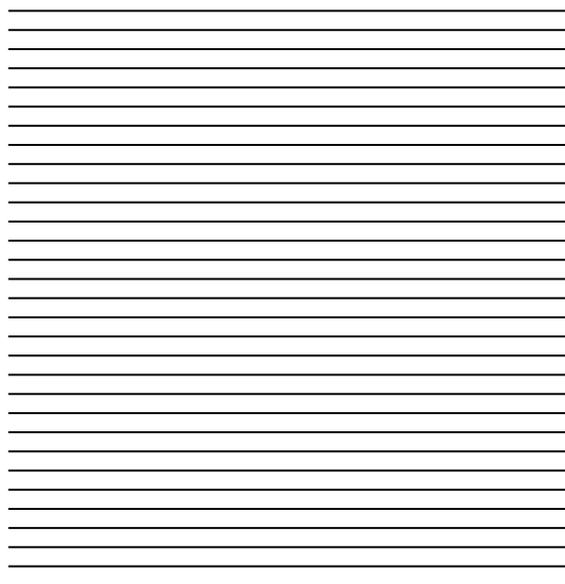
VESTNIK
TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO
ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA

JOURNAL
OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Volume 23

№ 1 2021
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Published since April 1999



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; pavelakimov@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; nitag@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; cvrkotr@technion.ac.il, Haifa, Israel
18. Kudryakov A.I., DSc, Professor; RAACS Adviser, Head of Construction Engineering Technology Dept., TSUAB (Tomsk, Russia); kudryakov@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@sphgasu.ru, St-Petersburg, Russia
22. Ovsyannikov S.N., DSc, Professor, Head of Architecture of Civil and Industrial Buildings Dept., TSUAB; ovssn@tsuab.ru, Tomsk, Russia
23. Placidi 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; nisf@nisf.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 № 1 – 2021

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: 24.02.2021. Paper size: 70×108/16. Typeface: Times New Roman
Published sheets: 13,48. Conventional printed sheets: 16,01. Print run: 200 copies
Order N 19.

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, 2021

СО Д Е Р Ж А Н И Е

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Веревкина Е.Д., Ситникова Е.В. Административное деление сел Спасского сельского поселения в конце XIX – начале XX века (ТГАСУ, г. Томск).....	9
Духанов С.С. Проблемы типового проектирования в Западной Сибири в конце 1950–60-х гг. (НИИТИАГ, г. Москва)	19
Киншт А.В., Шамец А.А. Культурно-эстетическая функция советского и российского метро (НГУАДИ, г. Новосибирск).....	34
Шутка А.В., Гурьева Е.И. Архитектурно-пространственные особенности формирования городского сквера (ВГТУ, г. Воронеж).....	50
Целуйко Д.С. Создание графоаналитической модели сада культивации в г. Сучжоу. Генерирование планировочных структур с помощью Rhinoceros (Grasshopper) (ТОГУ, г. Хабаровск)	58
Негуляева Т.В., Дядченко С.Ф. Архитектура и философия античности: становление классического направления в архитектуре (СГТУ, г. Саратов).....	73
Абаимова Е.Л., Скопинцев А.В., Моргун Н.А. Тенденции формирования архитектурной среды современных музейных комплексов (ЮФУ, г. Ростов-на-Дону).....	85

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Песцов Д.Н. Применение жордановых исключений для анализа стержневых систем при изменениях в расчетной схеме (ТГАСУ, г. Томск)	96
Холщевников В.В., Семин А.А., Тактаев И.А. Исследование значений времени начала эвакуации в зданиях лечебных учреждений (Академия ГПС МЧС России, РХТУ, г. Москва, ООО «Центр пожарной безопасности», г. Пушкино)	105

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Куриленко Н.И., Кузьменко К.Е. Актуализация методов проведения испытаний на тепловых сетях (ТИУ, г. Тюмень)	116
--	-----

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Ющубе С.В., Подшивалов И.И., Ларионов А.С. Оценка надежности сооружения, расположенного на склоне горы (ТГАСУ, г. Томск).....	126
--	-----

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

Хижняков В.И., Негодин А.В., Шелков В.А., Тоз А.Н. Предотвращение развития коррозионных и стресс-коррозионных дефектов на катоднозащищаемой поверхности магистральных трубопроводов (ТГАСУ, г. Томск)	140
Тимохолец В.Д., Чичиланова Я.И. Обоснование необходимости совершенствования транспортной сети в городе Тюмени (ТИУ, г. Тюмень).....	150
Косенко С.А., Котова И.А., Акимов С.С. Техничко-экономическое обоснование устройства защитных подбалластных слоев из грунтобетона при тяжеловесном движении поездов (СГУПС, г. Новосибирск)	161
Елугачев П.А., Эшаров Э.А., Шумилов Б.М., Кудуев А.Ж. Пространственное моделирование автомобильных дорог поверхностями коробчатого сечения (ТГАСУ, г. Томск, ОшГУ, Кыргызстан, г. Ош).....	175

C O N T E N T S

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Verevkina E.D., Sitnikova E.V. Administrative organization of villages of Spassky rural settlement in the late 19th and early 29th centuries (Tomsk).....	9
Dukhanov S.S. Standardized design in Western Siberia late in the 1950–60s (Moscow)	19
Kinsht A.V., Shamets A.A. Cultural and aesthetic functions of Soviet and Russian metro (Novosibirsk).....	34
Shutka A.V., Gureva E.I. Architecture and spatial formation of the city park (Voronezh).....	50
Tseluiko D.S. Graphic-analytical model of cultivation garden in Suzhou. Generation of planning structures with Rhinoceros (Grasshopper) (Khabarovsk)	58
Negulyaeva T.V., Dyadchenko S.F. Architecture and philosophy of antiquity: The formation of classical architecture (Saratov).....	73
Abaimova E.L., Skopintsev A.V., Morgun N.A. Formation of architectural environment in modern museum complexes (Rostov-on-Don)	85

BUILDING AND CONSTRUCTION

Pestsov D.N. Jordan eliminations in bar system analysis with changes in design model (Tomsk)	96
Kholshchevnikov V.V., Semin A.A., Taktaev I.A. Evacuation beginning time in healthcare centres (Moscow, Pushkino).....	105

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

Kurilenko N.I., Kuzmenko K.E. Heat network testing actualization (Tyumen)	116
--	-----

BASES, FOUNDATIONS AND SUBSTRUCTURES

Yushchube S.V., Podshivalov I.I., Larionov A.S. Safety of building constructed on hillside slope (Tomsk).....	126
--	-----

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

Khizhnyakov V.I., Negodin A.V., Shelkov V.A., Toz A.N. Cathodic protection of main pipelines from stress corrosion cracking (Tomsk)	140
Timokhovets V.D., Chichilanova Y.I. The transportation improvement in Tyumen (Tyumen)	150
Kosenko S.A., Kotova I.A., Akimov S.S. Feasibility studies of protective sub-ballast soil-cement layers at heavy-train traffic (Novosibirsk)	161
Elugachev P.A., Esharov E.A., Shumilov B.M., Kuduev A.Zh. 3D modeling of box-section road surface (Tomsk, Osh, Kyrgyz Republic)	175

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 72.035

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-9-18

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

АДМИНИСТРАТИВНОЕ ДЕЛЕНИЕ СЕЛ СПАССКОГО СЕЛЬСКОГО ПОСЕЛЕНИЯ В КОНЦЕ XIX – НАЧАЛЕ XX ВЕКА

Рассмотрены особенности формирования сибирских населенных пунктов на примере сел Спасского сельского поселения (Томская область); определено влияние Московско-Сибирского тракта на развитие притрактных сел на основе анализа численных показателей количества дворов и количества жителей. Выполнен анализ сел Спасского сельского поселения, включающий историю формирования населенных пунктов, единицы управления территорией, начиная от домохозяйства, волостное управление, отнесение населенных пунктов к волостям после реформы 1861 г. и динамику изменения границ волостей на основе списков населенных пунктов Томской губернии в конце XIX – начале XX в. Актуальность исследования определяется малой степенью изученности историко-культурного наследия сел Томской области и проблемами сохранения исторических сельских поселений на территории России.

Цель исследования – изучение истории становления и развития притрактных сел Спасского сельского поселения Томской области.

В процессе исследования использовался метод критического анализа научной литературы и архивных документов, системно-структурный анализ информации и творческий синтез при формировании выводов. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения полученных результатов при выполнении проектных работ по перспективному развитию бывших притрактных сел Сибири.

Научная новизна исследования заключается в изучении истории формирования и развития сел Спасского сельского поселения, ранее мало изученного. Методологической и теоретической основой исследования являются теоретические труды историков и архитекторов, приведенные в библиографическом списке статьи.

Ключевые слова: село; крестьянское домохозяйство; Московско-Сибирский тракт; усадьба; волость.

Для цитирования: Веревкина Е.Д., Ситникова Е.В. Административное деление сел Спасского сельского поселения в конце XIX – начале XX века // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 9–18.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-9-18

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

ADMINISTRATIVE ORGANIZATION OF VILLAGES OF SPASSKY RURAL SETTLEMENT IN THE LATE 19th AND EARLY 29th CENTURIES

The article discusses the formation of Siberian settlements on the example of villages of the Spassky rural settlement (the Tomsk region, Russia). The influence of the Moskovsko-Sibirskii Tract on the development of villages is determined by the number of houses and residents. The analysis of the villages of the Spassky rural settlement includes the history of the formation of settlements; territorial management units; volost management; volost assignment to settlements after 1861, and changes in the volost boundaries based on lists of settlements in Tomsk Gubernia at the end of the 19th and early 20th centuries. The relevance of the study is determined by little information on the historical and cultural heritage of Tomsk villages and the problems of preserving historical rural settlements in Russia.

Purpose: A study the history and development of villages in the Spassky rural settlement.

Practical implications: the results obtained can be used in the implementation of design work on the prospective development of old Siberian villages. **Scientific novelty:** Historical study of the formation and development of settlements in the Spasskoye rural settlement, which has not been studied previously. **Methodology/Approach:** The critical analysis of the literature, system and structural analysis of information and creative synthesis of conclusions were used in this work. Theoretical works of historians and architects listed in the bibliographic list of this article. **Research findings:** The formation of villages in Siberia occurred, to a large extent, owing to immigrants from the European part of Russia, who brought their own traditions of housekeeping. The analysis of the volost distribution of the villages of the Spassky rural settlement shows that the territories inhabited by certain nationalities transformed to separate volosts and were called foreign. The growth in the number of courtyards and residents of settlements in the adjacent villages of the Tomsk Province confirmed the more intensive development of the adjacent villages.

Keywords: village; peasant household; Moskovsko-Sibirskii Tract; farm yard; volost.

For citation: Verevkina E.D., Sitnikova E.V. administrativnoe delenie sel Spasskogo sel'skogo poseleniya v kontse XIX – nachale XX veka [Administrative organization of villages of Spassky rural settlement in the late 19th and early 29th centuries]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 9–18. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-9-18

Формирование населенных пунктов в Сибири имело свои особенности и историю и происходило отличным образом от формирования сел в европейской части России, хотя в целом отражало основные правила формирования и наименования (определения). В книгах переписи населенных пунктов Томской губернии за 1859, 1899, 1911 гг. встречается несколько обозначений населенных пунктов – село, деревня, юрты.

В европейской части России до 1917 г. село являлось административным и хозяйственным центром земельного владения («село с деревнями»). В нём имелся господский («большой») двор. При таких дворах, как правило, была церковь, что обусловило позднейшее определение села в качестве крупного крестьянского поселения с церковью, служащего хозяйственным и административным центром для близлежащих деревень. Как отмечал исследователь

XVIII в. П.С. Паллас, село чётко отличалось от деревни, поскольку в селе обязательно имелась церковь. Село являлось центром церковного прихода, объединяющего несколько близлежащих деревень. Имела место рекомендация при формировании волостей придерживаться принципа существующих церковных приходов, таким образом, церковь и приход становились основным фактором образования волости.

В Сибири распространённым видом сельских поселений были деревни, состоявшие часто из одного-двух дворов. Обычно сельские населенные пункты располагались вокруг городов и острогов, вблизи главных торговых и промысловых путей. До организации Московско-Сибирского тракта в XVII в. основными транспортными путями являлись реки, которые вместе с тем обеспечивали жителей водой. Постепенно увеличивалась численность сибирских деревень и их размеры за счет притока переселенцев из европейской части России. К началу XVIII столетия стали преобладать селения, имевшие около 10 дворов. Помимо деревень имелись и другие наименования, типы организации и назначения поселений: «починки» и «заимки», «хутора» и «выселки». Сёла были очень редки в Сибири, они развивались из деревень, в которых строили церкви.

В рамках административного управления территориями населенные пункты объединялись в волости. В России образованные в 1797 г. для управления территориями с казенными (государственными) крестьянам и после реформы 1861 г. волости стали нижней административно-территориальной единицей. Волость, согласно «Алфавитному пособию для земских начальников и лиц, близких к крестьянскому делу», есть «единица, соединяющая для управления и суда из смежных сельских обществ, состоящих в одном уезде. Наименьшее число жителей – 300 ревизских мужского пола душ, а наибольшее около двух тысяч. Наибольшее расстояние селений от средоточия управления – около 12 верст. Волость должна соответствовать приходу. Значительное селение, хотя бы превышало высший размер числа душ, назначенный для волости и состояло из нескольких приходов и нескольких сельских обществ, составляет, во всяком случае, одну волость» [1, с. 23].

Освоение Сибири связано с переселенческим движением из центральной части России. Территория Томской области являлась также и местом политической ссылки. Переселенцы-крестьяне привозили с собой и традиции своего уклада жизни. Часто переселенцы из одного места, например Смоленска, на новом месте селились рядом. Во всех селениях Сибири наибольшее распространение получил северорусский тип построек. Первоначально при «отъезжих пашнях» нередко ставили небольшие «избушки», где на время полевых работ могли поселиться всей семьёй. Около «пашенных избушек» постепенно возводились амбары, загоны для скота и тому подобные сооружения, и временное прибежище превращалось в полноценный двор.

Первыми поселенцами сел, развивавшихся вблизи сторожевых острогов, были «служилые» люди. На территории современного Спасского сельского поселения сторожевые остроги находились в селах Ярское и Спасское (на территории Синего утеса). Даты основания сел – 1648 и 1620 гг. соответственно. Далее такие поселения также укрупнялись за счет притока пересе-

ленцев. К концу XVII в. происходит значительное укрупнение крестьянских семей, укрепление их экономического положения, что влияло на организацию крестьянской избы и двора. Среди жилых помещений стали преобладать не простые избы, а более просторные, разделённые на 2–3 части дома. Появились пятистенки, имевшие и сени, и клетки (неотапливаемые помещения для летнего жилья и хранения имущества), и горницы, и полный комплект хозяйственных построек, нередко размещавшихся «под одной кровлей». Дворовая усадьба чаще всего обносилась оградой из брёвен, закреплённых либо горизонтально (заплот), либо вертикально. Крестьянская изба вместе с хозяйственными постройками и небольшим участком земли рядом называлась усадьба. Именно этот земельный надел мог переходить по наследству. Как правило, село владело дополнительным количеством пашенных (или удобренных) земель, которые распределялись общиной для осуществления пашенных работ. Теодор Шанин описывает 12-летний цикл выделения пашенных (саженных) земель, но также уточняет, что на практике перераспределение земли происходило и ранее и могло зависеть от разных факторов, например выделение нового домохозяйства в структуре села за счет отделения семьи сына из родительского хозяйства или, наоборот, гибель домохозяйства по причине гибели хозяина, переселения его с семьёй [2].

В России, и это касалось как европейской части, так и Сибири, по закону 1861 г. именно домохозяйство являлось базовым элементом не только хозяйственной, но и политической и социальной структуры. Именно домохозяйство несло ответственность по оплате налогов, глава домохозяйства мог обращаться в суд и в целом нес ответственность за действие домочадцев. Как правило, домохозяйство состояло из членов одной семьи, но более важным фактором являлось совместное ведение хозяйства и проживание на одной территории. Кроме полевого земледелия крестьяне занимались приусадебным хозяйством. В XIX в. территория Алтая рассматривалась как «хлебная житница», дававшая около 50 % пшеницы на территории Западной Сибири. Сибиряки держали в своих усадьбах лошадей, крупный и мелкий рогатый скот, свиней, кур. Известен успешный опыт внешнеэкономической деятельности сибиряков – экспорта сливочного масла в Америку [3].

Административное управление на уровне сельской общины осуществлял сельский староста, который избирался на общем сходе селян. На общем сходе решались вопросы перераспределения пашенных земель, поэтому правом голоса обладали только крестьянские домохозяйства. Сельский староста также отвечал за решение инфраструктурных вопросов, как например, строительство дорог и мостов, а также социальных, например забота об инвалидах военных действий и престарелых жителей.

Населенные пункты объединялись в волости. Волостной староста избирался из крестьян волостным сходом на три года, утверждался в должности и подчинялся с 1861 г. мировому посреднику, с 1874 г. – уездному по крестьянским делам присутствию, а с 1889 по 1917 г. – земскому начальнику. Волостной старшина отвечал за сохранение «общего порядка и спокойствия» в волости, доводил до населения законы и распоряжения правительства, наблюдал за исполнением паспортных правил и судебных приговоров, прини-

мал меры к поимке преступников. Кроме полицейских на нём лежали и административные обязанности – он созывал и распускал волостной сход, приводил в исполнение его приговоры, наблюдал за исправным содержанием дорог, за отбыванием повинностей, заведовал волостными суммами.

В Российской империи существовали так называемые национальные, или инородные, волости. Они назывались по национальности коренного населения: татар, бурят, остяков, самоедов, бухарцев, киргизов и др., которые составляли практически до ста процентов населения волости. Такие волости существовали и в Томской губернии: Обско-тутальская инородная волость, три части Телеутской инородной волости, Томско-бухарская инородная волость, Томско-татарская и Томско-казанская волости.

Говоря о территории Сибири, не стоит забывать, что данная территория была местом проживания и коренных народов. Например, одна из таких групп – чатские татары. На территории Томского уезда на 1620 г. проживало 400 чатских татар. Места поселения назывались юрты. После реформы 1861 г. при формировании волостей как административно-территориального деления уездов юрты, как правило, формировались в инородные управы. На территории Спасского сельского поселения в актуальных границах деревня Казанка имела наименование юрты Казанския и относилась к Чатской инородной управе наравне с юртами Калтайскими и Кафтанчиково (рис. 1).

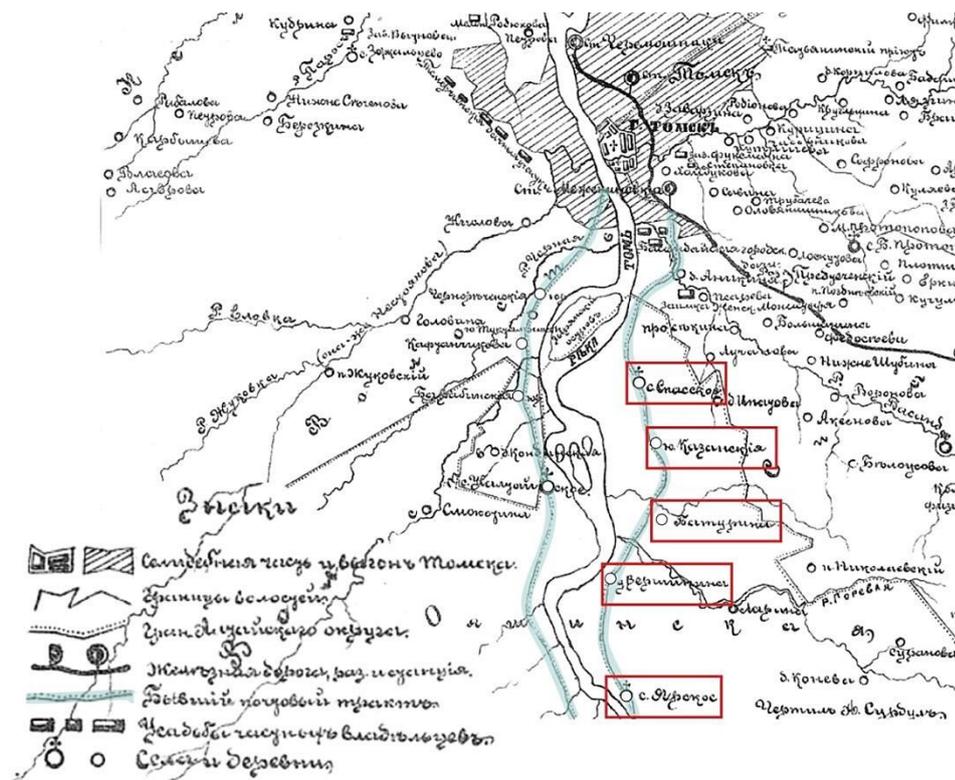


Рис. 1. Карта окрестностей г. Томска 1905 г. с обозначением трактов и притрактowych поселений. Фрагмент карты (URL: http://www.etomesto.ru/img_map.php?id=3687)

В период переписей 1893–1911 гг. в разрезе волостного деления территория Спасского тракта и Спасского сельского поселения имела следующее деление на волости:

Село Спасское и деревня Батурина относились к Спасской волости.

Юрты Казанския – к Чатской инородной управе.

Деревня Вершинина и село Ярское относились к Ояшинской волости (1893, 1899), к Варюхинской волости (1911), Ярской волости (1917, 1920) [4–8].

Интересным представляется вопрос о факторах, влиявших на формирование границ волостей. С 1861 г. было принято постановление о том, чтобы при организации волостей принималось во внимание уже имеющееся разделение на церковные приходы, таким образом, приход образует центр волости. На примере с. Ярское можно сказать, что наличие прихода и церкви не являлось единственно достаточным критерием формирования волости. В Ярском первая деревянная Введенская церковь существовала с 1729 г. [10], однако центром волости село становится только в 1917 г. Скорее всего, существовали и другие причины отнесения населенных пунктов к волостям. Например, наличие сильного органа сельского самоуправления, способного реализовывать функции волостного управления.

В качестве единицы территориального управления волости были упразднены в период административно-территориальной реформы 1923–1929 гг., когда уездно-волостное деление было заменено на районное.

Стоит обратить внимание, что на развитие населенных пунктов оказывал влияние Московско-Сибирский тракт. История организации тракта связана с развитием торговых отношений с Китаем. В 1689 г. был подписан первый русско-китайский Нерчинский договор, положивший начало официальным отношениям между Россией и Китаем. Тракт давал крестьянам возможность получать круглогодичный доход от извоза, который не имел сезонности в отличие, например, от сельскохозяйственной деятельности. К тому же городской стиль жизни в организации хозяйства и убранства жилищ быстрее входил в обиход именно притрактных сел [9].

За период 1899–1920 гг. чаще использовался левый берег реки при движении по Московско-Сибирскому тракту наравне с речным паромством. Динамику изменения количества дворов притрактных сел можно проследить по материалам переписи населенных пунктов Томской губернии за соответствующие годы (таблица). Таблица составлена Е.Д. Вережкиной по материалам Списков населенных мест Томской губернии [6–8].

Динамика изменения количества дворов притрактных сел

Название населенного пункта	Количество дворов в 1899 г.	Количество дворов в 1911 г.	Количество дворов в 1920 г.
Деревня Варюхина	117	141	202
Деревня Алаева	53	67	93
Юрты Калтайския 1899 г.*	47	73	109
Село Спасское	153	156	183

Окончание таблицы

Название населенного пункта	Количество дворов в 1899 г.	Количество дворов в 1911 г.	Количество дворов в 1920 г.
Деревня Батурина	142	150	165
Село Ярское	87	117	148

* Село Калтайское 1911 г.

Наибольший рост демонстрируют: с. Калтайское – 55 % на 1911 г. по отношению к 1899 г. и 131% на 1920 г.; с. Ярское – 34 и 70 %, д. Алаева – 26 и 75 %, с. Варюхино – 21 и 73 % соответственно. Минимальная динамика роста количества дворов за период 1899–1911 гг. наблюдается в с. Спасское – 2 % и д. Батурина – 5 %. Возможное объяснение – достаточная развитость населенных пунктов на начальный период.

Данные о количестве жителей не повторяют кривую роста домохозяйств (рис. 2 и 3). Это может быть связано, с одной стороны, с ростом количества домочадцев в рамках существующих домохозяйств в населенных пунктах Варюхино, Ярское, Батурино, а также с процессом формирования новых домохозяйств за счет деления существующих хозяйств в населенном пункте Калтайское. Основное население этого пункта – чатские татары, и, как правило, национальные населенные пункты оставались закрытыми для переселенцев из европейской части России.

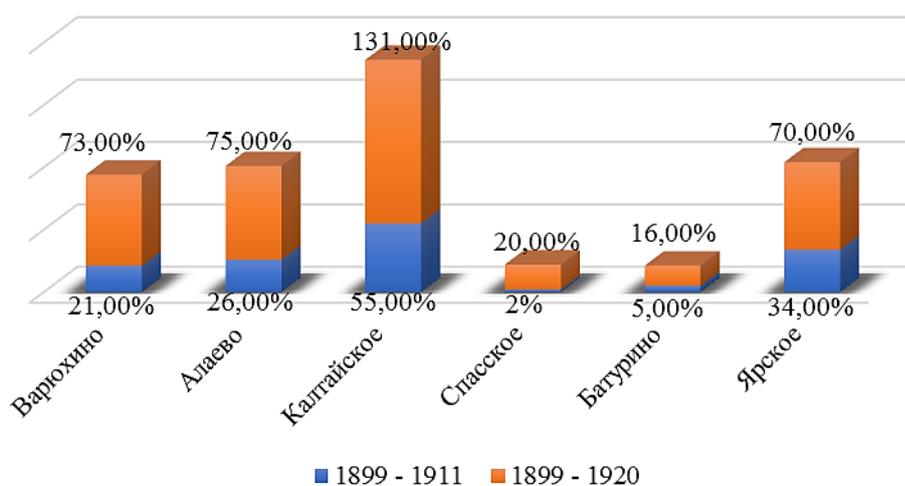


Рис. 2. Рост количества дворов в притрактовых селах за период 1899–1920 гг. Составлено Е.Д. Веревкиной по материалам Списков населенных мест Томской губернии [6–8]

Торговые отношения потребовали создания регулярного, безопасного транспортного пути между Россией и Китаем. На территории Томской области, а ранее губернии, один из пунктов переправы находился в районе с. Ярское. Посольская изба находилась на территории с. Спасское (Синий утес). С середины XIX в. дела империи потребовали развития почтового сообщения

между центром и губерниями страны. 1 июня 1848 г. Почтовый департамент Российской империи заключил с пермским купцом Василием Михайловым контракт на учреждение и десятилетнее содержание вольных почт по трактам, посредством которых в Сибирь попадало абсолютное большинство путешественников. Так в районе с. Ярское Томь пересекали: немецкий исследователь Г.Ф. Миллер в 1734 г. и П.С. Паллас в 1773 г. Ярское упоминает И.Г. Гмелин в отчетах о путешествии в Сибирь в 1734 г. Через Ярское проходила переправа А.П. Чехова в его поездке на Сахалин, о чем он писал семье уже из Томска 14–17 мая 1890 г. [11]. Летом 1868 г. в Томск по Сибирскому тракту проезжал великий князь Владимир Александрович Романов, однако его маршрута следования проходил через деревни по левой стороне реки Томи: Алаево, Варюхино и др. Данный маршрут также активно использовался, что способствовало развитию деревень по левой стороне реки.

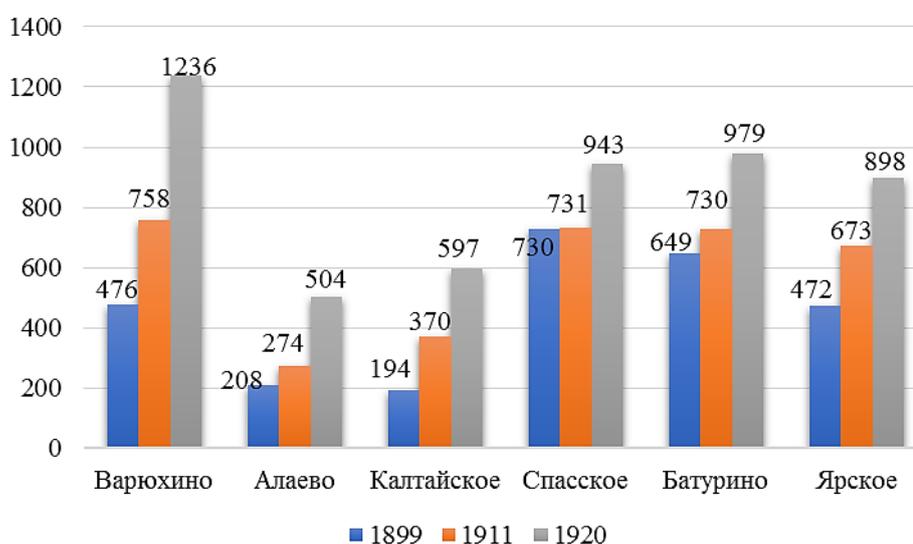


Рис. 3. Изменения количества жителей притрактных сел в период с 1899 по 1920 г. Составлено Е.Д. Вережкиной по материалам Списков населенных мест Томской губернии [6–8]

В заключение стоит отметить, что формирование деревень в Сибири происходило в большей мере за счет переселенцев из европейской части России. Переселенцы селились вблизи городов, острогов и рек, которые до создания Московско-Сибирского тракта являлись основными транспортными магистралями. Тракт, со своей стороны, влиял на развитие притрактных сел: формировал дополнительные внесезонные доходы крестьян, менял крестьянский уклад в части использования традиционных помещений избы. Рассмотренная в статье статистика роста количества дворов и жителей населенных пунктов притрактных сел Томской губернии подтверждает более активное развитие притрактных сел. Переселенцы привозили с собой традиции ведения хозяйства и организации двора. Реформы 1861 г. и последующих годов относительно крестьянского вопроса касались всей территории России и определяли ад-

министративно-территориальное управление населенными пунктами на уровне сел, волостей, уездов. Рассмотренное волостное распределение сел Спасского сельского поселения на период Томской губернии показало, что территории с населением определенной национальности формировались в отдельные волости и назывались инородными. Например, Чатская волость, населенная чатскими татарами (юрты Казанские). Спасское и Батурино на всем протяжении своего существования относились к Спасской волости. Ярское и Вершинино, напротив, относились к трем разным волостям. Существовавшее предписание о формировании волостей в соотношении с приходами в случае с. Ярское не являлось достаточным фактором. И возможно, что фактор наличия сильного органа сельского самоуправления в большей мере способствовал в 1917 г. выделению с. Ярское [12] в центр волости совместно с еще восьмью деревнями (Ларино, Сосновка, Вершинино и др.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Алфавитное пособие* для земских начальников и лиц, близких к крестьянскому делу... / сост. А.Н. Замятнин. Санкт-Петербург, 1894.
2. *Шанин Т.* Неудобный класс: политическая социология крестьянства в развивающемся обществе: Россия 1910–1925 гг. / пер. с англ. А.В. Соловьева ; под науч. ред. А.М. Никулина. Москва : Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2019. 408 с.
3. *Бикина А.А.* Маслоделие в Западной Сибири в начале XX века: факторы развития, роль Союза сибирских маслодельных артелей // Исторический журнал: научные исследования. 2014. № 3. С. 344–356. DOI: 10.7256/2222-1972.2014.3.13770
4. *Томская губерния*: список населенных мест по сведениям 1859 года / обраб. В. Зверинским. 1868.
5. *Список населенных мест* Томской губернии за 1893 год. Томск : Типография Губернского правления, 1893. 381 с.
6. *Список населенных мест* Томской губернии на 1899 год. Томск : Товарищество «Печатня С.П. Яковлева» (Губернская типография), 1899.
7. *Список населенных мест* Томской губернии на 1911 год. Томск : Издание Томского губернского статистического комитета, 1911 (Типография губернского управления). 577 с.
8. *Список населенных мест* Томской губернии: по данным позднейших переписей (1910, 1917 и 1920 гг.) / СССР, Томское губ. стат. бюро. Томск, 1923. 95 с.
9. *Назаренко Т.Ю.* К вопросу о влиянии тракта на повседневную жизнь сибирских крестьян // Труды Томского областного краеведческого музея. Томск, 2002. Т. 12. 269 с.
10. *Евтихиева И.А.* Чудотворные иконы Томской епархии // Традиции и современность. Взаимосвязь традиционного и профессионального; закономерности развития народного искусства; современная методология исследований : сборник статей. Тюмень, 1998. С. 67–73.
11. *Чехов А.П.* Письмо Чеховым, 14–17 мая 1890 г. Красный Яр – Томск // Полное собрание сочинений и писем: в 30 т. Письма: в 12 т. Т. 4. Письма, январь 1890 – февраль 1892 / АН СССР. Ин-т мировой лит. им. А.М. Горького. Москва : Наука, 1974–1983. Москва : Наука, 1975. С. 78–91.
12. *ТОКМ.* Ф. 1. Оп. 4. Д. 75. Л. 3. Список уездов в Томской губернии и волостей в 6 уездах, 1917 г.

REFERENCES

1. *Zamyatnin A.N.* Alfavitnoe posobie dlya zemskih nachal'nikov i lic, blizkih k krest'yan-skumodelu [Alphabetical handbook for land bosses and persons close to peasant business]. Saint-Petersburg, 1894. (rus)

2. *Shanin T.* Neudobnyi klass: politicheskaya sotsiologiya krest'yanstva v razvivayushchemsya obshchestve: Rossiya 1910–1925 gg [The awkward class: Political sociology of peasantry in a developing society: Russia, 1910–1925]. A.M. Nikulin, ed., Moscow: Delo, 2019. 408 p. (transl. from Engl.)
3. *Bikina A.A.* Maslodelie v Zapadnoi Sibiri v nachale KhKh veka: faktory razvitiya, rol' Soyuz sibirskikh maslodel'nykh artelei [Butter-making in Western Siberia in the 20th century: development factors, the role of the Union of Siberian butter-making artels]. *Istoricheskii zhurnal: nauchnye issledovaniya*. 2014. No. 3. Pp. 344–356. DOI: 10.7256/2222-1972.2014.3.13770 (rus)
4. *Zverinskii V.* Tomskaya guberniya: spisok naselennykh mest po svedeniyam 1859 goda [Tomsk province: a list of settlements according to the information of 1859]. 1868. (rus)
5. Spisok naselennykh mest Tomskoi gubernii za 1893 god [List of Settlements of Tomsk Province for 1893]. Tomsk: Tipografiya Gubernskogo pravleniya, 1893. 381 p. (rus)
6. Spisok naselennykh mest Tomskoi gubernii na 1899 god [List of Settlements of Tomsk Province for 1899]. Tomsk: Tovarishchestvo “Pechatnya S.P. Yakovleva” (Gubernskaya tipografiya), 1899. (rus)
7. Spisok naselennykh mest Tomskoi gubernii na 1911 god [List of Settlements of Tomsk Province for 1911]. Tomsk: Izdanie Tomskogo gubernskogo statisticheskogo komiteta, 1911. 577 p. (rus)
8. Spisok naselennykh mest Tomskoi gubernii: po dannym pozdneishikh perepisei (1910, 1917 i 1920 gg.) [List of settlements of Tomsk Province: According to late censuses in 1910, 1917 and 1920]. Tomsk, 1923. 95 p. (rus)
9. *Nazarenko T.Yu.* K voprosu o vliyaniy trakta na povsednevnyuyu zhizn' sibirskikh krest'yan [Influence of the tract on daily life of Siberian peasants]. Trudy Tomskogo oblastnogo kraevedcheskogo muzeya [Proceedings of the Tomsk Regional Museum of Local Lore]. Tomsk, 2002. V. 12. 269 p. (rus)
10. *Evtikhieva I.A.* Chudotvornye ikony Tomskoi eparkhii [Miraculous icons of the Tomsk diocese]. In: Traditsii i sovremennost'. Vzaimosvyaz' traditsionnogo i professional'nogo; zakonomernosti razvitiya narodnogo iskusstva; sovremennaya metodologiya issledovaniy: sbornik statei (Coll. Papers 'Traditions and Modernity. Relationship Between Traditional and Professional; Regularities of Development of Folk Art; Modern Research Methodology). Tyumen, 1998. Pp. 67–73. (rus)
11. *Chekhov A.P.* Pis'mo Chekhovym, 14–17 maya 1890 g. Krasnyi Yar – Tomsk [Letter to the Chekhovs, May 14–17, 1890 Krasny Yar–Tomsk], in 30 vol.; Pis'ma [Letters], in 12 vol. Moscow: Nauka, 1974–1983, 1975. Pp. 78–91. (rus)
12. Tomsk Museum of Natural History. Form 1. List 4. Proc. 75. P. 3. 1917. (rus)

Сведения об авторах

Вережкина Елена Дмитриевна, магистрант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, verevkinae@mail.ru

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

Authors Details

Elena D.Verevkina, Graduate Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, verevkinae@mail.ru

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

УДК 72.036(571.1)

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-19-33

*С.С. ДУХАНОВ,**Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России»**Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства*

ПРОБЛЕМЫ ТИПОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В КОНЦЕ 1950–60-Х ГГ.

Рассматриваются проблемы создания типовых проектов для массового строительства в городах Западной Сибири в период проведения архитектурной реформы в конце 1950–60-х гг. Во-первых, реформа разорвала преемственность развития проектно-строительного дела, чем фактически «обнулила» накопленный к этому времени положительный опыт типового проектирования и резко ограничила возможности по адаптации типовых проектов к местным условиям. Во-вторых, порожденные реформой методы типизации и нормирования были основаны на учете универсальных факторов и формально-количественных критериях. Этот подход был нацелен на централизацию управления проектно-строительной отраслью, однако не только не учитывал ведущие региональные факторы, но и заострял их неблагоприятное воздействие. Разрабатывать на этой основе проекты, отвечающие местным природно-климатическим и социально-экономическим условиям, было невозможно. Созданные в ходе той же реформы крупные местные проектные организации были вынуждены разрабатывать типовые проекты для условий Западной Сибири вопреки основным тенденциям реформы. В результате исследовательские и проектные работы шли вдогонку реальному массовому строительству и затянулись до начала 1970-х гг. Исследование основано на архивных источниках.

Ключевые слова: история советской архитектуры и градостроительства; архитектурная реформа; Западная Сибирь; типовое проектирование; региональные особенности.

Для цитирования: Духанов С.С. Проблемы типового проектирования в Западной Сибири в конце 1950–60-х гг. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 19–33.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-19-33

*S.S. DUKHANOV,**Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning*

STANDARDIZED DESIGN IN WESTERN SIBERIA LATE IN THE 1950–60s

The paper deals with the problems of standardized design in civil construction in the cities of Western Siberia during the architectural reform late in the 1950–60s and is based on archival sources.

First, the development continuity of design and civil engineering industry was broken that time, thereby reducing to nothing the accumulated positive experience in standardized design and sharply limited the adaptation of design projects to regional conditions. Second, the methods of standardizing generated by the architectural reform were based on the universal factors and numerical criteria. That approach was aimed at centralizing the management of the design and construction industry, but did not take into account the leading regional factors and sharpened their adverse impact. It was impossible to develop projects on this basis that would meet local climatic and socio-economic conditions. Large local design organizations created during

the architectural reform were forced to develop standardized projects for the conditions of Western Siberia, contrary to the main trends of the architectural reform. As a result, research and development played catch-up the civil construction and prolonged until the early 1970s.

Keywords: Soviet architecture; town planning; architectural reform; Western Siberia; standardized design; regional conditions.

For citation: Dukhanov S.S. Problemy tipovogo proektirovaniya v Zapadnoi Sibiri v kontse 1950–60 [Standardized design in Western Siberia late in the 1950–60s]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 19–33
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-19-33

Введение

Архитектурная реформа второй половины 1950 – середины 1960-х гг. была одним из переломных этапов в истории отечественной архитектуры XX в. [1–2]. Унификационные тенденции реформы (типизация и стандартизация проектно-строительного дела, массовое внедрение «сверху» универсальных типовых проектов и т. д.) неизбежно сталкивались со специфическими природно-климатическими и социально-бытовыми условиями целого ряда регионов [3, с. 17–18], одним из которых была Западная Сибирь. Как правило, в центре внимания исследователей были проектно-технические проблемы внедрения в Западной Сибири универсальных типовых серий [4]. Напротив, проблемы разработки в конце 1950–60-х гг. типовых проектов, отвечающих условиям Западной Сибири, не рассматривались на историко-архивном материале.

Материал исследования: документы Государственного архива Новосибирской области (ГАО), Новосибирского городского архива (НГА) и публикации того времени. Анализируются материалы творческих совещаний и дискуссий, результаты проектных и научных разработок конца 1950–60-х гг.

Методика исследования: сопоставительный анализ свидетельств первоисточников. Выявляются проблемы разработки типовых проектов для массового строительства, отвечающих условиям Западной Сибири.

Результаты

Проблемы типового проектирования в городах Западной Сибири конца 1950 – начала 1960-х гг. нельзя рассматривать в отрыве от предшествующих этапов типового проектирования, прежде всего от типового проектирования первой половины 1950-х гг. Уже в начале 1950-х гг. резко обозначилась проблема создания типовых проектов, отвечающих специфике природно-климатических условий Западной Сибири. В своих выступлениях 1951–1953 гг. архитекторы Б.А. Биткин (Новосибирск), П.И. Отурин (Сталинск), Е.А. Степанов (Омск) и др. неоднократно указывали, что основным затруднением при привязке типовых проектов была необходимость фактически полной, весьма утомительной, их переработки¹.

Это ненормальное положение было вызвано следующим. Во-первых, все типовые проекты жилых зданий, школ, клубов, столовых, детских учреждений

¹ Государственный архив Новосибирской области (ГАО). Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 104. Л. 17 об.–18 об.

и т. д. составлялись без учета особенностей их эксплуатации в сибирских условиях. В школах не было спортзалов, тогда как в Сибири занятия физкультурой на открытом воздухе зимой были ограничены. Детские сады и ясли проектировались с холодными верандами. Большие окна, решавшие проблему инсоляции, в условиях Сибири увеличивали теплопотери помещений зимой и их перегрев летом. В плавательном бассейне, который Московское отделение Гипрогора запроектировало в Сталинске, плоские крыши имели площадь более 1000 кв. м. Все это было совершенно неприемлемо в Сибири² [5, с. 35].

Во-вторых, типовые проекты не учитывали неразвитость местной строительной базы. Они содержали большое число типоразмеров элементов, отсутствовала гибкость в ориентации зданий и расположении несущего каркаса. В итоге, как подчеркивал Биткин, «путь освоения новой секции в наших условиях весьма длинен, и полная смена их – настоящая катастрофа для проектных организаций». В связи с этой проблемой главный архитектор Омска Е.А. Степанов и управляющий Новосибирским горпроектком И.И. Соколов-Добрев внесли новаторское по тем временам предложение «ограничить число серий типовых проектов домов в пределах города»: это позволило бы строителям и проектировщикам лучше приспособить их к местным условиям³.

Архитектурная реформа конца 1950 – начала 1960-х гг. не только не решила эту проблему, но и заострила ее. С одной стороны, в Западной Сибири были созданы крупные региональные проектные организации и научно-исследовательские институты экспериментального проектирования⁴. С другой стороны, реформа разорвала преемственность типового проектирования, лишив местных архитекторов возможности использовать накопленный опыт. Во-первых, вместо системы типовых секций, путем переработки которых ранее создавались типовые проекты и индивидуальные здания под конкретные условия, была внедрена система полностью готовых универсальных типовых проектов, изменять которые было уже нельзя [2]. С 1957 г. эти проекты «в обязательном порядке» распространялись и «рекомендовались» Госстроем СССР, а их число изначально было крайне ограниченным (как правило, серии 446-447)⁵. Во-вторых, вместо того чтобы опереться на специфику различных экономических районов (уже существующие там производственные базы и сырье)⁶, идеологи реформы пошли по пути тотальной унификации. Весь достаточно богатый ассортимент материалов, конструкций и методов индустриального домостроения был ограничен очень узкими рамками крупносерийного строительства [Там же], инфраструктуру для которого предстояло создавать с нуля.

В результате вместо проблемы адаптации типовых секций к местной специфике реформа создала две других: спускаемые сверху типовые проекты не отвечали местным условиям, а отвечающие этим условиям исчезли вместе с «обнулением» прежней проектно-строительной базы.

² ГАНО. Ф. Р-1444. Оп. 1. Д. 91. Л. 151, 155–156.

³ Там же. Л. 58, 60, 63–64, 152, 185; Д. 92. Л. 55–56.

⁴ В первой половине 1950-х гг. с их отсутствием связывались проблемы создания типовых проектов для местных условий.

⁵ ГАНО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 170. Л. 55.

⁶ Там же. Л. 57–58.

На творческом совещании по вопросу об индустриализации строительства и архитектурном творчестве в Новосибирске 28 июня и 2 июля 1957 г. говорилось о необходимости разработки для Сибири специальных типовых проектов, отвечающих местным условиям. Проектные организации Сибири «должны серьезно заняться этим вопросом, а не копировать слепо привносимые извне решения, мало здесь пригодные». Участники совещания считали, что это будет одним из важнейших направлений творческой работы архитекторов. Поэтому в новых условиях «типовой проект нужно рассматривать с точки зрения новых возможностей, которые дают нам новые экономические районы. Несомненно, что они открывают дорогу для проявления местной инициативы, для того, чтобы лучше отразить в типовых проектах жизнь, т. е. условия климата, природы, быта и т. д.»⁷.

В феврале 1958 г. на заседании по рассмотрению проекта планировки Академгородка СО АН СССР директор Новосибирского проекта, архитектор Б.Г. Сигал, говорил о «необходимости здесь, в Новосибирске, в Сибири, создания своих типовых проектов, чтобы эти проекты полностью удовлетворяли наши потребности и нашим климатическим условиям»⁸.

На конференции по вопросам строительства в Восточной Сибири в 1958 г. представители НИИ жилища Академии строительства и архитектуры СССР доказывали необходимость разработки особых типовых проектов жилых домов для массового строительства в различных районах Сибири. Последние имели настолько своеобразные природно-климатические условия, что «возможности учета местной специфики и улучшения конструкций лишь в порядке приспособления («привязки») типовых проектов, разработанных для центральных районов Союза, весьма ограничены» [6, с. 46, 61].

Задача была поставлена. Как она решалась? Из материалов конца 1950–60-х гг. наибольшее значение для понимания проблем создания типовых проектов, отвечающих условиям Западной Сибири, имеют исследования архитекторов Сибирского зонального научно-исследовательского института экспериментального проектирования (СибЗНИИЭП), а также работавших в Новосибирском инженерно-строительном институте (НИСИ) им. В.В. Куйбышева архитекторов Е.А. Леонтьева и Н.Ф. Храненко.

Леонтьев изучал несоответствие типовых проектов жилых домов с малометражными квартирами, разработанных на основе конкурсных решений 1956 г. и утвержденных в 1957 г., сибирским природно-климатическим условиям. Результаты исследований и свои предложения Леонтьев докладывал 28 июня и 2 июля 1957 г. на творческом совещании по вопросу об индустриализации строительства и архитектурном творчестве и 28 января 1958 г. на IV пленуме правления Союза советских архитекторов в Новосибирске.

Храненко изучал вопросы региональной специфики в течение многолетней практики и собирал материал по «наиболее интересным в архитектурном отношении зданиям прежних лет застройки г. Новосибирска». В 1958–1974 гг. он дополнил эти сведения натурными обследованиями условий заселения

⁷ ГАНО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 156. Л. 150.

⁸ Новосибирский городской архив (НГА). Ф. 584. Оп. 1. Д. 102. Л. 96–97.

и эксплуатации современных квартир в Новосибирске и разработал ряд экспериментальных проектов. Исследования проводились в составе бригады кафедры архитектуры гражданских зданий НИСИ им. В.В. Куйбышева, городской санитарно-эпидемиологической станции и научного отдела СибЗНИИЭПа [7, с. 4–5; 8, с. 121, 124].

Особое место занимают работы СибЗНИИЭПа, созданного на базе Западно-сибирского филиала Академии строительства и архитектуры (АСиА) СССР в начале 1960-х гг. Во-первых, уже по роду своей деятельности СибЗНИИЭП работал на региональном уровне, охватывая огромную территорию Западной и Восточной Сибири, включавшую различные климатические подрайоны. Во-вторых, в отличие от гражданских проектов отдельных городов (Новосибирска, Омска и др.), СибЗНИИЭП имел крупный научный сектор и экспериментальный зал для испытания архитектурно-строительных конструкций и материалов. Благодаря этому СибЗНИИЭП располагал важнейшим обследовательским материалом, мог анализировать его на научной основе и разрабатывать проектные решения, имевшие выход в производство.

Все исследования свидетельствовали о несоответствии внедрившихся с конца 1950-х гг. универсальных типовых проектов местным природно-климатическим и социально-экономическим условиям.

Первая группа проблем была связана с тем, что физиологический минимум этих универсальных типовых проектов не обеспечивал физиологический минимум, необходимый для проживания в экстремальных условиях Западной Сибири.

Одним из первых на эту проблему обратил внимание архитектор Леонтьев. Он исходил из того, что в типовом проектировании важно не только поселенческое заселение квартир, но и создание в квартирах благоприятных санитарно-гигиенических и бытовых условий. Между тем утвержденные в 1957 г. типовые проекты на основе 4-квартирных секций «не обеспечивают создания в квартирах нормального микроклимата». Причина – «прямая зависимость климата жилища от метеорологических явлений Сибири», которые «резко отличаются не только от южных районов, но и от второго климатического пояса». Продолжительная зима, а также резкие перепады температур в течение года (от -49°C зимой до $+39^{\circ}\text{C}$ летом) и отдельных сезонов вели к тому, что в Западной Сибири «человек проводит большую часть времени в своем жилище». А «при таких условиях проживание семьи из 3–4 человек в однокомнатной квартире становится нетерпимым» из-за «скученности заселения», поскольку в сибирских условиях «однокомнатные квартиры приемлемы только для семей из 2 человек». Леонтьев считал, что «плотность заселения квартир в Сибири должна быть меньшей, чем в районах с более мягким климатом», и предлагал пересмотреть установленные типовыми решениями 1957 г. соотношения квартир и принципы их заселения. Увеличить долю 2-комнатных (для семей из 3–4 чел.) и 3-комнатных (для семей из 4–6 чел.) квартир, ввести 4-комнатные (семьи из 7 чел.) и сократить долю однокомнатных квартир (для семей из 2 чел.) и домов коридорного типа (для одиноких)⁹.

Исследования Храненко углубили понимание проблемы, установив связь между спецификой внешней среды и характером использования внут-

⁹ ГАНО. Ф. Р-1444. Оп. 1. Д. 170. Л. 78–80, 81, 82; Д. 156. Л. 105–107.

ренного пространства квартиры. Как и Леонтьев, Храненко подчеркивал, что, «по данным социологов и гигиенистов, в неблагоприятных условиях Сибири человек проводит в стенах квартиры значительно больше времени, чем в других районах Союза с более мягким климатом». Главным фактором микроклимата квартиры Храненко считал «воздушный куб», приходящийся в час на одного жильца. Исследования выявили, что на практике воздушный куб квартир даже при нормативном заселении, в котором не учитывались грудные дети, домашние животные и т. д. (не говоря уже об уплотненных жилищах), был недостаточен. В результате недостаток воздуха «вызывает значительные неудобства проживания, в особенности в ночные часы» [7, с. 3, 7; 8, с. 121].

Причина: в Западной Сибири население не только проводило больше времени в жилище, но и нуждалось в куда большем числе предметов быта и запасов продовольствия, что прямо программировало использование пространства типовой квартиры не по назначению, сопровождавшееся его загромождением и еще большим сокращением «воздушного куба».

В городах средней полосы России население приобретало и хранило в квартирах скоропортящиеся продукты и пищу из расчета двухдневного их потребления. Напротив, в условиях более сурового климата Западной Сибири «население зимой стремится приобрести и хранить скоропортящиеся продукты в среднем из расчета одно-двухнедельного потребления, что значительно осложняется ввиду недостатка оборудованных мест в квартире для хранения их». К этому необходимо добавить «десятки килограммов» запасаемых в квартирах на зиму солений, варений, сухих продуктов и т. п. При отсутствии мест хранения и вентиляции это было трудноразрешимой проблемой. Создание крупных запасов вызывалось низкими нормами снабжения, редкостью культурно-бытовой сети и удаленностью ее объектов от жилищ, а последнее обстоятельство усугублялось доминированием пешеходного сообщения и суровыми климатическими условиями Сибири [8, с. 123–124].

Кроме того, по количеству зимней одежды, обуви и ряда предметов бытового обслуживания жители Западной Сибири значительно превышают его количество у населения регионов с умеренным климатом. Так, «в осенне-зимний период, вследствие больших суточных перепадов положительных и отрицательных температур, население вынуждено одновременно держать наготове в передних повседневную верхнюю одежду и обувь как зимнего, так и демисезонного назначения, что требует увеличенного по ширине фронта хранения». Между тем типовые проекты не предусматривали места для хранения даже повсеместно используемых предметов домашнего обихода: стиральных машин, чемоданов, детских колясок, велосипедов и т. д. [7, с. 22–23; 8, с. 123].

Поэтому Храненко считал, что с учетом экстремальных природных условий средней полосы Сибири в зимнее время «необходимо приравнять ее к районам Крайнего Севера и поднять внутреннюю высоту жилых помещений с 2,5 до 2,7 м» [7, с. 10–12, 25–27; 8, с. 122–123].

Вторая группа проблем была связана с тем, что, как показали исследования, в Западной Сибири важнейшую охлаждающую роль играли не только сезонные изменения температуры, но и господствующие юго-западные ветры. В зимний период они достигали наибольшей силы и сопровождались обильны-

ми снегопадами. Из-за ветров и яркого западносибирского солнца наиболее инсолируемое юго-западное направление было наименее благоприятным как в зимний, так и в летний периоды [7, с. 25–26; 9, с. 277; 10, с. 3–4, 27–29, 35–36]. Наиболее резко этот фактор проявлялся при меридиональной расстановке зданий и односторонней ориентации квартир. Квартиры, расположенные со стороны господствующих ветров, сильно переохлаждались в зимний период и перегревались в летний. При этом разница температур в квартирах односторонней ориентации наветренной и подветренной сторон доходила до 8–8,5 °С, тогда как в противоположных комнатах двухсторонних квартир не превышала 2 °С¹⁰ [7, с. 8; 8, с. 120–121].

Леонтьев был сторонником выравнивания микроклимата и температур путем интенсивного воздухообмена – сквозного проветривания. Поэтому он считал, что приемлемая для условий Западной Сибири квартира должна иметь двухстороннюю ориентацию и включать в себя не менее двух жилых комнат, т. к. «на микроклимате этих квартир меньше всего отражаются резкие перемены температур наружного воздуха, частые ветра и интенсивная солнечная радиация». Соответственно, необходимо применять секции с поперечными несущими стенами, скомпонованные из двух двухсторонних 2–3-комнатных малоэтажных квартир. Напротив, «возможность применения в Сибири 4-квартирных секций исключается, т. к. в них не менее половины квартир имеют одностороннюю ориентацию»¹¹.

Иначе подходил к проблемам сквозного проветривания и инсоляции Храненко, считавший, что их нельзя рассматривать в отрыве от фактора самодетальности населения по адаптации жилища к местным условиям. Зимой население стремилось максимально изолировать жилище от внешней среды, «включая ограничение средств естественной вентиляции», и при этом большую часть времени проводило в стенах квартиры. В результате вентиляция через форточки и неплотности притворов (ввиду заделки окон) была затруднена и обеспеченность воздухом при недостаточной кубатуре помещений была «явно недостаточна» [7, с. 9, 25; 8, с. 121].

В связи с проблемой воздухообмена и необходимостью выравнивания температуры путем улучшения воздухообмена как внутри квартиры, так и с внешней воздушной средой, Храненко вспоминал западносибирский опыт проектирования кооперативных жилых домов в 1920–30-х гг., где жилые комнаты квартир односторонней ориентации имели вытяжные вентиляционные каналы. Как отмечал Храненко, «к сожалению, позднее этот прием был незаслуженно забыт» [7, с. 15; 8, с. 122].

Вынужденная «самодетальность» населения в дооборудовании мест хранения в квартирах вела к загромождению внутриквартирного пространства и лестничных площадок разного рода шкафами, полками, ларями и т. п., что отражалось на внешней архитектуре зданий. Все фасады новых зданий были изменены самодельным «оборудованием» из подручных разнохарактерных материалов. В крупнопанельных домах в окнах кухонь встраивались выступающие

¹⁰ ГАНО. Ф. Р-1444. Оп. 1. Д. 170. Л. 79–80.

¹¹ Там же. Д. 156. Л. 105–106, 107; Д. 170. Л. 80, 83.

наружу и «уродующие фасады» холодильные металлические ящики (на отдельных домах Храненко зафиксировал до 55 % таких квартир). Балконы и лоджии также использовались не по назначению – как кладовые – для хранения различных домашних вещей и в зимнее время – продовольствия. С этой целью население самостоятельно экранировало открытые ограждения и остекляло балконы и лоджии (от 34 до 94 % обследованных квартир) [7, с. 23–24; 8, с. 123–124, 125].

В связи с тем, что застекление балконов и лоджий значительно снижало освещение и инсоляцию смежных помещений, Храненко предлагал прием частичной сдвижки балконов на простенки между окнами и изменение формы балконных плит (скашивание сторон). Он считал, что «такой прием расширяет палитру архитектора в композиционном решении фасадов жилых домов» [7, с. 24, рис. 3].

13–16 февраля 1962 г. в Новосибирском отделении Союза советских архитекторов (на секции жилищного строительства) прошла творческая дискуссия, посвященная принципам проектирования массового типового жилища в природно-климатических условиях центральной зоны Сибири. Основная дискуссия развернулась между архитекторами Е.А. Леонтьевым и Г.Ф. Кравцовым, руководителем сектора жилых и общественных зданий Западносибирского филиала АСиА СССР. Как отмечалось в принятом решении, «в связи с различными точками зрения дискуссия была оживленной и интересной»¹².

Леонтьев собрал и обработал большой материал по температурно-влажностному, ветровому и солярому факторам климата центральной зоны Сибири¹³. Он отстаивал двухстороннюю ориентацию квартир с числом жилых комнат от двух и больше, небольшую глубину последних и освещение естественным светом кухонь, лестниц и др.¹⁴.

Кравцов в отличие от Леонтьева считал, что наряду с природно-климатическими факторами не меньшее значение имеет учет местной строительной базы (номенклатуры изделий действующей и развивающейся строительной индустрии), а также особенностей функционирования зданий в сибирских условиях (теплопотери и т. д.). Поэтому в экспериментальные проекты, разработанные под руководством Кравцова в 1957–1961 гг. в секторе жилых и общественных зданий Западносибирского филиала АСиА, были «заложены несколько иные принципы», чем у Леонтьева (табл. 1). Эти секции имели большую ширину (до 15 м), а комнаты – большую глубину (до 6,0 м). Глубина жилых комнат проектировалась «в соответствии с СНиПом и номенклатурой изделий заводов крупнопанельного домостроения». В проектах меридиональных домов квартиры имели одностороннюю ориентацию, т. к. проектировщики АСиА считали, что сквозное проветривание квартир «не является специфическим требованием сурового климата Сибири»¹⁵.

Участовавшие в совещании врачи-гигиенисты в целом поддержали двухстороннюю ориентацию квартир, которая обеспечивала выравнивание температур между помещениями разной ориентации. Однако и они, ссылаясь на данные

¹² ГАНО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 233. Л. 8.

¹³ Там же. Л. 7.

¹⁴ Там же. Л. 4.

¹⁵ Там же. Л. 9, 4, 8.

обследования жилых домов с комнатами незначительной глубины, говорили о том, что у малой глубины комнат (при равной площади остекления) есть своя оборотная сторона: быстрое переохлаждение зимой и перегрев летом¹⁶.

Таблица 1

Различия во взглядах на оптимальную для условий Сибири типовую секцию архитекторов Е.А. Леонтьева и Г.Ф. Кравцова (февраль 1962 г.)¹⁷

Требования к массовому жилищному строительству	Е.А. Леонтьев	Г.Ф. Кравцов
1. Ориентация квартир только двухсторонняя со сквозным проветриванием (двухквартирные секции)	+	–
2. Освещение лестниц и кухонь только первым светом	+	–
3. Глубина жилых комнат, м (при внутренней высоте 2,5 м)	4,2 (не более)	6,0; 5,6; 5,2
4. Ширина корпуса жилого дома, м	9,0	13,5–15,0

Архитекторы СибЗНИИЭПа оставались противниками сквозного проветривания и в дальнейшем. В 1960–70-х гг. директор института Ю.М. Кузин, анализируя опыт эксплуатации типовых зданий, указывал, что жесткие требования СНиПа по инсоляции и обязательному сквозному проветриванию групповых ячеек детских учреждений «вошли в явное противоречие с требованиями сокращения теплопотерь зданий в условиях Сибири». Созданные по этим нормам типовые детские учреждения отличались некомпактностью, разбросанностью планов, состояли из множества блоков, примыкающих друг к другу соединительными вставками, и имели (опять-таки по СНиПу) большие площади остекления. Чрезвычайная сложность и изрезанность планов зданий, а также закутки в изломах наружных стен более соответствовали условиям южных районов страны. В результате в Западной Сибири «требование сквозного проветривания в конечном итоге оборачивается постоянным сквозняком и источником нескончаемых простудных заболеваний». Кроме того, в суровых сибирских условиях с обильными снегопадами и частыми холодными ветрами такие планировочные решения давали дополнительные потери 15–20 % тепла (поскольку «каждый наружный и внутренний угол имеют двойные потери тепла по сравнению с рядовыми участками стен») и создавали множество снеговых мешков с «трудноубираемыми скопищами снега». По этим же причинам Кузин возражал и против применения в Сибири планировочных схем с внутренними замкнутыми пространствами, т. к. «сам по себе замкнутый внутренний дворик является противоестественным для климатических условий снегообильной Сибири». Критиковались и нормы инсоляции общественно-куль-

¹⁶ ГАНО. Ф.Р-1444. Оп. 1. Д. 233. Л. 11–12, 13.

¹⁷ Там же. Л. 7–8.

турных учреждений, когда здания должны были иметь большие площади остекления – часто огромные витражи. Кузин подчеркивал – виновны не архитекторы-проектировщики: «секрет кроется в нормах» [11, с. 47–48, 49].

В типовом проектировании конца 1950–70-х гг. доминировал универсальный подход, который проводился в жизнь центральными инстанциями и проектными институтами. Этот подход основывался на универсальных же принципах проектирования: инсоляции и температурном режиме. По этим критериям, на основе усредненных показателей, территория СССР была тщательно разделена на множество климатических подрайонов. Для каждого из них назначались свои серии типовых проектов. При этом различия между проектами состояли, прежде всего, в инженерно-технических параметрах: ориентации и высоте помещений, толщине стен, мощности отопительных систем и т. д. [7, с. 3, 9, 11, 15–19; 9, с. 277; 11, с. 47, 49]. Этот универсальный, почти механистический, подход был удобен с точки зрения централизованного управления проектно-строительным делом в масштабе всей страны.

Архитекторы Западносибирского филиала АСиА и затем СибЗНИИЭПа оспаривали такой умозрительный подход и доказывали, что он вступает в противоречие с реальными условиями Западной Сибири. Еще в конце 1950-х гг. они обратили внимание на то, что «опыт проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений в Сибири показывает односторонность норм СНиПа и ПиНа в отношении учета климатических факторов», т. к. в типовых проектах «за исключением инсоляции совершенно игнорируются другие ведущие климатические факторы» региона. Такими факторами в Западной Сибири являются резкие сезонные колебания температуры и инсоляции, сильнейшие юго-западные ветры в зимний период и обилие света с того же, юго-западного направления – в летний [9, с. 277].

Постепенно накапливаемый опыт экспериментального проектирования и изучения специфики природно-климатических и строительных условий региона закономерно вел проектировщиков СибЗНИИЭПа к разработке принципов типового проектирования для условий Западной Сибири и типовых проектов, максимально отвечающих этим условиям.

К середине 1960-х гг. проектировщики СибЗНИИЭПа вышли на крайне нестандартный подход к типовому проектированию и крупнопанельному домостроению, наиболее полно озвученный директором института Ю.М. Кузиным [11]. Он предложил новые принципы районирования Сибири. Механистическое деление территории страны центральными инстанциями на климатические подрайоны по формальным критериям (температура и т. д.) вело к «регионализму» типовых проектов на уровне инженерно-конструктивных решений, но не архитектуры. В результате универсальный подход не только не содержал потенциала для объединения и без того разрозненных сил местных проектировщиков и строителей, но, напротив, программировал их дальнейшее дробление. Между тем, как указывал Кузин, «огромные резервы экономии денежных средств и трудовых ресурсов страны» кроются не в тщательной дифференциации климатических подрайонов на основе усредненных показателей, а в выявлении сходства между ними с точки зрения лимитирующих климатических факторов. Так, «огромная часть подрайонов 1В, такая как Западная и Восточная

Сибирь, по температурным характеристикам зимних периодов не так уж значительно отличается от многих подрайонов северной зоны» [11, с. 49]. Исходя из этого, Кузин выступал за унификацию высот жилых помещений в домах для Севера и Сибири (до 3,0 м). Он считал, что «установление единой высоты в сибирской и северной зонах имеет огромное значение для совершенствования строительных баз». Прежде всего, для межсерийной унификации элементов и изделий жилых домов, обеспечения гибкости строительных баз и многовариантности архитектурных решений зданий и т. д. [Там же, с. 48–49].

Таким образом, отстаиваемая архитекторами СибЗНИИЭПа идея районирования на основе выявления в смежных районах Сибири общих, ведущих по значению, природно-климатических факторов была «идеей объединения». Этот подход позволял, с одной стороны, разрабатывать типовые проекты под ведущие природно-климатические факторы, а с другой стороны, сулил немалые экономические выгоды, позволяя кооперировать ресурсы проектировщиков и строителей. По сути, СибЗНИИЭП на новой основе пришел к идее типового проектирования, предложенной западносибирскими архитекторами еще в начале 1950-х гг.: «один город (или даже регион) – одна серия».

Универсальный же подход, напротив, опирался на типовые проекты «однодневки» и предполагал их непрерывную смену: создание все новых, еще более разнообразных, типов секций и, соответственно, дальнейшее дробление сил проектных и строительных организаций. Однако для Западной Сибири были характерны острый дефицит вложений в гражданское строительство и крайняя неразвитость проектно-строительной базы. Соответственно, было актуально не разделение, а наоборот, объединение наличных ресурсов. Поэтому архитекторы СибЗНИИЭПа предлагали, во-первых, максимально сократить число типов секций для Западной Сибири (в идеале – до одной в каждом городе) и, во-вторых, брать за основу «долгоиграющие», «на вырост» типы секций, которые бы имели конструктивный потенциал для долговременной модернизации и адаптации к западносибирским условиям.

Кузин не сомневался в профессиональных возможностях архитекторов и не считал ограничительным фактором взаимопонимание архитекторов и заводчан-домостроителей. По его мнению, «основной секрет ликвидации “безликости и однообразия” полносборных жилых домов заключается в правильности развития базы домостроения, в понимании архитекторами возможностей базы как инструмента в решении архитектурных задач» [Там же, с. 42–43].

Кузин задавал риторический вопрос: «Можно ли получить нужное разнообразие из 5–6 блок-секций, в которых к тому же не добавишь новых изделий для изменения архитектурного решения фасадов?» [Там же, с. 44]. Поэтому он призывал не «удивляться и возмущаться «серостью, однообразием и безликостью» застройки» и «искать виновных в лице архитекторов», а подойти к вопросу с научной точки зрения [Там же, с. 46].

Кузин считал, что внешний облик жилых домов и блок-секций определяется не конструктивными узлами и планировочными схемами, а «разнообразием решений наружных стен и [элементов] “добора”, то есть парапетов, ограждений, лоджий и балконов, козырьков входа и т. д.» [11, с. 43].

Он обосновывал это положение следующими расчетами. При фиксированной мощности домостроительных комбинатов каждый из них мог выпускать «лишь 5–6 блок-секций жилых домов одной этажности». Это означало производство 350–450 марок изделий, из которых доля марок изделий наружных стен и «добора» составляла около 30–35 %. Ввести новые марки изделий архитектурного «убранства» при фиксированной мощности домостроительных предприятий «не так просто, а зачастую и невозможно». Кроме того, «на заводе малой мощности нельзя освоить, параллельно с основными блок-секциями жилых домов, другие типы зданий: общежития, дома малосемейных, поворотные блок-секции под разными углами, блок-секции трилистники, блок-секции для сложного рельефа, блок-секции и дома со встроенно-пристроенными магазинами и предприятиями культбыта и т. д.» [Там же, с. 43–44].

Поэтому, как ни парадоксально, если каждый домостроительный комбинат в городе будет производить свою серию, то фактически произойдет не обогащение, а обеднение архитектурной среды. Ведь «между собой дома из этих блок-секций не состыкуешь», а при ограниченной доле «доборных» элементов «город будет застраиваться опять однотипными домами разной этажности». Соответственно, Кузин отстаивал перевод домостроительных комбинатов города на производство одной серии – с целью их кооперации и подетальной специализации. В этом случае общее количество основных марок изделий возрастало примерно до 900–1000 единиц. А мощность для выпуска «доборных» изделий, «при помощи которых можно добиться желаемого разнообразия в решении фасадов», возрастала более чем в два раза, до 300–400 единиц [Там же, с. 44] (табл. 2).

Таблица 2

**Преимущества перехода домостроительных комбинатов (ДСК)
каждого города на производство одной серии, по Ю.М. Кузину
(СибЗНИИЭП)**

Принципы производства	Производство основных марок изделий, ед.	
	Всего	Наружных стен и «добора»
1. Один ДСК производит одну серию	450	200
2. Два ДСК производят одну серию	1000	400

Кузин указывал и на другие преимущества производства одной серии. Во-первых, «взаимная «сопрягаемость» многочисленных блок-секций и жилых домов обеспечивает положительное решение вопросов градостроительной маневренности». Во-вторых, это позволяет «по существу выйти на индивидуальное домостроение с учетом всех требований данного региона – архитектурных, климатических, демографических и др. В этом случае архитектор может управлять архитектурой, а не идти на поводу у заводского конвейера» [Там же, с. 44].

Итак, подход Кузина и СибЗНИИЭПа основывался на том, что при индустриальном домостроении важнейшим условием качественного улучшения архитектуры является максимальная концентрация заводских мощностей го-

рода или даже региона на производстве «только одной какой-либо секции». Поэтому Кузин сожалел о том, что «часть архитекторов и до сих пор ратует за создание множества серий жилых домов в своих городах», а внедрение в Омске и Красноярске сразу двух серий считал серьезной ошибкой¹⁸ [11, с. 43, 45].

Не менее важным было и то, что освоение одной серии позволяло проектировщикам планомерно совершенствовать методику проектирования. Кузин приводил пример СибЗНИИЭПа, который отработывал новую методику проектирования серии 97 на основе полублок-секций. Полублок-секционный метод обеспечивал более 100 комбинационных вариантов архитектурно-планировочного решения. В результате «можно проектировать сложнейшие жилые комплексы, разнообразные по набору квартир, по очертаниям в плане, по пластическому решению фасадов, по сочетаниям различных высотностей отдельных частей дома» [Там же, с. 44–45].

97-я серия крупнопанельных жилых домов, разработанная СибЗНИИЭП к 1971 г., стала доказательством правоты и продуктивности нового подхода к массовому типовому проектированию для местных условий. Благодаря модернизационному потенциалу эта серия сих пор успешно применяется в целом ряде городов Западной и Восточной Сибири: в Омске, Новосибирске, Красноярске и др. Вместе с тем очевидно, что разработка серьезной, научно обоснованной методики типового проектирования и новой серии потребовала значительного времени (около десяти лет). Сопоставимое время ушло на внедрение серии. Прежде всего, серия успешно внедрялась на вновь создаваемых домостроительных комбинатах. Напротив, на уже существующих домостроительных комбинатах внедрение новой серии шло с большими трудностями, т. к. требовало серьезной модернизации производства. Из-за этого 97-я серия первоначально была освоена в Красноярске, тогда как в Новосибирске, в котором находился СибЗНИИЭП, она была внедрена только в 1980-х гг. – почти два десятилетия спустя после начала реформы.

Заключение

Таким образом, архитектурная реформа не только не разрешила ряд важнейших проблем типового проектирования, которые обозначились в Западной Сибири еще в начале 1950-х гг., но и породила новые. Важнейшими из них были следующие.

1. Разрыв преемственности, инициированный реформой, отбросил архитектурную мысль Западной Сибири назад, заставив западносибирских архитекторов все начинать сначала. Вместо того чтобы использовать уже накопленный опыт и сразу же проектировать жилье для местных условий, местные проектные организации были вынуждены сначала получать новый опыт – на совершенно новой проектно-строительной базе. О том, насколько неблагоприятным был этот труд, свидетельствует то, что к началу 1970-х гг. западносибирские архитекторы вышли на идеи типового проектирования, которые были очевидны их предшественникам еще в начале 1950-х гг.

¹⁸ Несмотря на освоение в Омске 90-й серии, а в Красноярске 97-й, в обоих городах пытались внедрить еще и новую, 137-ю серию [11, с. 43].

2. Универсальные общесоюзные принципы типового проектирования, основанные на универсальных же критериях и формально-количественных показателях, не позволяли учитывать ведущие природно-климатические и социально-бытовые факторы Западной Сибири и заостряли их неблагоприятное воздействие. Местные проектные организации были вынуждены разрабатывать принципы типового проектирования для сибирских условий самостоятельно, фактически вопреки основным, унификаторским, тенденциям реформы: выявлять лимитирующие факторы и увязывать свои проекты с условиями региона и новой домостроительной базой.

В этих условиях разработка типовых проектов, отвечающих условиям Западной Сибири, шла вдогонку реальному строительству и затянулась до начала 1970-х гг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Меерович М.Г.* От коммунального – к индивидуальному: неизученные страницы жилищной реформы Н.С. Хрущева // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2016. № 2. С. 28–33.
2. *Хан-Магомедов С.О.* Хрущевский утилитаризм: плюсы и минусы. URL: <http://niitiag.ru/publications/biblio/52-hrushevskiy-utilitarizmplyusy-i-minusy.html> (дата обращения: 20.12.2015).
3. *Косенкова Ю.Л.* Советская архитектура в поисках средств создания благоприятной среды // *Academia. Архитектура и строительство.* 2009. № 5. С. 15–19.
4. *Хиценко Е.В.* Проблемы перехода на типовое проектирование в Западной Сибири в середине 1950-х годов // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета.* 2014. № 3. С. 60–67.
5. *Конференция строителей и архитекторов г. Сталинска* // *Архитектура СССР.* 1953. № 5. С. 35–36.
6. *Гельберг А.А., Кореньков В.Е., Шеренцис А.А.* Особенности типизации жилищного строительства в Восточной Сибири // *Вопросы районной планировки, застройки и типизации жилищного и промышленного строительства в Восточной Сибири.* Москва : Изд-во АН СССР, 1958. С. 36–61.
7. *Храненко Н.Ф.* Городская квартира в условиях центральной зоны Сибири (На примере г. Новосибирска) : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата архитектуры. Новосибирск : НИСИ им. В.В. Куйбышева, 1970. 28 с.
8. *Храненко Н.Ф.* Доклад // Роль архитекторов в формировании жилой среды городов Сибири и Дальнего Востока : VIII Пленум Правления СА СССР, Красноярск, 7–8 июня 1979 г. / отв. ред. И.В. Шишкина. Москва : Б. и., 1980. С. 120–125.
9. *Планировка и застройка жилых районов и микрорайонов* в городах Кузбасса / под общ. ред. В.И. Зарецкого. Новосибирск : Б. и., 1961. 438 с.
10. *Пивкин В.М.* Архитектурно-планировочная организация застройки в условиях Сибири (Науч.-техн. обзор). Москва : Центр науч.-техн. информации по гражд. строительству и архитектуре, 1967. 98 с.
11. *Кузин Ю.М.* Доклад // Роль архитекторов в формировании жилой среды городов Сибири и Дальнего Востока: VIII Пленум Правления СА СССР, Красноярск, 7–8 июня 1979 г. / отв. ред. И.В. Шишкина. Москва : Б. и., 1980. С. 42–49.

REFERENCES

1. *Meerovich M.G.* Ot kommunal'nogo – k individual'nomu: neizuchennye stranitsy zhilishchnoi reformy N.S. Khrushcheva [From collective to individual: unexplored pages of Khrushchev's housing reform]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building.* 2016. No. 2. Pp. 28–33. (rus)

2. *Khan-Magomedov S.O.* Khrushchevskii utilitarizm: plyusy i minusy [Khrushchev's utilitarianism: advantages and disadvantages]. Available: <http://niitiag.ru/publications/biblio/52-hrushevskiy-utilitarizm-plyusy-i-minusy.html/> (accessed December, 2015). (rus)
3. *Kosenkova Yu.L.* Sovetskaya arkhitektura v poiskakh sredstv sozdaniya blagopriyatnoi sredy [Soviet architecture in search for means to create a favorable environment]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2009. No. 5. Pp. 15–19. (rus)
4. *Khitsenko E.V.* Problemy perekhoda na tipovoe proektirovanie v Zapadnoi Sibiri v seredine 1950-kh godov [Problems of transition to standardized design in West Siberia in the mid of 1950s]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2014. No. 3. Pp. 60–67. (rus)
5. Konferentsiya stroitelei i arkhitektorov g. Stalinska [Conference of builders and architects of the Stalinsk city]. *Arkhitektura SSSR*. 1953. No. 5. Pp. 35–36. (rus)
6. *Gel'berg A.A., Koren'kov V.E., Sherentsis A.A.* Osobennosti tipizatsii zhilishchnogo stroitel'stva v Vostochnoi Sibiri [Standardizing of housing construction in East Siberia]. In: *Voprosy raionnoi planirovki, zastroiki i tipizatsii zhilishchnogo i promyshlennogo stroitel'stva v Vostochnoi Sibiri* [Issues of regional planning, development and standardizing of housing and industrial construction in East Siberia]. Moscow: Izd. AN SSSR, 1958. Pp. 36–61. (rus)
7. *Khranenko N.F.* Gorodskaya kvartira v usloviyakh tsentral'noi zony Sibiri (na primere g. Novosibirsk) [Urban apartment in the centre of Siberia (the Novosibirsk case studies)]. PhD Abstract]. Novosibirsk, 1970. 28 p. (rus)
8. *Khranenko N.F.* Rol' arkhitektorov v formirovanii zhiloi sredy gorodov Sibiri i Dal'nego Vostoka: VIII Plenum Pravleniya SA SSSR, Krasnoyarsk, 7–8 iyunya 1979 g. [The role of architects in the formation of residential environment in Siberia and the Far East]. In: VIII Plenum Pravleniya SA SSSR, Krasnoyarsk, 7–8 iyunya 1979 [The 8th Plenum of the Union of Architects of the USSR, Krasnoyarsk, June 7–8, 1979]. I.V. Shishkina, ed. Moscow, 1980. Pp. 120–125. (rus)
9. *Zaretskii V.I. (Ed.)* Planirovka i zastroika zhilykh raionov i mikroraionov v gorodakh Kuzbassa [Planning and development of residential areas and micro-districts in Kuzbass]. Novosibirsk, 1961. 438 p. (rus)
10. *Pivkin V.M.* Arkhitekturno-planirovochnaya organizatsiya zastroiki v usloviyakh Sibiri [Architectural and planning organization in the conditions of Siberia. A review]. Moscow, 1967. 98 p. (rus)
11. *Kuzin Yu.M.* Rol' arkhitektorov v formirovanii zhiloi sredy gorodov Sibiri i Dal'nego Vostoka: VIII Plenum Pravleniya SA SSSR, Krasnoyarsk, 7–8 iyunya 1979 g. [The role of architects in the formation of residential environment in Siberia and the Far East]. In: VIII Plenum Pravleniya SA SSSR, Krasnoyarsk, 7–8 iyunya 1979 [The 8th Plenum of the Union of Architects of the USSR, Krasnoyarsk, June 7–8, 1979]. I.V. Shishkina, ed. Moscow, 1980. Pp. 42–49. (rus)

Сведения об авторе

Духанов Сергей Сергеевич, канд. архитектуры, Филиал ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» Научно-исследовательский институт теории и истории архитектуры и градостроительства, 111024, г. Москва, ул. Душинская, 9, ssd613@ngs.ru

Author Details

Sergei S. Dukhanov, PhD, A/Professor, Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning, 9, Dushinskaya, 111024, Moscow, Russia, ssd613@ngs.ru

УДК 625.42:75.052

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-34-49

*А.В. КИНШТ, А.А. ШАМЕЦ,
Новосибирский государственный университет
архитектуры, дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова*

КУЛЬТУРНО-ЭСТЕТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ СОВЕТСКОГО И РОССИЙСКОГО МЕТРО

Рассматривается культурно-эстетическая функция в создаваемом закрытом пространстве большого объема – метро, где наиболее ярко проявляется потребность в разнообразии среды, в том числе эстетическом. Разнообразие метро рассматривается как необходимая социально-экономическая функция.

Разнообразие метро реализуется за счет применения культурно-эстетических приемов, отражающих историю, культуру. Такие приемы резкого расширения разнообразия были впервые применены при проектировании и строительстве Московского метро.

Развитие такого опыта анализируется на примерах архитектуры Московского и Новосибирского метрополитенов: показано, что рассматриваемая функция остается неизменной, несмотря на смену стилей в архитектуре и искусстве, и соответствует им. Со временем такие приемы расширяются: помимо фундаментальных, заложенных в архитектурном проекте станции, появляются временные экспозиции, которые отражают культуру и историю метро и города. Все это способствует развитию разнообразия окружающей среды в метро, поддержания благоприятного состояния общества и культурного воспитания. В том числе это работает на развитие туристического потенциала города и информации о городе в целом. Поэтому эстетическое разнообразие можно считать важной самостоятельной функцией огромного закрытого антропогенного пространства – метро.

Ключевые слова: функции окружающей среды; культурно-эстетическая функция; закрытое пространство; функции метро; фундаментальные аспекты эстетической функции; временные аспекты эстетической функции.

Для цитирования: Киншт А.В., Шамец А.А. Культурно-эстетическая функция советского и российского метро // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 34–49.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-34-49

*A.V. KINSHT, A.A. SHAMETS,
Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and Arts*

CULTURAL AND AESTHETIC FUNCTIONS OF SOVIET AND RUSSIAN METRO

The article examines the cultural and aesthetic function in the large closed space, namely the metro, where the need for variety, including aesthetic, is most clearly manifested. The metro diversity is a necessary socio-economic function.

The metro variety is realized through the use of cultural and aesthetic functions that reflect the history and culture. A dramatic expansion of diversity were first used in the design and construction of the Moscow metro.

Such an experience is analyzed using the architecture of the Moscow and Novosibirsk subways. It is shown that the cultural and aesthetic functions remain unchanged despite the change in architectural styles. Over time, the development of such techniques is observed. In addition to the fundamental techniques, which underlie the architectural design of stations, temporary exhibitions appear that reflect the culture and history of the metro and the city. All

this contributes to the diversity of the metro environment and maintains the favorable conditions for the society and culture. In particular, the tourist potential and information about the city are being developed. Therefore, the aesthetic diversity can be considered as an important function of the metro.

Keywords: environmental functions; cultural and aesthetic function; closed space; metro functions; fundamental aspects; temporal aspects.

For citation: Kinsht A.V., Shamets A.A. Kul'turno-esteticheskaya funktsiya sovetского i rossiiskogo metro [Cultural and aesthetic functions of Soviet and Russian metro]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 34–49. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-34-49

Актуальность: преобразование и создание новой среды предполагает сохранение разнообразия, которое существенно влияет на восприятие окружающей среды и воздействует на человека. При этом эстетическое разнообразие можно рассматривать как самостоятельную и обязательную функцию окружающей среды [1–3].

Разнообразие окружающей среды во многом определяется визуально, что даже позволило создать новое направление в науке – видеоэкологию [4].

Проблема: особенно остро снижение разнообразия проявляется в создаваемом человеком закрытом пространстве, выполняющем транспортную функцию – метро.

Цель: рассмотреть появление культурно-эстетической функции окружающей среды в закрытом пространстве – метро.

Задачи: проанализировать эволюцию культурно-эстетической функции метро в зависимости от уровня социально-экономического и культурного развития.

Методы исследования: описательные и сравнительно-аналитические.

Первые в мире метрополитены создавались только как транспортная система. Монотонность и однообразие преследовали пассажиров на всем пути следования. Не случайно лондонскую подземку, открытую в 1863 г., в обиходе даже прозвали «труба» (от англ. tube). Нью-Йоркское метро (открыто в 1904 г.), гораздо более масштабное, также было направлено на выполнение одной функции.

И только в Советском Союзе впервые обратили внимание на необходимость эстетической функции метро – вновь создаваемых больших закрытых пространств. Московский метрополитен, открытый 15 мая 1935 г., стал образцом нового подхода в строительстве. Эксплуатация показала, что появление функции эстетической, дающей разнообразие, существенно повлияло на благоприятное восприятие окружающей среды большого объема закрытого пространства и настроение.

Рассмотрим этапы развития эстетической функции советского и российского метро на примере истории формирования метро Москвы и Новосибирска.

Начало проектирования и строительства Московского метро совпало с зарождением нового направления в искусстве – соцреализма, что отразилось на проектах станций метро. Этот период характеризуется глубоким изучением исторического опыта, архитектурного наследия, его синтезом с новыми тенденциями; на необходимость такого подхода указывал еще в XIX в. русский

архитектор В.И. Баженов [5]. В довоенный период это была эклектика, сочетание ар-деко и мотивов ордерной классики.

Архитектурный стиль ар-деко, который сочетает в себе исторические традиции и новые идеи, стал переходным к следующему периоду развития Московского метро – к сталинскому ампиру. Одним из лучших образцов данного периода является станция «Маяковская» (рис. 1), созданная по проекту А.Н. Душкина и открытая в 1938 г. В отделке станции применялись горные породы регионов, активно осваиваемых в это время, – Урала и Кавказа: родонит, грузинский мраморовидный известняк, несколько сортов мрамора, а также серо-зеленый диорит и серый гранит. Активно применялись мозаичные панно, которые отражают культуру, промышленность, спорт, сельское хозяйство Советского Союза того времени. Обрамления колонн и сводов из нержавеющей стали – дефицитного в то время материала – придают архитектуре станции особую изящность.



Рис. 1. Станция «Маяковская». Фото А.А. Шамец

В том же году А.Н. Душкин реализует еще один проект – станция «Площадь Революции». Идея проекта состоит в том, чтобы показать историю нашего государства в период с Октябрьской революции до середины 1930-х гг. с использованием монументальной скульптуры. Автор скульптур М.Г. Манизер в бронзовых фигурах изобразил красноармейцев, рабочих, студентов, пограничников (рис. 2).



Рис. 2. Станция «Площадь Революции». Скульптура «Пограничник с собакой». Фото А.А. Шамец

Итак, в предвоенный период утвердилась национальная идеология в архитектуре, которая получила развитие и явилась переходным периодом ко второй половине 1940-х гг. И даже в суровые годы Великой Отечественной войны архитекторы и художники направляли свой талант на создание произведений искусства. Показателен пример станции «Новокузнецкая» (архитектор И.Г. Таранов): строительство велось в тяжелые годы начала войны, и, несмотря на это, уровень художественного оформления оставался очень высоким. Открыта станция была в 1943 г.; в оформлении использованы мозаичные панно художника В.А. Фролова, выполненные по эскизам А.А. Дейнеки в блокадном Ленинграде и вывезенные из осажденного города (рис. 3).



Рис. 3. Станция «Новокузнецкая». Панно на своде. Фото А.А. Шамец

После Победы в Великой Отечественной войне в архитектуре станций метро, как и в архитектуре в целом, отражался подвиг советского народа, а также восстановление и подъем в экономике, промышленности, культуре, сельском хозяйстве. Несмотря на тяжелое время, архитектурно-художественные приемы, обеспечивающие культурно-эстетическое восприятие, активно продолжали использоваться в проектировании и строительстве метро. Одним из ярких примеров может являться станция «Комсомольская» Кольцевой линии (рис. 4). Оформление станции было направлено на сохранение памяти о грандиозных событиях страны.

Не случайно Московский метрополитен, полностью выполняя транспортные функции, признан самым красивым в мире: 48 станций являются памятниками архитектуры [6]. Человек, попадая в такие торжественные сооружения, чувствовал себя свободнее, легче переносил поездку, разнообразие станций помогало ориентироваться, и это, безусловно, влияло на его самочувствие и работоспособность, формировало мировоззрение.

В 1955 г. после доклада Н.С. Хрущева «Об устранении излишеств в проектировании и строительстве» [7, с. 10] был взят курс на тотальную экономию в ущерб эстетической функции. В это время уделялось внимание не «архитектурным изыскам», а единственному, узкоспециализированному назначению. Эстетические функции практически игнорировались, т. к. требовались минимальные временные и материальные затраты на строительство.

Для новых станций использовались преимущественно типовые проекты. В начале 1960-х гг. подавляющее большинство станций было лишено декора – это были типичные, как правило, колонные, трехпролетные сооружения (рис. 5).



Рис. 4. Станция «Комсомольская». Кольцевая линия (URL: <https://russos.livejournal.com/989610.html>)



Рис. 5. Станция «Новые Черемушки» (URL: <http://www.metrowalks.com/ru/moscow/kaluzhsko-rizhskaya/novye-cheriomushki>)

Этот период не продлился долго. Эстетика, как одна из функций окружающей среды, в том числе и архитектуры, со временем вновь стала играть важную роль, и уже к 1970-м гг. начались первые попытки разнообразить модернистскую архитектуру как в сооружениях, так и на станциях метро. О том, что в архитектуре необходимо избегать монотонности, позднее писал народный архитектор СССР М.В. Посохин:

«Архитектурное сооружение немислимо без проработанных и осмысленных деталей. Они необходимы функционально и эстетически. Деталь, соизмеримая с масштабом человека, подчеркивая пропорции сооружения, помогает воспринимать строение в целом. Город, лишенный архитектурных деталей, утрачивает масштабность и человечность» [7, с. 126].

Как и в градостроительстве, такая теория в полной мере может быть отнесена к любой антропогенной среде, тем более к большим закрытым пространствам.

Проекты следующего периода можно считать прототипами постмодернистской архитектуры.

Для того чтобы провести анализ архитектуры станций метро позднего модернизма, рассмотрим отечественные метрополитены и станции, проектирование и строительство которых выпало на данный период.

Первая очередь Серпуховско-Тимирязевской линии Московского метро открыта в 1983 г. (до открытия северного радиуса в 1991 г. линия носила название «Серпуховская»). Фактически это была первая единая линия Московского метро, полностью созданная в период позднего модернизма. И здесь проявляется образ русской архитектуры в новой форме: на примере конкретной эпохи мы наблюдаем эволюцию подачи национальных традиций в проектах.

Станции на рассматриваемой линии демонстрируют разнообразие сторон нашей жизни: культуру, науку, героическую историю. Например, на сводах станции «Тулская» (архитекторы И.Г. Петухова, В.П. Качуринец, Н.И. Шумаков) вдоль путевых стен тянутся рельефные орнаменты как мотив русского народного творчества (рис. 6). Простое, экономичное решение (монолитный железобетон и рельефная опалубка), но эстетический эффект очевиден.



Рис. 6. Станция «Тулская» (URL: <http://www.metrowalks.com/ru/moscow/serpuhovsko-timiryazevskaya/tulskaya>)

Не менее интересна станция «Менделеевская», построенная по проекту Н.А. Алешинной (рис. 7). На сводах установлены оригинальные светильники, выполненные в виде кристаллической решетки. Кроме того, пространства между колоннами имеют арочные своды и напоминают убранства древнерусских палат.



Рис. 7. Станция «Менделеевская» (URL: <http://www.metrowalks.com/ru/moscow/serpuhovsko-timiryazevskaya/mendeleyevskaya>)

Станция «Севастопольская» построена по типовому проекту, однако путевые стены украшены мозаичными панно, выполненными художником О.А. Иконниковым (рис. 8). Тематика – достопримечательности и героическая история Крыма и Севастополя.



Рис. 8. Станция «Севастопольская». Панно на путевой стене (URL: <http://www.metrowalks.com/ru/moscow/serpuhovsko-timiryazevskaya/sevastopolskaya>)

Стремительное развитие городов и появление городов-миллионников способствовало появлению метро в других крупных городах Советского Союза. Всего за двухлетний период (с 1985 по 1987 г.) в трех городах РСФСР появился метрополитен: Новосибирск, Горький (Нижний Новгород), Куйбышев (Самара). Но принципы строительства метро с учетом эстетических функций сохранялись.

Новосибирский метрополитен принял первых пассажиров 7 января 1986 г.

Архитектура станций Новосибирского метро в целом сдержанная. Тем не менее художественное оформление остается на достаточно высоком уровне. Ряд станций заслуживают особого внимания. Некоторые из них по праву можно считать визитной карточкой Новосибирска как крупнейшего города Сибири.

Особое место занимает станция «Речной вокзал», построенная по проекту В.П. Соколова и В.В. Питерского. Это одна из пяти станций первой очереди. Главная «изюминка» архитектурного проекта – витражи с тематикой сибирских городов Обского бассейна, которые выполнил художник-монументалист В.П. Соколов [8] (рис. 9). Идея заключается в том, что витражи выполнены в виде иллюминаторов теплохода и отражают специфику конкретного города. Такая тематика имеет историческое значение: освоение Сибири в основном происходило благодаря водным путям – крупные реки были основным транспортным коридором в неисследованном крае.



Рис. 9. Станция «Речной вокзал». Витраж. Фото А.А. Шамец

Богатства Сибирского края переданы архитектором В.В. Питерским в проекте станции «Сибирская»: флорентийская мозаика на путевых стенах, выполненная по эскизам художников Г.Л. Алексева и О.М. Алексеевой из си-

бирских пород камня, отражает культуру и природные, в том числе минеральное разнообразие, богатства Сибири [9] (рис. 10).



Рис. 10. Станция «Сибирская». Панно на путевой стене. Фото А.А. Шамец

Кризисный период перестройки и начала 1990-х гг. существенно притормозил развитие Новосибирского метрополитена. Многие проекты было сложно реализовать. Однако необходимость применения эстетического оформления не вызывала сомнений, и архитекторы в ряде случаев находили возможность воплотить свои творческие замыслы в жизнь. Это можно наблюдать на примере станции «Гагаринская», открытой в 1992 г. (рис. 11). В отделке станции была применена нержавеющая сталь, которая ранее практически не использовалась в Новосибирском метро. Простое, казалось бы, решение покрыть потолок темно-синей краской и установить открытые точечные светильники имитировало на станции звездное небо.

Отечественная архитектура 1980-х гг. дала толчок к переходу от строгого модернизма к разнообразным оригинальным решениям. Пройдя через первую волну постмодернизма, архитекторы получили много возможностей для реализации творческих мыслей.

Основываясь на историческом опыте и используя современные достижения, зодчие в настоящее время создают проекты в разных стилистических направлениях: от неоклассики до хай-тека. Меняются технологии реализации, но визуально-эстетическая функция всегда сохраняется. Примером тому служит станция «ЦСКА» Московского метро, открытая в 2018 г.: интерьер станции в стиле хай-тек дополняют скульптуры на мотив соцреализма, изображающие спортсменов легендарного клуба (рис. 12).



Рис. 11. Станция «Гагаринская». Фото А.А. Шамец



Рис. 12. Станция «ЦСКА» (URL: <https://www.m24.ru/news/transport/16122018/58349>)

В настоящее время появилась тенденция реконструкции аскетичных станций, приуроченная к историческим событиям или личностям. В Новосибирском метро это коснулось станций «Гагаринская» и «Маршала Покрышкина».

Станция «Маршала Покрышкина», открытая в 2000 г. (архитектор А. Бернов), является знаковой для Новосибирска, поскольку легендарный маршал авиации, трижды герой Советского Союза Александр Иванович Покрышкин родился в этом городе. 6 марта 2013 г. к его столетнему юбилею, станция была реконструирована [10]. На путевых стенах появились новые композиции с названием

станции, подчеркнутые тремя звездами Героя Советского Союза (рис. 13). В западном вестибюле был установлен бронзовый бюст А.И. Покрышкина, созданный народным художником России М.В. Переяславцем (рис. 14).



Рис. 13. Станция «Маршала Покрышкина». Оформление путевой стены. Фото А.А. Шамец



Рис. 14. Бюст А.И. Покрышкина в вестибюле станции. Фото А.А. Шамец

В апреле 2011 г., к 50-летию со дня полета Ю.А. Гагарина в космос, была проведена реконструкция станции «Гагаринская» [11]. На путевых стенах были установлены элементы в виде иллюминаторов с портретами космонавта (рис. 15).



Рис. 15. Станция «Гагаринская». Портрет Ю.А. Гагарина на путевой стене. Фото А.А. Шамец

Кроме архитектуры станций, культурно-просветительские функции отражены не только в названиях станций, но и линий. В традициях советских и российских метрополитенов принято давать названия линиям по их направлению от одного конца к другому, с привязкой к названиям станций или районов, в отличие от западных метрополитенов, где используется сухая нумерация (Нью-Йорк, Париж, Лондон, Франкфурт-на-Майне и т. д.). Например, Таганско-Краснопресненская линия. Для человека, знающего хотя бы приблизительно расположение Таганского района и Красной Пресни в масштабах Москвы, не составит труда определить направление линии. При этом незнакомому с городом предоставляется возможность получения новой информации. Такая практика делает метро объектом, способствующим познанию города, в том числе и развитию туризма.

В последнее десятилетие появляются новые аспекты культурной среды. В дополнение к фундаментальным функциям, заложенным в архитектурном проекте станции, добавляются временные и регулярно обновляющиеся информационные функции. Как новое средство передачи информации используются поверхности электропоездов. Так, например, тематическое оформление вагонов обычно приурочено к определенным юбилейным датам или событиям, конкретным личностям, организациям и истории города.

Такие выставки регулярно появляются в Новосибирском метро. Существуют также отдельные составы, оформление которых посвящено русской

культуре и языку, а также тематике года (например, «Год театра в России»). Тематическими плакатами оформляются и переходы станций (рис. 16).



Рис. 16. Переход между станциями «Красный проспект» и «Сибирская». Плакаты. Фото А.А. Шамец

В отличие от стихийной рекламы, такая информация является системной и благоприятнее влияет на восприятие, поскольку не создает информационные шумы и носит культурно-просветительский характер.

Создавая полностью антропогенные закрытые пространства, тем более большого объема, необходимо обеспечивать разнообразие этой среды, которое является важным экологическим условием существования и пользования в ней человека. Эксплуатация первых метро показала, что реализация только транспортной функции и, как следствие, однообразие и монотонность негативно влияют на состояние человека. Поэтому при создании Московского метро начала реализовываться как обязательная еще одна функция окружающей среды – культурно-эстетическая. Архитектурно-художественные приемы, используемые в процессе проектирования, соответствуют этапам развития архитектуры.

Возможности реализации культурно-эстетической функции активно расширяются в последнее десятилетие. Помимо заложенных изначально в проекте, появляются временные экспозиции на платформах, в переходах и в подвижном составе.

В совокупности все используемые культурно-эстетические приемы, как фундаментальные, так и временные, создают не только разнообразие окружающей среды в метро, но и работают на сохранение и приумножение культурно-исторического наследия. Поэтому оформление метро в полной мере можно рассматривать как полноценную культурно-эстетическую функцию вновь создаваемой окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Охрана ландшафтов*. Толковый словарь. Москва : Прогресс, 1982. 272 с.
2. *Реймерс Н.Ф.* Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы). Москва : Россия Молодая, 1994. 367 с.
3. *Кинит А.В.* Средовой подход и окружающая среда в архитектуре и градостроительстве: экологический взгляд // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 3. С. 40–47.
4. *Видеоэкология*. URL: <http://www.videoecology.com/author.html> (дата обращения: 12.05.2020).
5. *Снегирев В.* Архитектурное наследие В.И. Баженова // Архитектура СССР. Москва : Орган Союза советских архитекторов, 1937. 21 с.
6. *Узнай Москву*. URL: <https://um.mos.ru/routes/moskovskoe-metro-po-stantsiyam-obektam-kulturnogo-naslediya/> (дата обращения: 10.03.2020).
7. *Посохин М.В.* Город для человека. Москва : Прогресс, 1980. 220 с.
8. *Архитектура Новосибирска*. URL: <http://nsk.novosibdom.ru/node/2323> (дата обращения: 09.04.2020).
9. *Архитектура Новосибирска*. URL: <http://nsk.novosibdom.ru/node/2324> (дата обращения: 09.04.2020).
10. *Мир метро*. URL: http://www.mirmetro.net/novosibirsk/lines/dzerzhinskaya/12_marshala_pokryshkina (дата обращения: 09.04.2020).
11. *Мир метро*. URL: http://www.mirmetro.net/novosibirsk/lines/leninskaya/11_gagarinskaya (дата обращения: 09.04.2020).

REFERENCES

1. *Okhrana landshaftov* [Landscape protection. Explanatory dictionary]. Moscow: Progress, 1982. 272 p. (rus)
2. *Reimers N.F.* *Ekologiya (teorii, zakony, pravila, printsipy i gipotezy)* [Ecology (theories, laws, rules, principles and hypotheses)]. Moscow: Rossiya Molodaya, 1994. 367 p. (rus)
3. *Kinsht A.V.* *Sredovoi podhod i okruzhayuschaya sreda v arhitekture i gradostroitelstve: ekologicheskii vzglyad* [Environmental approach to architecture and town planning]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 3. Pp. 40–47. (rus)
4. *Videoekologiya* [Video ecology]. Available: www.videoecology.com/author.html (accessed May 12, 2020) (rus)
5. *Snegirev V.* *Arhitekturnoe nasledie V. I. Bazhenova* [Bazhenov's architectural heritage]. Moscow, 1937. 21 p. (rus)
6. *Uznai Moskvu* [Discover Moscow]. Available: <https://um.mos.ru/routes/moskovskoe-metro-po-stantsiyam-obektam-kulturnogo-naslediya/> (rus)
7. *Posokhin M.V.* *Gorod dlya cheloveka* [City for human]. Moscow: Progress, 1980. 220 p. (rus)
8. *Arhitektura Novosibirska* [Architecture of Novosibirsk]. Available: <http://nsk.novosibdom.ru/node/2323> (accessed April 9, 2020) (rus)
9. *Arhitektura Novosibirska* [Architecture of Novosibirsk]. Available: <http://nsk.novosibdom.ru/node/2324> (accessed April 9, 2020) (rus)
10. *Mir metro* [Metro world]. Available: www.mirmetro.net/novosibirsk/lines/dzerzhinskaya/12_marshala_pokryshkina (accessed April 9, 2020) (rus)
11. *Mir metro* [Metro world]. Available: www.mirmetro.net/novosibirsk/lines/leninskaya/11_gagarinskaya (accessed April 9, 2020) (rus)

Сведения об авторах

Кинит Александр Владимирович, докт. с.-х. наук, Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова, 630099, г. Новосибирск, Красный проспект, 38, ale-kinsht@yandex.ru

Шамец Андрей Андреевич, студент, Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова, 630099, г. Новосибирск, Красный проспект, 38, Shamets154@yandex.ru

Authors Details

Aleksandr V. Kinsht, DSc, Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and, 38, Krasnyi Ave., 630099, Novosibirsk, Russia; e-mail: ale-kinsht@yandex.ru

Andrei A. Shamets, Student, Kryachkov Novosibirsk State University of Architecture, Design and, 38, Krasnyi Ave., 630099, Novosibirsk, Russia; e-mail: Shamets154@yandex.ru

УДК 711.581.03

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-50-57

*А.В. ШУТКА, Е.И. ГУРЬЕВА,
Воронежский государственный технический университет*

АРХИТЕКТУРНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОРОДСКОГО СКВЕРА

Рассмотрены архитектурно-художественные, функционально-планировочные, пространственные, композиционные, концептуальные, эстетические, ландшафтные особенности формирования городского сквера. Разработаны принципы проектирования городского сквера в новых социально-экономических условиях развития и формирования высокоурбанизированных территорий. Рассматриваются особенности и закономерности формирования объемно-пространственной структуры сквера с учетом пространственной организации ландшафта.

На основе проведенного анализа и практики формирования пространства сквера выведено пять принципов проектирования городского сквера.

Ключевые слова: сквер; общественное пространство; комфортная городская среда; ландшафт; композиция; средовой объект; концепция; градостроительство; экологичность.

Для цитирования: Шутка А.В., Гурьева Е.И. Архитектурно-пространственные особенности формирования городского сквера // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 50–57.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-50-57

*A.V. SHUTKA, E.I. GUREVA,
Voronezh State Technical University*

ARCHITECTURE AND SPATIAL FORMATION OF THE CITY PARK

The paper studies the architectural, functional, planning, spatial, compositional, conceptual, aesthetic, landscape features of the city park. The design principles of the city park are developed in the new socio-economic conditions of highly urbanized territories. The formation process is considered for the three-dimensional structure of the city park with regard to the spatial organization of the landscape. Five design principles of the city park formation are proposed based on the analysis and experience in this area.

Keywords: park; public space; comfortable urban environment; landscape; composition; environment object; concept; urban planning; environmental friendliness.

For citation: Shutka A.V., Gureva E.I. Arkhitekturno-prostranstvennye osobennosti formirovaniya gorodskogo skvera [Architecture and spatial formation of the city park]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 50–57.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-50-57

Введение

В настоящее время формирование новых жилых районов, реновация больших площадей застройки не предусматривают создания парков, скверов и других озелененных территорий. Открытые озелененные пространства

необходимы городу как благоприятно воздействующие на здоровье человека, качественно улучшающую среду, наполняющие воздух фитонцидами, создающие своеобразие и неповторимость окружающей среды. Поэтому очень ценно, что незастроенные территории формируются как озелененные островки в суперурбанизированной городской среде [2–6, 8].

Зеленые насаждения играют главную роль в системе саморегуляции природных процессов. Поэтому для такого природно-антропогенного комплекса, как город, они просто необходимы, т. к. поддерживают в норме и стабилизируют среду существования человека, которую он постоянно изменяет, и часто не в лучшую сторону [7].

Аналогичная территория разрабатывается как сквер им. Лизюкова в Северном жилом микрорайоне городского округа г. Воронежа.

Участок расположен по адресу: г. Воронеж, ул. Лизюкова, 50А. Территория ограничена улицами: Генерала Лизюкова, 6-лет ВЛКСМ, участком общеобразовательной школы и торгового комплекса. В настоящее время участок свободен от застройки, благоустройство отсутствует.

Предполагается сквер посвятить памяти о Великой Отечественной войне и ее героям, и прежде всего Александру Ильичу Лизюкову (26 марта 1900 года – 23 июля 1942 года), советскому военачальнику, Герою Советского Союза, генерал-майору. «В годы Великой Отечественной войны проявил себя при обороне переправ через Днепр, оборонительного рубежа по реке Воль, а также в Битве под Москвой. В 1942 году во время Воронежско-Ворошиловградской оборонительной операции командовал 5-й танковой армией, наносившей контрудар по группировке немецких войск, наступавшей на Воронеж. Погиб в бою» [1].

Материалы и методы. Концептуальное предложение

Объектом исследования послужила территория общего пользования в «спальном» жилом районе г. Воронежа. На территории, предназначенной для формирования новой рекреационной зоны, произведена сплошная выруб-ка зеленых насаждений (рис. 1).



-ПРОЕКТИРУЕМЫЙ УЧАСТОК

Рис. 1. Ситуационная схема размещения объекта исследования

Для детального исследования территории применяется метод пофакторной оценки, базирующийся на ландшафтно-градостроительном анализе (транспортно-пешеходного каркаса, исторических особенностей антропогенного освоения рельефа, анкетирования жителей района).

Концепция проекта – это важнейшая направляющая идея, которая определяет и стилевую направленность, и цветофактурное решение, и подбор зеленых насаждений. Концепция наглядно выражает комплекс идей архитектурных, художественных, функционально-планировочных, композиционных, ландшафтных в их увязке с градостроительными требованиями и нормативами (рис. 2, 3).



Рис. 2. Концепция проекта сквера. Применение образа солдатской палатки в решении входной группы и зоны памяти в сквере им. А.И. Лизюкова. Проект выполнен студенткой группы Б-ГРАД 161 А.Д. Татаринцевой, руководители А.В. Шутка, Е.И. Гурьева

Отражение тематики сквера выражается в образах, символизирующих память о войне и радость жизни.

Функционально-планировочное разнообразие, экологичность

По своему месторасположению в структуре городской ткани сквер небольшой, может использоваться под несколько функций: отдыха, детских игр, прогулок, озеленения. В настоящее время территория – это фактически пустырь. С учетом дефицита озелененных пространств в структуре района сквер может использоваться жителями ближайших домов как многофункциональная территория.



Рис. 3. Концепция проекта сквера. Применение образа динамики боя в решении входной группы и зоны памяти в сквере им. А.И. Лизюкова. Проект выполнен студенткой группы Б-ГРАД 161 А.Д. Татаринцевой, руководители А.В. Шутка, Е.И. Гурьева

Формирование пространства сквера возможно с помощью следующих приемов: планировка живописная, геометрическая, регулярная; подчиненная скульптуре, архитектурному объекту, ландшафтному акценту.

В проекте предлагается комплексное сочетание разнообразных видов покрытий и типов освещения, ландшафтное благоустройство.

Результаты исследований привели авторов к главной концепции: формирование памяти о Великой Отечественной войне и подвигах генерал-майора А.И. Лизюкова – основная тематическая идея формирования сквера.

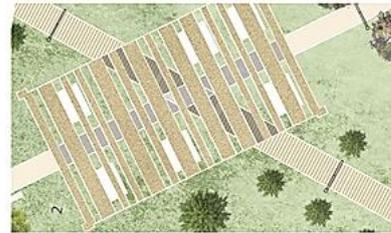
Скульптура сегодня является абстрактным трехмерным образным изображением. Выполняться скульптура может из различных материалов: металла, стекла, железобетона, дерева, камня и др. Современное понимание городской скульптуры меняется. Художники подходят индивидуально к каждому образу. Современная скульптура динамична, выразительна, абстрактна, работает с аллегориями.

Одной из задач данного проекта являлась разработка скульптуры памяти о Второй мировой войне, о героическом подвиге и победе советских военнослужащих, и в частности генерал-майоре А.И. Лизюкове (рис. 4).

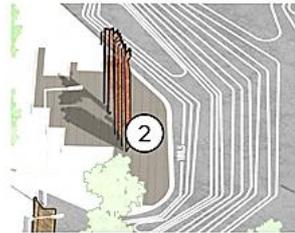
Творческие идеи уникальны, предложенные образы неповторимы. Также используются современные компьютерные технологии, которые дают возможность заложить информационные блоки памяти в скульптуру.

Архитектурно-ландшафтная организация сквера

Ландшафтное своеобразие территории сквера формируется с помощью зеленых насаждений, рельефа, водных устройств.



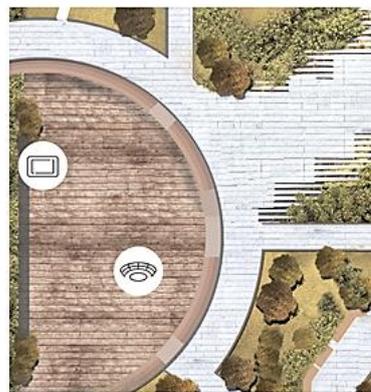
Павильон



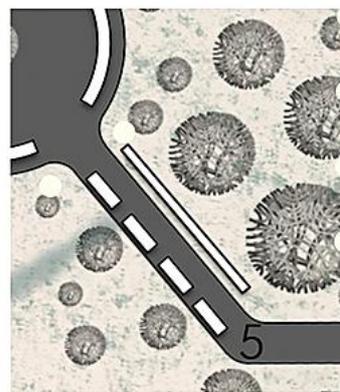
За основу силуэта, вырезанного на монументе, взята фотография генерала А.И. Лизюкова, сделанная по ходу военных действий



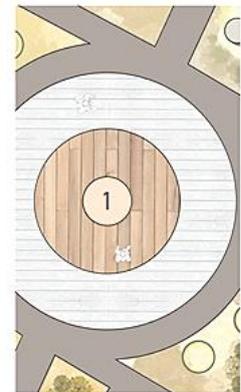
Световая инсталляция в память



Барельеф из гранита является центром композиции сквера. На барельефе портрет генерала А.И. Лизюкова и надпись: «Судьба Героя, связавшая города»



Фотозона
Буквы с информационным табло



Памятник-символ

Рис. 4. Концепция памяти. Предложения выполнены студентами группы Б-ГРАД 161: 1 – А.Д. Татаринцевой; 2 – М.О. Ореховым, В.С. Гудковой; 3 – Ю.Ю. Коваль, Г.С. Денисовой, Д.Р. Зверевой; 5 – А.А. Кох, П.В. Симоновой; 6 – А.Е. Окуловой, Д.С. Шурыгиной; руководители А.В. Шутка, Е.И. Гурьева

В силу сложившихся обстоятельств территория сквера – это ровная площадка, с отсутствием ярко выраженного рельефа, зеленых насаждений и водных устройств. Проектные предложения предполагают в соответствии с разработанной концепцией изменение рельефа с помощью геопластики. Сквер – это, прежде всего, озелененная территория, поэтому проекты предусматривают посадку деревьев, кустарников, цветников и газонов. В настоящее время делается акцент на формирование биоструктуры, не требующей особого ухода и полива.

Принципы проектирования городского сквера

На основе проведенного анализа и практики формирования пространства сквера выведены следующие принципы:

Принцип экологичности заключается в формировании зеленых насаждений в достаточном количестве, которое определяется не только процентным соотношением территории, занятой зелеными насаждениями, но и предполагает замещение территорий, занятых под определенные объекты.

Принцип модульности и трансформации пространства заключается в применении различных функциональных модулей, которые привносят функциональное разнообразие, дают возможность перестраивать пространство сквера под функции отдыха, праздника, активных мероприятий.

Принцип композиционного построения предполагает формирование генплана и архитектурно-пространственного решения сквера как единой композиции, построенной по законам пропорционирования и красоты. Композиция генплана сквера может решаться на принципах симметрии и асимметрии, использовать нюанс и тождество, а также включать доминанты, ориентиры.

Принцип художественного разнообразия предполагает включение арт-объектов на озелененных территориях, подборку материалов и покрытий, элементов освещения.

Принцип ландшафтного проектирования состоит в разнообразии применяемых приемов и средств ландшафтного проектирования; посадке солитеров, групп деревьев и кустарников; формировании ландшафтных групп и цветников; единстве рельефа, зеленых насаждений, водных устройств; создании геопластики как формы разнообразия городского ландшафта, создающей ощущение природной среды.

Заключение

На основе проведенного исследования сделаны следующие выводы:

1. Определена важность и необходимость открытых озелененных территорий, таких как сквер, в пространстве крупного города.
2. Разработаны принципы проектирования городского сквера в новых социально-экономических условиях развития и формирования высокоурбанизированных территорий: экологичности, модульности и трансформации пространства, композиционного построения, художественного разнообразия, ландшафтного проектирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лизюков Александр Ильич. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>

2. Агальцова В.А. Основы лесопаркового хозяйства. Москва : ГОУ ВПО МГУЛ, 2012. 213 с. ISBN 5-8135-0409-5.
3. Гурьева Е.И. Комплексная оценка систем озеленения рекреационно-оздоровительных объектов // Инженерные системы и сооружения. 2014. № 4-1 (17). С. 78–82.
4. Гурьева Е.И. Современное состояние зеленых насаждений санаториев Воронежской области // Наука. Мысль. 2014. Т. 4. № 1. С. 20–23.
5. Гурьева Е.И., Кругляк В.В. To the issue of renovation of green spaces of sanatorium parks // Наука. Мысль. 2018. Т. 8. № 1. С. 12–28.
6. Гурьева Е.И., Ульянкина В.А. Воздействие человеческой деятельности на ландшафт (на примере г. Липецк) // Архитектурные исследования. 2018. № 3 (15). С. 71–80.
7. Карташова Н.П., Елисеева Е.Н. Зеленые насаждения в городской среде // Агропромышленные технологии Центральной России. 2019. № 4 (14). С. 102–108.
8. Шутка А.В. Ландшафтное оформление праздничной среды города // Инновации в социокультурном пространстве : материалы IX Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. 2016. С. 135–140.
9. Galychyn O., Ustundag K. Organic Urbanism: Human-oriented Design for Metropolises // Procedia Environmental Sciences. 2017. P. 396–407.
10. Talovskaya (Kolegova) E.B. Thymus baicalensis (Lamiaceae) morphological transformation under different environmental conditions // Contemporary Problems of Ecology. 2015. V. 8. № 5. P. 607–613.

REFERENCES

1. Lizyukov A.I. Available: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (rus)
2. Agaltsova V.A. Osnovy lesoparkovogo khozyaistva [Basics of aesthetic forestry]. Moscow, 2012. 213 p (rus)
3. Gureva E.I. Kompleksnaya otsenka sistem ozeleneniya rekreatsionno-ozdorovitel'nykh ob"ektov [Complex assessment of greening systems of recreational and health facilities]. *Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya*. 2014. No. 4-1 (17). Pp. 78–82. (rus)
4. Gureva E.I. Sovremennoe sostoyanie zelenykh nasazhdenii sanatoriev Voronezhskoi oblasti [Current state of green plantations of sanatoriums of the Voronezh region]. *World Ecology Journal*. 2014. V. 4. No. 1. Pp. 20–23. (rus)
5. Gureva E.I., Kruglyak V.V. The issue of renovation of green spaces of sanatorium parks. *World Ecology Journal*. 2018. V. 8. No. 1. Pp. 12–28. (rus)
6. Gureva E.I., Ulyankina V.A. Vozdeistvie chelovecheskoi deyatelnosti na landshaft (na primere g. Lipetsk) [Impact of human activity on the landscape (on the example of Lipetsk)]. *Arkhitekturnye issledovaniya*. 2018. No. 3 (15). Pp. 71–80. (rus)
7. Kartashova N.P., Eliseeva E.N. Zelenye nasazhdeniya v gorodskoi srede [Green space in the urban environment]. *Agropromyshlennyye tekhnologii Tsentral'noi Rossii*. 2019. No. 4 (14). Pp. 102–108. (rus)
8. Shutka A.V. Landsaftnoe oformlenie prazdnichnoi sredy goroda [Landscape design of festive city environment]. In: *Innovatsii v sotsiokul'turnom prostranstve: materialy IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 2-kh chastyakh (Proc. 9th Int. Sci. Conf. 'Innovations in Sociocultural Environment')*, in 2 parts. 2016. Pp. 135–140. (rus)
9. Galychyn O., Ustundag K. Organic urbanism: Human-oriented design for metropolises. *Procedia Environmental Sciences*. 2017. Pp. 396–407.
10. Talovskaya (Kolegova) E.B. Thymus baicalensis (lamiaceae) morphological transformation under different environmental conditions. *Contemporary Problems of Ecology*. 2015. V. 8. No. 5. Pp. 607–613.

Сведения об авторах

Шутка Анна Викторовна, канд. архитектуры, доцент, Воронежский государственный технический университет, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, shutka.a@yandex.ru

Гурьева Елена Ивановна, канд. с.-х. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, gurjeva_el@mail.ru

Authors Details

Anna V. Shutka, PhD, A/Professor, Voronezh State Technical University, 84, 20 let Oktyabrya Str., Voronezh, Russia, shutka.a@yandex.ru

Elena I. Gureva, PhD, A/Professor, Voronezh State Technical University, 84, 20 let Oktyabrya Str., Voronezh, Russia, gurjeva_el@mail.ru

УДК 712.3(510)

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-58-72

*Д.С. ЦЕЛУЙКО,**Тихоокеанский государственный университет*

СОЗДАНИЕ ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ САДА КУЛЬТИВАЦИИ В Г. СУЧЖОУ. ГЕНЕРИРОВАНИЕ ПЛАНИРОВОЧНЫХ СТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ RHINOCEROS (GRASSHOPPER)

Исследованы механизмы цифровой имитации традиционных инструментов проектирования частных садов Китая на примере Сада культивации, расположенного в г. Сучжоу, с последующей генерацией новых графоаналитических моделей плана. Рассмотрены различные подходы к исследованию пространства как целостной структуры. Исследованы работы ученых по данной тематике, как отечественных, так и зарубежных, на основании чего выбран один из точных математических инструментов для анализа планировочной структуры. Дано определение графа в контексте архитектуры, рассмотрены области его применения. Проведена аналогия между графоаналитическим представлением объекта и традиционными китайскими инструментами и методиками для формирования пространства. Создана и исследована графоаналитическая модель Сада культивации, на основании которой были сгенерированы новые планировочные схемы.

Актуальность темы заключается в использовании новых инструментов и методик для анализа пространственной структуры исторических объектов и создании на этой основе новых планировочных решений.

Цель работы: изучить графоаналитическую модель сада, расписать основные этапы ее создания. Выявить особенности генерации новых планировочных структур.

Методы: анализ источников и литературы по теме исследования. Фотофиксация и обмеры Сада культивации. Метод компьютерного моделирования. Метод цифрового структурного анализа. Метод генеративного проектирования.

Подробно разобран механизм генерирования в виде скрипта в Rhinoceros (Grasshopper). На основании одного сгенерированного примера показан процесс создания плана сада. В заключении дается оценка инструмента анализа и генерирования, приводятся его особенности и недостатки. Обозначен дальнейший вектор работ в доработке скрипта для более быстрой и наглядной подачи результата.

Ключевые слова: Китай; архитектура; сад; частный сад; анализ; планировочная структура; пространство; граф; графоаналитический метод; Rhinoceros; Grasshopper; генерирование.

Для цитирования: Целуйко Д.С. Создание графоаналитической модели сада культивации в г. Сучжоу. Генерирование планировочных структур с помощью Rhinoceros (Grasshopper) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 58–72.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-58-72

*D.S. TSELUIKO,**Pacific National University*

GRAPHIC-ANALYTICAL MODEL OF CULTIVATION GARDEN IN SUZHOU. GENERATION OF PLANNING STRUCTURES WITH RHINOCEROS (GRASSHOPPER)

The paper explores the mechanisms of digital imitation of traditional tools for designing private gardens in China, the Cultivation Garden in Suzhou, in particular. New graphic-

analytical model is proposed. Various approaches are considered for space as an integral structure. Both domestic and foreign literature in the field is investigated, and mathematical tools are selected to analyze the planning structure. The graphical definition of the architecture is given, the areas of its application are considered. An analogy is drawn between the graphic-analytical model and traditional Chinese tools and techniques for the space formation. The graphic-analytical model of the Cultivation Garden is proposed and investigated, and new planning schemes are then suggested. The relevance of the work lies in the use of new tools and techniques for analyzing the spatial structure of historical objects and new design solutions. The aim of this work is to study the graphic-analytical model of the Cultivation Garden, describe the main stages of its development.

The following approaches are used: the analysis of the literature in the field; photographs and measurements of the Cultivation Garden; computer simulation; digital structural analysis; generative design method.

The generating mechanism in the form of a script in Rhinoceros (Grasshopper) is examined in detail. The process of creating a garden plan is shown. The analysis and generation tool are given together with their disadvantages. A further research into finalization of the script is required for visual representation of the results obtained.

Keywords: China; architecture; garden; private garden; analysis; planning structure; space; graph; graphic-analytical method; Rhinoceros; Grasshopper; generation.

For citation: Tseluiko D.S. Sozdanie grafoanaliticheskoi modeli sada kul'tivatsii v g. Suchzhou. Generirovanie planirovochnykh struktur s pomoshch'yu Rhinoceros (Grasshopper) [Graphic-analytical model of cultivation garden in Suzhou. Generation of planning structures with Rhinoceros (Grasshopper)]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 58–72.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-58-72

Введение

Формирование пространства – основной процесс в проектировании. Еще в учении Дао Дэ Цзин повествовалось о важности пустоты – пространства: «Когда строят жилье, проделывают окна и двери, оставляя середину пустой, благодаря этому и можно пользоваться жильем. И потому наполнение – это то, что приносит доход, опустошение – это то, что приносит пользу» [6]. Со временем наполнение и восприятие пустоты менялось, новые функции диктовали новую форму, результатом стало большое количество функциональных типов, которые варьировались в зависимости от времени и культуры [1, 3, 6, 13]. Новое время создает новые правила, в сфере формирования пространства появляются новые теории и методики, а также иные взгляды и подходы к традиционным для архитектуры понятиям.

История восприятия пространства

В XX в., с появлением компьютеров и использованием в проектировании алгоритмических систем, началось числовое изучение творческого начала. Однако помимо цифровой реальности ответ на этот вопрос ученые искали в семиотике (А.В. Иконников, А.В. Боков, В.И. Лучкова, В.Л. Глазычев и др.), рассматривая архитектуру как систему символов или же знаков и воспроизводя связи между ними [3, 7]. Аналогии, проводимые между семиотическими моделями языка и понятием структуры в науке о природе, в частности в генетике и эволюционной биологии, были освещены в работах Ф. Жакоба, Ф. Ле-

ритьера, в математике – Ж.-Ф. Дезанти. Изучением понятий «архитектурное пространство», «компоновка», «архитектурная форма», «тектоника» и т. д. в конце XX в. занимались А.В. Степанов, И.А. Бондаренко, И.Г. Лежава, А.В. Иконников, А.В. Рябушкин, Д.О. Швидковский, О.И. Явейн и др. Отдельно стоит выделить тех, кто занимался планировочными закономерностями и принципами проектирования архитектурных объектов: А.Д. Логвиненко, И.Ш. Шевелев, М.В. Шубенков, М.С. Гика, А.А. Емельянов, Ю.С. Лебедев, О.М. Варганян, В.Ф. Колейчук [4, 12, 13].

Большая часть вышеупомянутых трудов описывала закономерности пространства, не имея четкой математической базы, которая могла бы адаптироваться под любой тип архитектурного объекта. Описательный характер исследования является уникальным только для конкретных примеров, рассмотренных в каждой работе. Однако одним из первых, кто описал архитектуру как систему, был Витрувий в своем труде «Десять книг об архитектуре» [2]. В книге все знания разбиты по функции и имеют четкие пропорции как в фасаде, так и в плане. Именно числовое ограничение в архитектуре помогло Витрувию, а позже Палладио и другим зодчим закрепить пропорции в архитектуре, но, как можно заметить, современные постройки ушли далеко за границы ордерной системы.

Структура пространства

На Востоке также можно проследить закономерности и пропорционирование в архитектуре. Если рассматривать общие типы построения идеальных городов Азии как в соответствии с различными градостроительными трактатами, так и с позиции фэн шуй, повсеместно использовались идентичные приемы, но города получались различные за счет условий, к которым адаптировались эти планировочные парадигмы [1, 7]. В городских планировках отчетливо читается иерархия и разделение на структуры. По данным правилам проектировалось множество объектов на Востоке, в том числе и частный сад – один из примеров объекта со сложным пространством, с сочетанием застройки и открытых пространств [11]. В отличие от города в саду нет четкой иерархии и упорядоченности. Первостепенное право здесь отведено природному началу, тем не менее это творение человека, и для того чтобы называться садом, а именно частным садом, территория должна соответствовать ряду пространственных требований (трактаты о проектировании, инструменты освоения пространства, стилистические направления) [11, 20]. Большая часть традиционных частных садов расположена в г. Сучжоу, все они различны по площади, внутренней структуре, элементам и прочим характеристикам.

В рамках исследования был рассмотрен Сад культивации (艺圃 (Yì Pǔ)), т. к. он имеет относительно простую, но традиционную планировку и является одним из старейших садов региона Цзяннань. Сад был построен в 1541 г. бывшим государственным чиновником Юань Цзугеном (1519–1590), ушедшим с поста и посвятившим себя созданию сада. Впоследствии у сада менялись названия, владельцы и планировочная структура. В настоящее время Юйпху входит в список объектов культурного наследия ЮНЕСКО. Площадь,

которую занимает комплекс, – 0,37 га. В планировке прослеживается четкое разделение на жилую и рекреационную зоны, но открытые участки с зелеными насаждениями и каменными скульптурами присутствуют в жилой застройке, как и наличие архитектурных сооружений в зоне сада. Северная часть комплекса, южной границей которой является павильон Янгуан, представлена жилой, образовательной, религиозной и хозяйственной застройкой [15, 21].

Несмотря на то что сад – это природная среда, наполненная водоемами и растительностью, основным в ней являются функциональные зоны и архитектурные элементы. Это можно проследить с помощью инструментов разбивки пространства, которые также использовались и для создания сада – триграммы Багуа и квадрат Лошу. Существует большое количество школ и направлений по работе с данными инструментами и их осмыслением, некоторые берут за основу стороны света, особенности рельефа и т. д. Но независимо от особенностей школы, работа происходит именно с функциональными зонами [8]. Даосские инструменты освоения пространства диктуют расположение функциональных зон на участке, т. е. задают схему функционального зонирования, в границах которой архитектор сам волен распоряжаться пространством.

Примером тому служит большое разнообразие вариантов планировок частных садов [9, 10, 19]. И если все правила освоения пространства заложены в планировке сада, возможно ли оцифровать планировочные структуры и без использования традиционных инструментов получить новый сад?

Создание графоаналитической модели

Сегодня одним из наиболее распространённых ПО для решения аналогичных задач, а именно анализа и генерации новых планировочных структур, является Rhinoceros вместе с дополнением Grasshopper, т. к. в программе имеется наиболее развитое проектирование с помощью скриптов и существует большое количество аналитических инструментов. В данном исследовании была использована часть разработок Пируза Нуриана и Самане Резвани, которая основывается на теории графов (графоаналитическое представление) [16].

Разберём поэтапное создание графоаналитической схемы на примере Сада культивации для дальнейшей работы в Rhinoceros (рис. 1). Основная суть этого процесса заключается в выявлении вершин и ребер (элементы графа), вершинами в данном случае будут основные архитектурные элементы сада (этап 1), т. к. они являются центрами пространства и дублируют природные доминанты, а также именно эти объекты, как центры функциональных зон, распределяют при изначальном проектировании сада. Ребра – пешеходные связи между элементами (этап 2).

Но так как графоаналитическое представление – это топологическая схема, в ней нам не важны реальные маршруты между сооружениями, поэтому вместо витиеватых дорожек на схеме появляются прямые линии между элементами (этап 2).

На 3-м этапе мы видим не только вершины и ребра в границах участка, а также диаграмму Вороного, с помощью которой вся площадь сада была равномерно распределена между основными элементами, что в дальнейшем потребуется при работе в Grasshopper [5, 12].

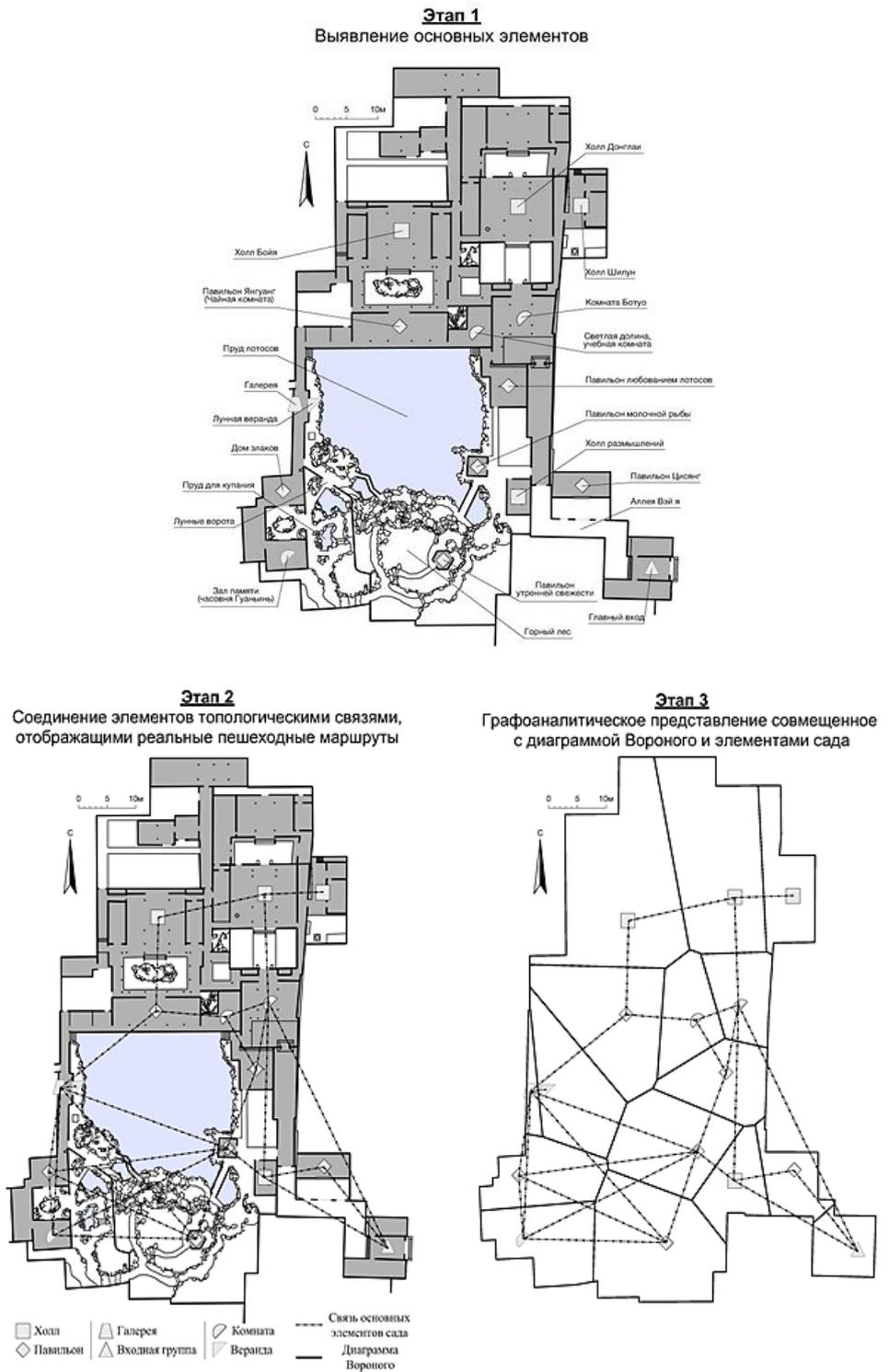


Рис. 1. Этапы создания графоаналитической модели на основе Сада культивации в г. Сучжоу

Написание скрипта в Grasshopper

Графоаналитический анализ имеет большое количество возможностей, одна из них – генерация новых вариантов планировки [14]. Для генерации графа потребуется программа Rhinoceros, а также плагин Grasshopper для написания скрипта (рис. 2). Скрипт – набор команд, состоящий из нодов. Нод – инструмент (алгоритм) воздействия на объект. Первым этапом является создание архитектурной модели в Rhino, а именно точек – основных элементов сада (вершин) и связей между ними (ребер). Для задания точек были использованы два нода Gene pool. Задаем точки с помощью осей координат XY, каждая из координат выставлена в своем Gene pool, в дальнейшем это даст возможность менять расположение точек, при том что они будут частью одной параметрической системы. Нод Construct point позволяет создать точку с помощью цифровых значений координат, которые мы записываем в Gene pool.

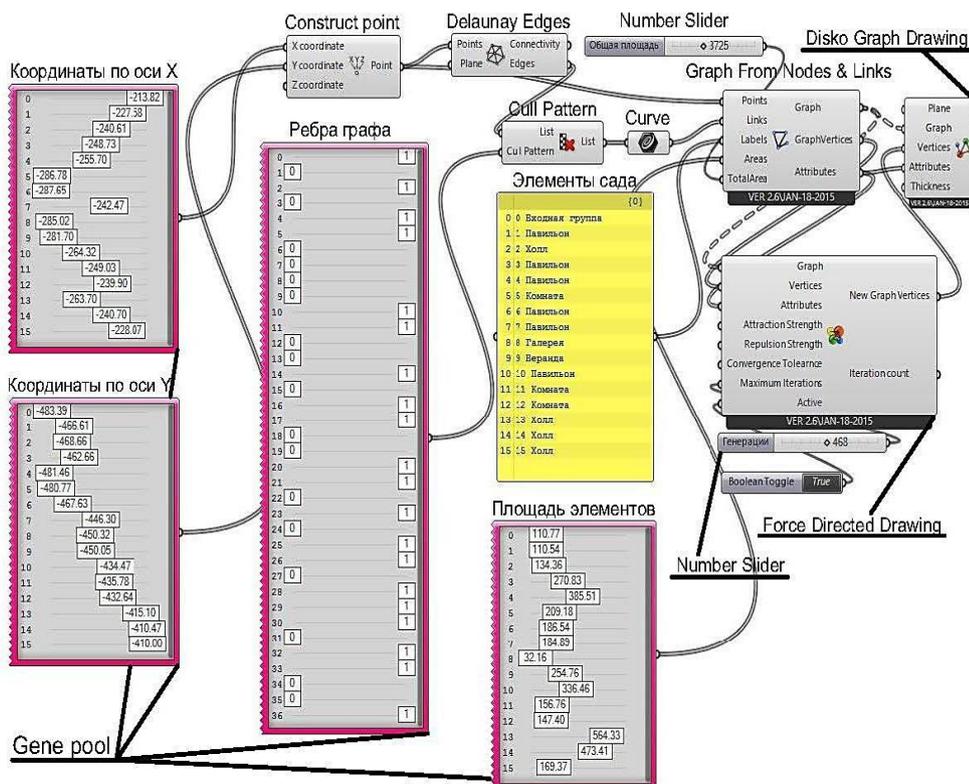


Рис. 2. Скрипт для генерации графоаналитических моделей

Так как для генерации новых планировочных моделей будет изменено не только расположение точек, но и связи между элементами, необходим нод, который будет соединять рядом расположенные точки между собой – это Delaunay Edges. В основе своей работы он использует триангуляцию Делоне. С помощью данного инструмента можно показать максимальное количество

связей внутри структуры, в графе Сада культивации – 37 связей. Далее используем Cull Pattern, это нод, который определяет количество пришедших в него данных (37 линий) и с помощью Gene pool дает возможность убрать или оставить каждую из позиций. Подключая Gene pool к Cull Pattern, выставляем два значения 0 и 1, где 0 – «выключение» линии, а 1 – «включение». Благодаря такой связке, возможно генерировать не только координаты точек по осям XY, но и связи между ними. И как бы ни были расположены точки – эти связи никогда не будут пересекаться, т. к. при каждом изменении элементов скрипт будет заново строить триангуляцию Делоне, создавая новые связи. После нода Cull Pattern переводим выходные данные в нод Curve для более корректной работы всего скрипта.

К созданному механизму генерации связей подключаем нод Graph From Nodes & Links, у него есть несколько входов: Points – точки, определенные с помощью координат XY; Links – связи между основными элементами, которые представлены в виде генерируемой системы; Labels – панель с указанием основных элементов системы, т. к. в исследовании будут генерироваться новые конфигурации, нет смысла прописывать исторические названия, поэтому все сооружения были определены по своим архитектурным морфотипам (входная группа, павильон, холл, комната, галерея и веранда); Areas – Gene pool с площадью каждого участка, в соответствии со списком, подключаемым в Labels; Total area – общая площадь исследуемой территории. На основании заданных значений в нод он создает граф и выдает данные для двух следующих нодов (Force Directed Drawing и Disko Graph Drawing), которые позволяют создать новые генерации планировочной модели.

К трем выходам из нода Graph From Nodes & Links подключаются одноименные входы в Force Directed Drawing и Disko Graph Drawing. И если Graph и Attributes являются числовыми значениями для различных задач в рамках графоаналитического анализа (расчет интеграции, глубины, энтропии, контроля и выбора), то Graph Vertices – это координаты вершин графа. Нод Force Directed Drawing предназначен для генерации новых расположений вершин и сохраняет заданные связи. К входу Maximum Iterations подключается Number Slider (генерации), который дает возможность переключаться между сгенерированными вариантами, для каждой модели свое максимальные значения генераций, зависящее от заданных связей, в некоторых случаях это значение превышает 1 000 000 вариантов планировок. К входу Active подключен Boolean Toggle, который включает или отключает весь нод. Disko Graph Drawing является нодом, создающим графическое представление сгенерированного варианта на основе числовых данных из нода Graph From Nodes & Links и новых координат вершин из Force Directed Drawing.

Генерация графоаналитических моделей

С данным скриптом генерировать новые планировочные структуры можно пятью способами.

1. Изменение координат по осям X и Y. В Gene pool заданы минимальные и максимальные значения координат, которые ограничены границами участка Сада культивации. Данный способ является самым сложным, т. к.

здесь присутствует большое количество значений в двух панелях, вероятность получения структуры, которую можно воплотить в проектировании, очень низка из-за большого диапазона координат по осям.

2. Изменение конфигурации ребер графа. При таком инструменте сохраняется «историческое» расположение элементов сада, связи между ними изменяют как вручную, так и с помощью случайного генерирования Gene pool. Это один из самых результативных способов генерирования «интересных» конфигураций, им легко управлять и выстроить необходимую структуру связей. Первый и второй способы подвергают изменению первоначальный продукт для генерации «сырье», и полученный результат не может в полной степени являться продуктом генерации с помощью графоаналитического метода. Следующие три метода меняют уже конечный результат, основанный на первых двух.

3. Изменение площадей каждого участка. Операцию можно провести как через случайную генерацию в Gene pool, так и вручную. Даже при незначительном изменении одного показателя меняется конфигурация всей структуры благодаря параметрической системе.

4. Изменение общей площади. Двигая ползунок Number Slider (Общая площадь), можем менять диапазон участка на новых генерациях сада. Вышеперечисленные два способа не могут кардинально изменить структуру, они меняют только расположение элементов, не изменяя и не перекрещивая связи.

5. Изменения варианта генерации – Number Slider (генерации). Если двигать ползунок в окне программы Grasshopper, то в окне программы будут отображаться новые варианты архитектурной модели, разработанные методом Force Directed Drawing.

Фактически можно обойтись только тремя последними инструментами для создания новой структуры. Разница между вариантами 1, 2 и 3, 4, 5 в том, что первая группа (1, 2) меняет первоначальную модель – «сырье» для генерации, а вторая группа (3, 4, 5) работает уже непосредственно на основе этого «сырья». Но при этом каждый из вариантов генерации тесно связан с другими и не может функционировать отдельно. Использование любого из инструментов дает массу результатов, но не все возможно применить к планировке сада.

Рассмотрим вариант с генерированием структуры с помощью способа 2. Этот инструмент сочетает в себе многие другие и является самым действенным на конфигурацию. Только с его помощью можно менять связи, а значит, влиять на пространственные значения структуры (глубина, интеграция, энтропия, контроль и выбор), изменение координат точек не влияет на расчет графоаналитической модели. Использование первого инструмента дает новое расположение изначальных точек, но этот же результат можно получить с помощью методов 3, 4 и 5. Результаты применения второго метода можно увидеть на рис. 3. При генерации новых связей большая часть вариантов состояла из двух и более отдельных частей, не соединённых между собой, поэтому некоторые связи приходилось подключать вручную. Из трех представленных генераций только правая может быть использована для создания сада, т. к. основная рекреационная зона усадьбы концентрируется вокруг водоема и имеет цикличную структуру, остальные два примера в большей степени представлены линейными моделями. Так как у сгенерированных схем нет гра-

ниц участка, каждая обрамлена прямоугольной рамкой по крайним элементам. Для лучшего восприятия пространства, сгенерированного для каждого элемента, была применена диаграмма Вороного.



Рис. 3. Генерированные структуры с помощью второго метода (изменение связей)

Использование методов 3, 4 и 5 может иметь различные результаты. На рис. 4 показаны варианты, которые невозможно применить к планировке сада или иного рекреационного сооружения. Из-за случайного генерирования компьютер распределяет некоторые элементы плотно, с большим количеством пересечений связей, что трудно реализовать на практике. Некоторые объекты могут располагаться на большом расстоянии от остальных, что мы видим на двух примерах.

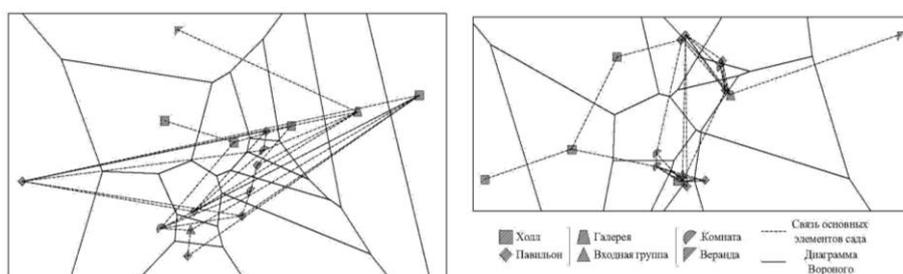


Рис. 4. Непланарные генерированные структуры, созданные с помощью четвертого и пятого методов

Использование этих методов может давать и вполне реалистичные модели (рис. 5). В данных примерах сохранены как элементы, так и связи между ними, полностью соответствуя Саду культивации. Но их пространственное представление различно. Сравнивая все полученные генерации, можно отметить, что только вариант, созданный с помощью третьего метода, является наиболее схожим с первоисточником.

Правый пример имеет более логичную, понятную и цикличную структуру, что сразу определяет расположение водоема в центральной части схемы. Но некоторые из элементов расположены так, что их связи пересекаются, и реализовать такую схему будет весьма проблематично при остальных досто-

инствах. У левого варианта отсутствует цикличная структура, но имеются предпосылки к ней. Аналогичное планировочное решение, когда в саду отсутствует круговая дорожка вокруг водоема, можно встретить в Саду мастера рыбацких сетей [18]. Несмотря на имеющееся пересечение связей, этот пример будет реализовать гораздо проще. Данное графоаналитическое представление было использовано для дальнейшей разработки и создания плана сада.

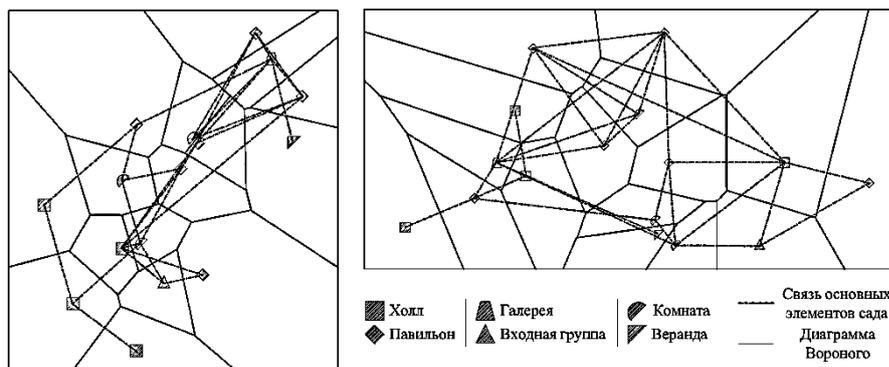


Рис. 5. Генерированные структуры, которые были созданы с помощью третьего метода

Создание плана на основе графоаналитической схемы

Весь процесс можно разделить на несколько этапов, первый – это определение границ участка и распределение застройки (рис. 6). Уже при создании планировки сада на основании сгенерированной структуры на архитектора накладываются ряд ограничений, которые также помогают ему в дальнейшем создать проект. Основные – это характеристика элементов, к примеру, холл и комната в традиционном саду очень редко расположены как отдельно стоящие здания, соответственно, они будут формировать пятно застройки. Чего нельзя сказать о павильонах, которые чаще строятся в живописных частях усадьбы, они являются центрами зеленой зоны, создавая вокруг себя среду, и в то же время являются доминантами ландшафта, это проявляется как в расположении на возвышенности (на холме), так и в различных формах береговой линии. И все же основным формообразующим фактором являются связи, они создают динамичное восприятие пространства, открывая панорамные виды на постройки комплекса. Распределение на объекты дает первоначальное понимание размещений функций в пространстве, но связи придают форму этим функциям и среде. Порой для коммуникации двух элементов приходится прокладывать новые пешеходные дорожки, менять границы водоема или конфигурацию застройки. Используя данную схему, на основании расположения элементов и их связей можно сделать вывод, что левая часть – жилая зона, из-за большой концентрации холлов и комнат, которые также расположены на большом расстоянии. В правой части сгенерировались павильоны, веранда, галерея и несколько комнат, что является более традиционным набором для зоны сада, нежели левая часть структуры. Ввиду отсутствия конкретного

участка для проектирования границы территории будут заданы произвольно. В центре правой части расположена пустая зона, в которой будет размещён пруд. Несмотря на кажущуюся простоту графоаналитической схемы, соблюдение связей является большой проблемой, т. к. программа хаотично расставляет элементы и в алгоритме отсутствуют пространственные ограничения, которые способствовали бы более корректной генерации архитектурных моделей. С другой стороны, этот путь ставит архитектора перед сложными задачами, заставляя придумывать обходные пути различных объектов с помощью галерей и дорожек вдали от основных маршрутов, а также разделяя пространства с помощью ландшафтных объектов.

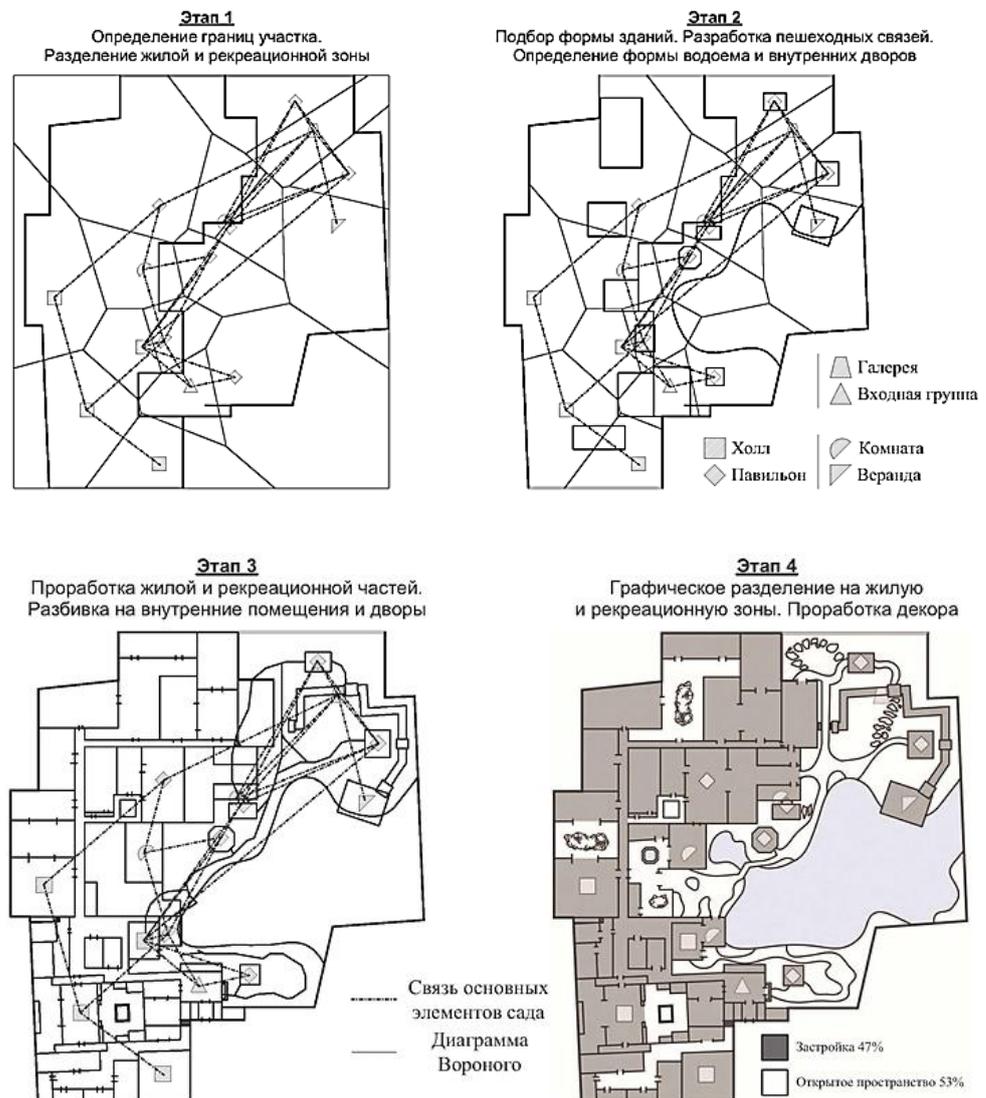


Рис. 6. Поэтапное создание планировки из графоаналитической модели

Следующим этапом после придания формы основным элементам и создания пешеходных путей является определение стиля дорожек, небольших площадок и внутренних двориков, оформление границ водоема, не говоря уже об общем архитектурном единстве сооружений. Некоторые планировочные решения в виде формы построек и ландшафтного наполнения были заимствованы в первую очередь из Сада культивации, а также из наиболее известных садов г. Сучжоу. В данной работе был создан только генеральный план как итоговый продукт процесса генерации. При дальнейшем проектировании, выборе материалов, архитектурного стиля и прочих деталей сада неизбежны корректировки, но в любом случае у архитектора будет первоначальная схема, на которую можно опираться и выстраивать дальнейшую проектную деятельность.

Заключение

В результате работы был исследован Сад культивации, создано его графоаналитическое представление, разработан скрипт для генерации новых графов сада и рассмотрены варианты планировочных схем. На этом этапе также показано и несовершенство данной системы в виде нежизнеспособных вариантов графа, а также видна роль человека, который благодаря своим знаниям и опыту может отобрать результат, наиболее схожий с оригиналом. Тем не менее скрипт позволяет сэкономить большое количество времени при переборке различных вариантов расположения и связей элементов, на которые человек бы потратил не один час.

Пять описанных инструментов генерации в данном скрипте могут суммарно создать более 1 000 000 графоаналитических моделей, но далеко не все могут быть применимы на практике. Ф. Сидман рассчитывал количество компоновочных вариантов с различным набором элементов. Так, к примеру, модель из 10 элементов может иметь 423 724 компоновочных варианта, в данном случае говорится не о размерах и расположении элементов, а о вариациях их связи между собой [17]. При этом количество версий, которые можно использовать как реальную планировку, составляет 4655. Возвращаясь к примеру Сада культивации, где число элементов в системе 16 и даже количество планарных примеров компоновки такой модели будет более 10 000 вариантов, следует задать вопрос, сколько вариантов из полученных можно использовать как эскизную схему для частного китайского сада и что именно отличает компоновку исследуемого сада от остальных, кроме визуального представления модели? Разобранный в статье пример отображает лишь набор элементов, связность и пространственные свойства исследуемого участка, что является далеко не всем набором характеристик традиционного частного китайского сада. Полученный результат в виде планировки визуально соответствует оригиналу и имеет схожие пропорции в отношении застройки (47 %) и открытых зон (53 %), у Сада культивации 43 % застройки и 57 % зеленых зон. Но это далеко не все параметры, по которым пространство может считаться схожим с аналогом, особенно относительно культовых сооружений. Результат исследования показывает возможность цифрового анализа ландшафтных объектов с помощью графоаналитической схемы и дальнейшего генерирования и создания планировки. Даже с вышеупомянутыми ограничениями это уже является видимым результатом, который будет в дальнейшем совершенствоваться.

Конечно, начинать проектирование надо с анализа участка, с последующим распределением функциональных зон, именно так и делались традиционные частные сады, где первоначально учитывается водоем и ландшафтные особенности. А уже после используются Багуа, Лошу и прочие инструменты, трактаты и законы сада, имитация которых представлена в статье. Тем не менее не стоит отрицать возможность создания планировки, как первоочередного этапа всей схемы, в соответствии со всеми требованиями, под которую уже впоследствии будет изменен участок. Это дает актуальность текущему исследованию и возможность генеративному проектированию считаться основным из инструментов планирования.

Дальнейшие разработки по теме будут проходить в двух направлениях: выявление ограничений для скрипта таким образом, чтобы он сам отсеивал варианты, непригодные к реализации. И написание скрипта, автоматически создающего из графоаналитического представления модель объекта таким образом, чтобы автор мог видеть конечный результат сгенерированной планировки в различных вариациях, а не схему элементов и связей между ними.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Айтель Э.* Фэншуй – наука китайской древности / пер. с англ. М.Е. Ермакова. Санкт-Петербург : Петербургское востоковедение, 1988. 272 с.
2. *Витрувий М.* Десять книг об архитектуре. Москва : Архитектура-С, 2006 (1936). 327 с.
3. *Иконников А.В.* Пространство и форма в архитектуре и градостроительстве. Москва : URSS, 2006. 352 с.
4. *Иконников А.В.* Художественный язык архитектуры. Москва : Искусство, 1985. 175 с.
5. *Карабцев С.Н., Стуколов С.В.* Построение диаграммы Вороного и определение границ области в методе естественных соседей // Вычислительные технологии. 2008. № 3. С. 65–80.
6. *Лао-Цзы* (6–5 вв. до н. э.). Дао-Дэ Цзин, или Трактат о пути и морали / пер. с древнекит. Л.И. Кондрашовой. Москва : РИПОЛ классик, 2003. 222 с. ISBN 5-7905-1849-4.
7. *Лучкова В.И.* Пятнадцать задач по архитектурной семиотике. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. 49 с.
8. *Мельников И.* Фэншуй. Основные принципы. Litres, 2017. 238 с.
9. *Целуйко Д.С.* The research of the elements and planning structure of the Chinese garden. Using result to create a sketch design // Город: пространства коммуникаций : материалы Двадцать четвертого Межуниверситетского симпозиума по проблемам крупных азиатских городов. 2019. С. 253–262.
10. *Целуйко Д.С.* Анализ частных садово-парковых комплексов исторического центра города Сучжоу // Учёные записки отдела Китая. Вып. 29 : 49-я научная конференция «Общество и государство в Китае». Москва : Институт востоковедения РАН, 2019. Т. LIX. С. 476–484.
11. *Чинси Л.* Классические сады и парки Китая. Межконтинентальное изд-во Китая, 2003. 154 с.
12. *Шевелев И.Ш.* Основы Гармонии. Визуальные и числовые образы реального мира. Москва : Луч, 2009. 360 с.
13. *Шубенков М.В.* Структура архитектурного пространства : диссертация на соискание ученой степени доктора архитектуры : 18.00.01. Москва, 2006. 335 с.
14. *Bondy J., Murty U.* Graph Theory with Applications. Elsevier Science Ltd/North-Holland, 1976. 264 p.
15. *Li Z.* The Classical Gardens of Suzhou. Shanghai Press and Publishing Development Company, 2006. 192 p.
16. *Nourian P., Rezvani S., Sariyildiz S.* A syntactic architectural design methodology: Integrating real-time Space Syntax analysis in a configurative architectural design process // Conference: 9th Space Syntax SymposiumAt: Seoul, South Korea. 2013. P. 1–15.

17. *Steadman Ph.* The Evolution of Designs Biological Analogy in Architecture and the Applied Arts. Cambridge University Press, 1979. 302 p.
18. *Stewart R. Johnston.* Scholar gardens of China: a study and analysis of the spatial design of the Chinese private garden. Cambridge : Cambridge University Press, 1991. 351 p.
19. *Tseluiko D.S.* Garden space. Morphotypes of private gardens of Jiangnan region // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 775. Pt. 1. P. 1–7. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/775/1/012058/pdf>
20. *Tseluiko D.S.* Influence of Shamanism, Taoism, Buddhism and Confucianism on development of traditional Chinese gardens // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 687. Pt. 1. P. 1–6. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/687/5/055041/pdf>
21. *Tseluiko D.S.* Space structure features of the Garden of Cultivation in the context of traditional private gardens of Suzhou // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. V. 775. Pt. 1. P. 1–6. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/775/1/012077/pdf>

REFERENCES

1. *Eitel E.J.* Fenshui – nauka kitaiskoi drevnosti [Feng-shui, or the rudiments of natural science in China]. Saint-Petersburg: Peterburgskoe vostokovedenie, 1988. 272 p. (transl. from Engl.)
2. *Vitruvius Pollio M.* Desyat' knig ob arkhitekture [The ten books on architecture]. Moscow: Arkhitektura-S, 2006. 328 p. (transl. from Lat.)
3. *Ikonnikov A.V.* Prostranstvo i forma v arkhitekture i gradostroitel'stve [Space and form in architecture and urban planning]. Moscow, 2006. 352 p. (rus)
4. *Ikonnikov A.V.* Khudozhestvennyi yazyk arkhitektury [Artistic language of architecture]. Moscow: Iskusstvo, 1985. 175 p. (rus)
5. *Karabtsev S.N., Stukolov S.V.* Postroenie diagrammy Voronogo i opredelenie granits oblasti v metode estestvennykh sosedei [Construction of the Voronoi diagram and determination of the boundaries of the region in the method of natural neighbors]. *Vychislitel'nye tekhnologii*. 2008. No. 3. Pp. 65–80. (rus)
6. *Lao Tzu* (6–5 centuries BC). Tao-Te Ching, or treatise on the way and morality. Moscow: RIPOK klassik, 2003. 222 p. (transl. from Chin.)
7. *Luchkova V.I.* Pyatnadsat' zadach po arkhitekturnoi semiotike [Fifteen tasks on architectural semiotics]. Khabarovsk, 2012. 49 p. (rus)
8. *Melnikov I.* Fenshui. Osnovnye printsipy [Feng Shui. Basic principles]. Liters, 2017. 238 p. (rus)
9. *Tseluiko D.S.* [Elements and planning structure of the Chinese garden. Using result to create a sketch design]. In: Gorod: prostranstva kommunikatsii: materialy Dvadsat' chetvertogo Mezhuniversitetskogo simpoziuma po problemam krupnykh aziatskikh gorodov (*Proc. 24th Univ. Symp. 'The City: Spaces of Communication'*). 2019. Pp. 253–262. (rus)
10. *Tseluiko D.S.* Analiz chastnykh sadovo-parkovykh kompleksov istoricheskogo tsentra goroda Suzhou [Analysis of private garden and park complexes in the historical center of Suzhou]. In: Uchenye zapiski otdela Kitaya. Vyp. 29: 49-ya nauchnaya konferentsiya “Obshchestvo i gosudarstvo v Kitae” (*Proc. 49th Int. Sci. Conf. 'Chinese Society and Government'*). 2019. No. 29. V. XLIX. Pp. 476–484. (rus)
11. *Chinsi L.* Klassicheskie sady i parki Kitaya [Classical Chinese gardens]. *Mezhkontinental'noe izd. Kitaya*. 2003. 154 p.
12. *Shevelev I.Sh.* Osnovy Garmonii. Vizual'nye i chislovye obrazy real'nogo mira [Fundamentals of Harmony. Visual and numerical images of the real world]. Moscow: Luch, 2009. 360 p. (rus)
13. *Shubenkov M.V.* Struktura arkhitekturnogo prostranstva: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora arkhitektury [The structure of architectural space. DSc Thesis]. Moscow, 2006. 335 p. (rus)
14. *Bondy J.U.* Murty Graph theory with applications. North-Holland: Elsevier Science Ltd., 1976. 264 p.
15. *Li Z.* The classical gardens of Suzhou. Shanghai Press and Publishing Development Company, 2006. 192 p.

16. *Nourian P., Rezvani S., Sariyildiz S.* A syntactic architectural design methodology: Integrating real-time Space Syntax analysis in a configurative architectural design process. *Proc. 9th Conf. 'Space Syntax Symposium'* Seoul, South Korea, 2013. Pp. 1–15.
17. *Steadman Ph.* The evolution of designs biological analogy in architecture and the applied arts. Cambridge University Press, 1979. 302 p.
18. *Stewart R.J.* Scholar gardens of China: A study and analysis of the spatial design of the Chinese private garden. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 351 p.
19. *Tceluiko D.S.* Garden space. Morphotypes of private gardens of Jiangnan region. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 775. Pp. 1–7.
20. *Tceluiko D.S.* Influence of Shamanism, Taoism, Buddhism and Confucianism on development of traditional Chinese gardens. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 687. Pp. 1–6.
21. *Tceluiko D.S.* Space structure features of the Garden of Cultivation in the context of traditional private gardens of Suzhou. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. V. 775. Pp. 1–6.

Сведения об авторе

Целуйко Дмитрий Сергеевич, ст. преподаватель, Тихоокеанский государственный университет, 680042, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская 136, Dima123117@gmail.com

Author Details

Dmitrii S. Tceluiko, Senior Lecturer, Pacific National University, 136, Tikhookeanskaya Str., 680035, Khabarovsk, Russia, Dima123117@gmail.com

УДК 72.01

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-73-84

*Т.В. НЕГУЛЯЕВА, С.Ф. ДЯДЧЕНКО,
Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.*

АРХИТЕКТУРА И ФИЛОСОФИЯ АНТИЧНОСТИ: СТАНОВЛЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ В АРХИТЕКТУРЕ

Феномен классического направления в архитектуре состоит в его способности к эволюционизированию – поступательному развитию во временном контексте и, как следствие, в его неугасающей актуальности по сей день. В статье рассматривается становление и развитие классической архитектурной мысли в период античности как основы для исследования классицистических тенденций последующих периодов, вплоть до настоящего времени.

Цель исследования – выявление наиболее устойчивых канонов формообразования классической античной архитектуры.

Научная новизна состоит в системном подходе к изучению эволюции античной архитектурной теории, учитывающей многообразие внешних факторов и опирающейся на античную философию.

Основным уровнем научного познания принят теоретический (исторический) метод, предполагающий изучение информации – графических и текстовых материалов, освещающих контекст эпохи, а также системный анализ материала с выявлением основных принципов формирования стиля.

В результате исследования выявлены особенности архитектурной мысли античности, которые, развиваясь в неразрывной связи с философией, определили дальнейшее развитие классического направления в архитектуре.

Ключевые слова: античность; классическая архитектура; философия; Древняя Греция.

Для цитирования: Негуляева Т.В., Дядченко С.Ф. Архитектура и философия античности: становление классического направления в архитектуре // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 73–84.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-73-84

*T.V. NEGULYAEVA, S.F. DYADCHENKO,
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov*

ARCHITECTURE AND PHILOSOPHY OF ANTIQUITY: THE FORMATION OF CLASSICAL ARCHITECTURE

The classical architecture is being constantly developed in time, and, consequently, is relevant nowadays. The paper deals with the development of classical architectural in antiquity up to the present time. This is necessary for further study of modern architecture. The aim of this work is to identify the most stable formation of the classical antique architecture. Scientific novelty lies in the systematic approach to the studying the evolution of ancient architectural theory, taking into account a variety of external factors and based on ancient philosophy. The main level of scientific knowledge is a theoretical (historical) method, which involves a study of graphic and textual information covering the era as well as a systematic analysis of the material for the identification of basic principles of the antique architecture. It is shown that the

main principles of the antique architecture are being developed in a close connection with philosophy, and determine the further development of the classical direction in architecture.

Keywords: antiquity; classical architecture; philosophy; Ancient Greece.

For citation: Negulyaeva T.V., Dyadchenko S.F. Arkhitektura i filosofiya antichnosti: stanovlenie klassicheskogo napravleniya v arkhitekture [Architecture and philosophy of antiquity: The formation of classical architecture]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 73–84.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-73-84

На формирование архитектурной мысли влияют внешние факторы: географическое положение, государственный строй, культура и мировоззрение, религия, наука, искусство, техника и др. Но контексты, в которых развивается архитектура, разнообразны и с трудом приводятся к общему знаменателю. Несмотря на это, классическая архитектура находит приемы и методы, отвечающие потребностям общества в определенный временной период его развития, и решает поставленные перед ней задачи. Эта уникальная способность является наиболее значимым фактом развития классических направлений в архитектуре. Возникает потребность в углубленном рассмотрении контекста, в его широком понимании, как комплекса факторов, влияющего на формирование архитектурной мысли того или иного времени. И здесь важную роль играет *философия*, являющаяся индекса́тором социально-культурных, политических и мировоззренческих тенденций. Опора на философию традиций дает ключ к пониманию глобальных процессоров в архитектуре [2].

Культура Древней Греции как контекст развития архитектуры

Практически каждый новый этап в развитии архитектуры в той или иной мере опирается на классическое наследие. Б.П. Михайлов в книге «Витрувий и Эллада» отметил актуальность древнегреческого наследия для многих последующих эпох, в котором имеется плодотворный способ решения новых задач.

Непревзойденный эталон классической архитектуры получил свое рождение в период античной Греции. Основная база современной западной цивилизации была заложена в античной культуре [3]. Древнегреческая цивилизация уникальна, начиная с характеристик *окружающей природы* с соразмерными пространствами, которые мог охватить человеческий взор, и заканчивая пантеоном богов, которые соответствовали явлениям природы и были наделены человеческими качествами. Греков, в отличие от древневосточных жителей, не окружали огромные немасштабные пространства. Среда была осязаема и понятна, люди не чувствовали себя потерянными. Окружающий мир был соразмерен и сомасштабен, стройно поделен на части естественными гранями. Находясь в море, человек никогда не терял из вида сушу, благодаря часто расположенным островам. Находясь на вершине любой горы, можно было осмотреть всю страну [5]. Мир воспринимался объятим человеком, который в своей качественной деятельности уподоблялся божествам. Стремление познать, понять и описать окружающий мир выразилось в возникновении и развитии философской мысли – основного научного направления, пронизанного духовным, поэтическим и образным началом.

Так как архитектура часто связана с общественным началом эпохи и отражает коллективный разум города, государства, допустимо предположить, что для понимания античных традиций в архитектуре необходимо раскрыть сущность творчества древнегреческих мастеров. В результате падения античной цивилизации были утрачены многие произведения культуры, а также все сочинения древнегреческих зодчих. Прямые свидетельства об античной архитектурной теории не дожили до современности [1]. До нашего времени дошли лишь некоторые объекты культуры. Но, изучив и проанализировав памятники древнегреческого зодчества, невозможно в полной мере осознать природу архитектуры. Необходимо обратиться к теории архитектуры и философии. Основной труд, на который можно положиться в исследовании, оставлен нам Витрувием. Он, в свою очередь, опираясь на многие утраченные источники, сотворенные в соответствующий период, создал трактат, описывающий все основные правила построения античной архитектуры. В настоящее время очень сложно понять суть многих рассуждений автора. Уже в X в. н. э. греко-византийский теоретик говорил об утрате понимания древних методов изложения информации. Старые термины вышли из обихода, стали в большинстве чуждыми либо применительными совершенно в иных смыслах. Забытые понятия «экономия», «соразмерность», «аналогия», «размещение», «эвритмия», «декорум», «строй» в период античности являлись основой теории архитектуры и поэтому должны быть раскрыты и поняты [1].

Одним из основных контекстов развития архитектурной мысли является *государственный строй* и отношение к нему общества. Описывая его, древнегреческие философы дали довольно точную и жизнеспособную классификацию государственных форм. Они выявили такие формы правления, как монархия и тирания, аристократия и олигархия, полиция и демократия. Эти пары рассматривались как правильный или неправильный тип правления в каждой из форм. Совершенной формой правления считалась смешанная, сочетающая в себе лучшие качества разных форм (олигархии и демократии) [12]. Платон и Аристотель считали демократию наихудшей формой правления и выступали против допущения народа к управлению государством. Но смысл этого состоял не в дискриминации социальных слоев, а в поиске высочайших качеств в правящей элите. Аристотель писал, что человек, занимающий высшие должности, должен обладать тремя качествами: обязательностью, добродетелью и справедливостью, сочувствием к существующему строю. В описаниях государственных и политических систем мы видим стремление к совершенствованию процесса жизнедеятельности общества, провозглашение культа человека разумного и мудрого.

Отражая политическое устройство общества, архитектура приобретает характер рукотворной среды, созданной для проведения общественно значимых мероприятий и являющейся фоном для повседневности. Эта среда должна была не только отвечать функциональным требованиям, но и проявлять высочайшие эстетические характеристики, уподобляясь красоте природы, подчеркивая человеческие возможности и его значимость в окружающем мире. Так же как человек уподобляется божествам, архитектурная среда уподобляется природной, проявляя единство и цельность в многообразии, масштабность

(рис. 1). Афинский Акрополь вырастает из горы мягко и лаконично, является ее продолжением, подчиняется общему природному ландшафту, венчает композицию. Архитектурный ансамбль подчиняется закономерностям природного окружения и учитывает необходимый для функционирования сценарий. Так же, как и природный пейзаж, он состоит из пространств и сходных объектов, подчиненных общей идейно-функциональной мысли Творца (Бога или Человека) (рис. 2).

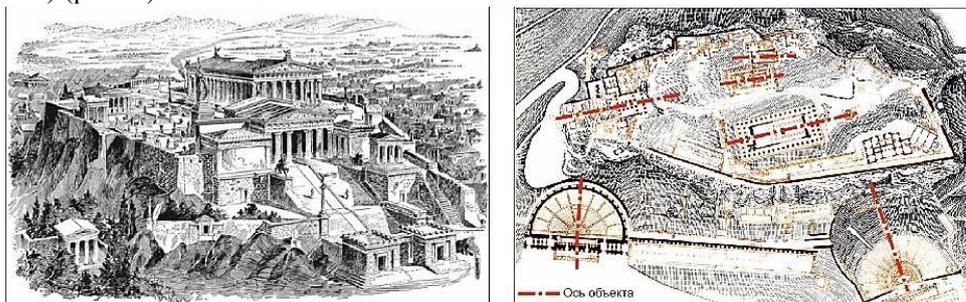


Рис. 1. Афинский Акрополь как рукотворный элемент, продолжающий и подчеркивающий природный пейзаж

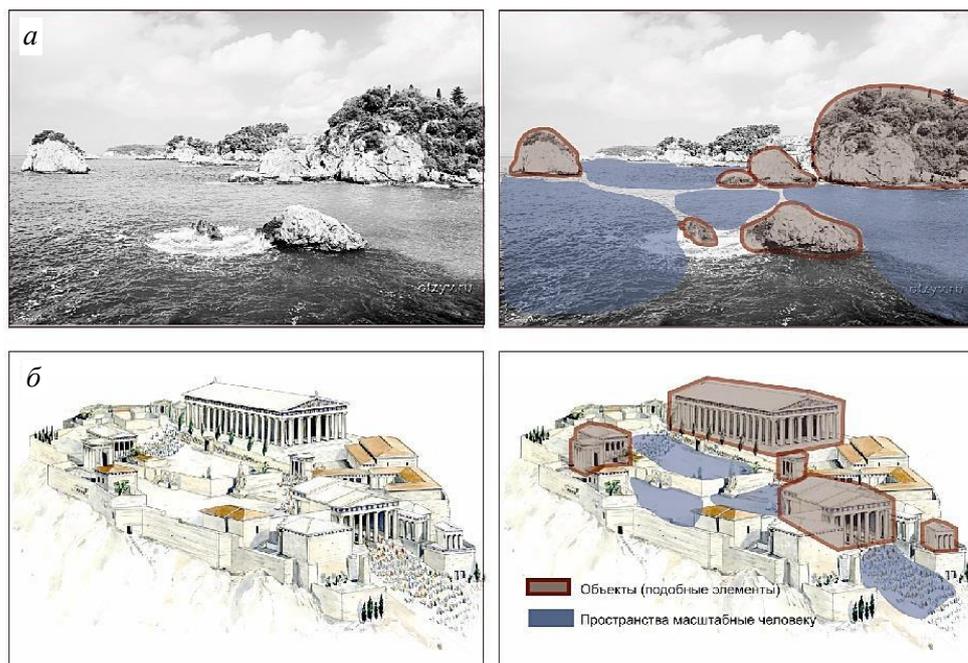


Рис. 2. Аналогичные трактовки гармонизации среды:
а – средиземноморский пейзаж; б – Афинский Акрополь

Религия была неотъемлемой частью социальной и политической жизни граждан, поэтому ее изучение и понимание является чрезвычайно важным аспектом для понимания образа мысли греков.

«Выявляя могущество своего разума и силу общества, членом которого он является, человек возводит монументальные общественные сооружения и храмы. Они подтверждают монументальную силу человека, возвышают его до положения богов, образы которых он лепит с самого себя. Таким образом, архитектура и образы древнегреческих божеств оказываются тесно взаимно связанными»[1]. Сама же архитектура древнегреческого периода носит в основном храмовый характер.

Также для понимания древнегреческого мировоззрения важно вспомнить, что различные виды искусства (в том числе и архитектура) в это время не отделялись друг от друга. Архитекторы творили скульптуру и живопись, музыкальный строй применялся в архитектуре (рис. 3). Вместе с тем искусство и наука также были едины. Философия в себе объединяла все науки и опиралась одновременно на естествознание и на мифологию.

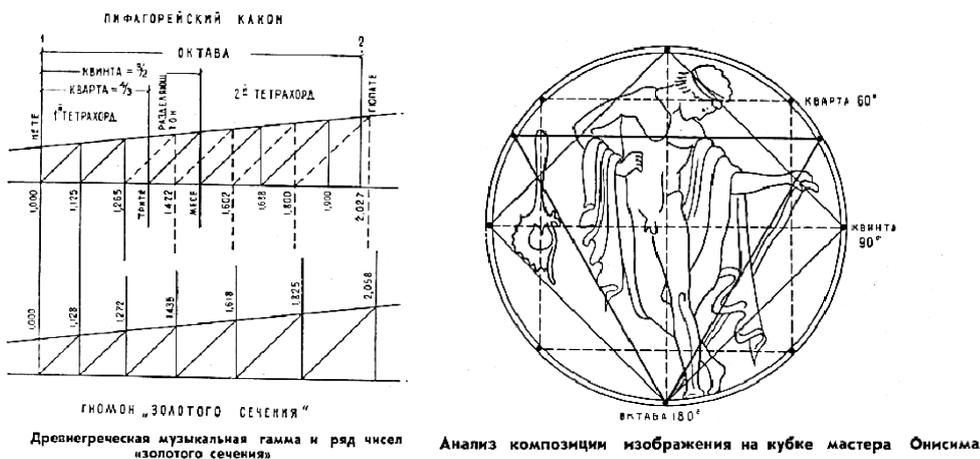


Рис. 3. Единые приемы гармонизации в различных видах древнегреческого искусства [1]

Труды античных мыслителей Платона, Аристотеля, Сократа и других, наряду с разнообразием *мировоззренческих* теорий, объединены общей идеей понимания науки и искусства как единого целостного продукта, являющегося результатом развития человеческого разума. Понятия, проникающие в науку и искусство того времени, описываются краткой формулой – Человек, Вселенная и Бог – едины.

Основы теории архитектуры лежат в миропонимании и мировосприятии древнегреческих философов. Б.П. Михайлов писал о том, что мифология стала основной почвой для развития древнегреческой научной философии и искусств. Кроме того, все развитое в древнегреческий период науки и искусства были пронизаны архитектурным мировоззрением. Сама же архитектура являлась основным искусством, а теория архитектуры – главной наукой [1]. В одной из своих работ К. Маркс отметил, что духовные сношения людей и их представления являются прямым порождением материальной практики.

Именно внимательное отношение к окружающему миру, желание понять самого человека и принципы его взаимодействия с природой отслежива-

ются в архитектурной теории и практике античности. Основные характеристики архитектурного творчества как бы «списаны» с внешнего мира (рис. 4).

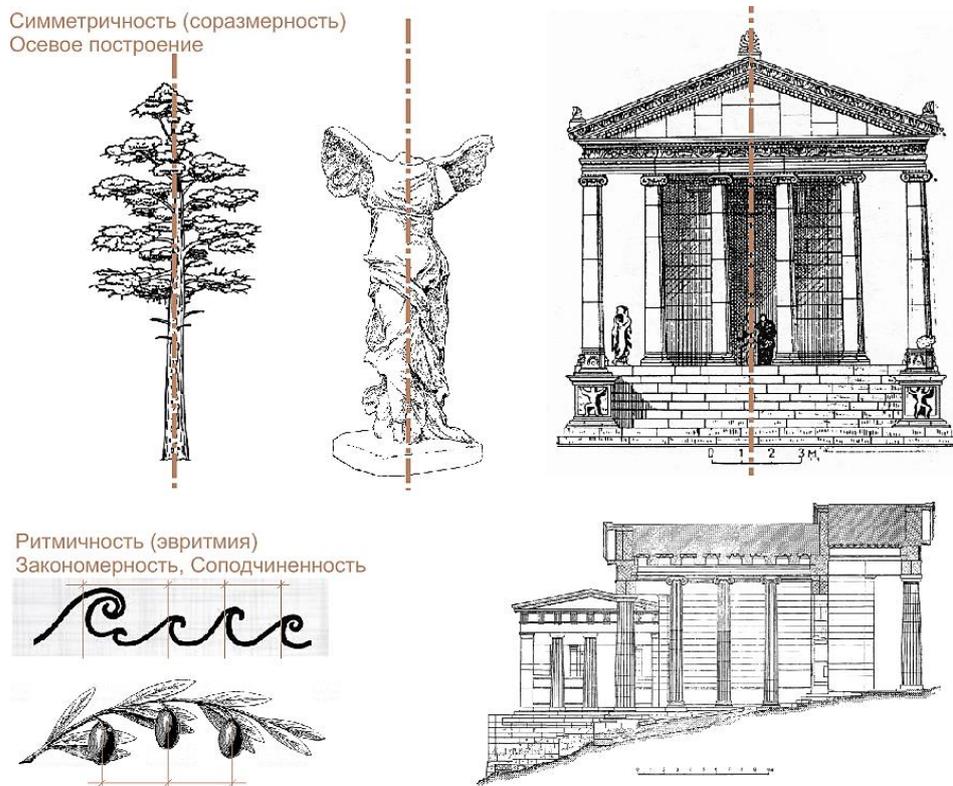


Рис. 4. Примеры заимствования у природы основных характеристик архитектуры (URL: <http://kannelura.info/?p=1444>; https://etc.usf.edu/clipart/19200/19255/nike_samothr_19255.htm; <http://drawing-of.eu/drawing-of-pines>; <https://paintingvalley.com/olive-sketch>; <https://archisto.cvet-m.ru/armenya-hramy.html>)

Понимание архитектуры здесь как продолжение природы, которая является средой обитания для человека и решает его различные утилитарные задачи, но в то же время имеет высочайшие нерукотворные характеристики, вмещающие в себя наилучшие качества из всех понятых человеком. Человеческое творчество находится в согласии с природой, дополняет ее и делает более выразительной [1].

Древнегреческие зодчие трактовали архитектуру одновременно как искусство и как среду обитания (продолжение природы, которая величественна и идеальна сама по себе). Зодчий здесь философ, ученый и художник, преклоняющийся перед мудростью и величием окружающего мира, перед гением Творца, ищущий эталон гармонии в природе. Он ставит перед собой высочайшие задачи – опираясь на законы Вселенной, создать произведение, не только решающее утилитарные задачи, но событие, достойное этого мира, выстроенное посредством законов, работающих для всех видов искусств (музыки, лите-

ратуры, скульптуры, живописи, архитектуры). И это произведение должно не только улучшить среду обитания, но и скрыть недостатки Природы. Поэтому в философских трудах античности, при описании идеальных характеристик архитектуры, мыслители ищут сравнительные образы в окружающем мире. Апулей говорил о том, что только подражание миру может быть стройным и прекрасным. Основным же принципом греческого искусства не является простота, как говорят многие, указывая на сдержанность в творчестве, но является «единство в многообразии»... и «ничего слишком»... Однако многообразие, не приведенное к единству, близится к хаосу, к «безобразию» [1].

Архитектурная теория в философии античности

Наиболее часто встречающаяся в трудах античных мыслителей характеристика искусства – *гармония* – основа мира, сама природа. В архитектуре этой тенденции отвечало стремление зодчих продемонстрировать образ истинной гармонии как модель своего миропонимания. Проявляется она в сочетании предела и беспредельного, является вечной природой вещей и подлечит божественному, но не человеческому ведению, несет в себе уравновешенность ритмического движения и его закономерность, писали древнегреческие мыслители [7].

В древнегреческих философских трудах описаны основные средства гармонизации архитектуры. Прежде всего, отмечено, что основным средством при создании зданий является художественно осмысленная стоечно-балочная *система ордеров*, символизирующая образ человека. Мужское начало (четкость, лаконичность, статичность, уверенность) передается в дорическом ордере; женское начало (ажурность, нарядность, изысканность) – в ионическом. Коринфский ордер возник последним и является развитием ионического. Пропорции его становятся более стройными, формы – гибкими. Таким образом, посредством понимания проявления женского и мужского начал в общественных процессах формируются образные характеристики архитектуры. Ордерная система очень емка и многослойна по своим смысловым, эмоциональным, художественным и тектоническим характеристикам, что позволяет ей блестяще решать многие архитектурные задачи (рис. 5).

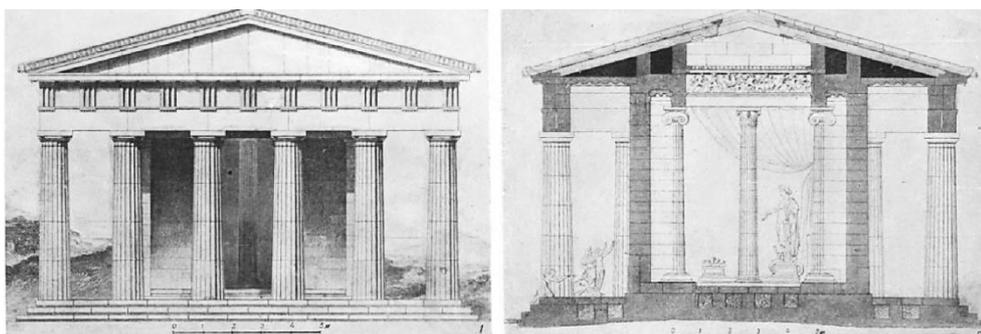


Рис. 5. Создание разных впечатлений от фасада объекта и от его интерьера посредством применения различных ордерных систем на примере храма Аполлона в Бассах

И.Б. Михайловский так резюмирует сущность классических форм: при рассмотрении ордера можно убедиться в том, что его составные элементы возможно разделить на главные и второстепенные. Во всех ордерах главные и второстепенные элементы, широкие и узкие, прямолинейные и криволинейные, чередуются.

Последователи Пифагора писали, что архитектурная мысль, как и весь окружающий мир, создается путем *гармонизации и уравнивания противоположных начал*. Аристотель выделил десять пар противоположных начал, которые используются в искусстве, это такие как нечет и чет, предел и беспредельное, единое и множество, мужское и женское, правое и левое, покоящееся и движущееся, свет и тьма, прямое и кривое, квадратное и разностороннее, хорошее и дурное. Все искусство античности полагает эстетическую ценность в синтезе противоположностей (рис. 6).

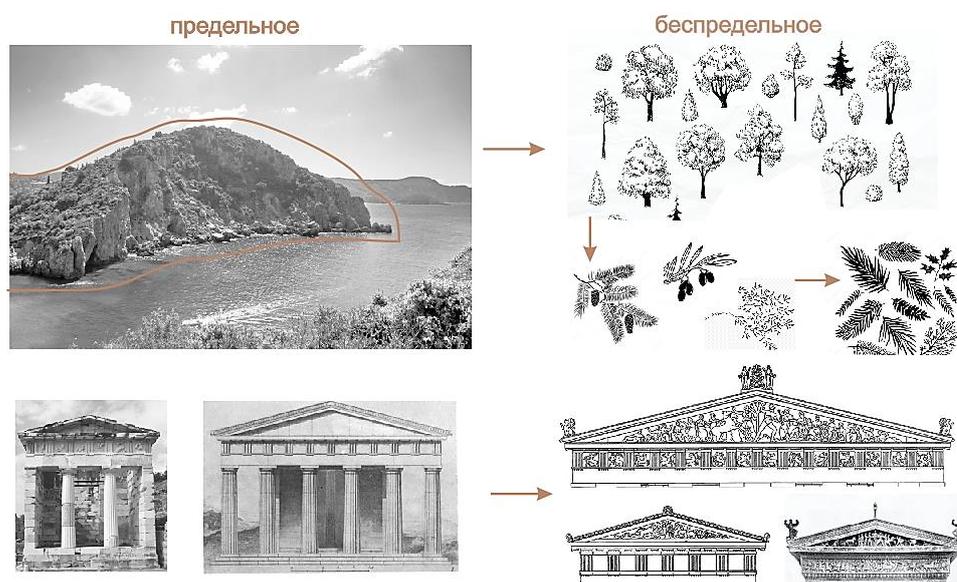


Рис. 6. Синтез противоположностей в природе и архитектуре на примере категорий предельного и беспредельного (URL: https://studopedia.su/10_167290_arhitekturnie-ansambli-i-kultovoe-zodchestvo-vtoroy-polovini-V-v-do-n-e.html; <https://wallhere.com/ru/wallpaper/149396>; https://historicus.ru/vseobshaya_istoriya_architekturi_tom_ii; <https://paintingvalley.com/olive-sketch>; <https://amika-art.ru/risuem-derevja-dlja-sketchtj>; <https://in.pinterest.com/pin/336081190937947419>)

Также к средствам гармонизации относятся: *пропорциональность или аналогия, соразмерность или симметрия, рациональность членений, иерархичность* – связь отдельных элементов с общим, *соподчиненность, эвритмия, применение правильных геометрических тел, экономия и декорум*. Описанные понятия неточно соответствуют современным представлениям. К примеру, под соразмерностью (греческое – симметрия) принято было считать соотношение частей относительно друг друга, перечень и количество этих частей, место расположения каждой части и общую симметричность их расположения.

Методы гармонизации архитектуры, сформулированные древнегреческими мыслителями

Единство в многообразии форм и пропорций – формула практики греческого зодчества... метод аналогии или единой пропорции служит основой гармонии [1].

Основа мира – *сочетание предела и беспредельного* – гармония. Природа гармонии состоит в сущности вещей, будучи самой их вечной природой, и подлежит божественному, но не человеческому ведению [7].

Все возникает из пропорции. *Пропорция* есть соразмерность, т. е. соответствие частей всему сооружению и рациональность членения [1].

Правильная композиция любого храма основана на *соразмерности и пропорции* и на тех членениях, какие имеются у хорошо сложенного человека [8].

Еще во времена Пифагора было известно три вида средних величин (пропорций): геометрическая, арифметическая и гармоническая. В период расцвета Греции выделялось *десять видов систем пропорционирования*, которые применялись во всех видах искусств и которым придавалось немалое значение. Древние греки считали число, «извлеченное» из вещей, гармонизирующим и упорядочивающим началом, вносящим элементы строя в беспредельное [1].

Архитекторы должны тщательно придерживаться правил *соразмерности*, на которых должна основываться композиция храмов [8].

Соразмерность (симметрия) есть гармония, слаженность членов сооружения между собой и рациональность членений, (идущих) от отдельных элементов к общему целому [Там же].

Противоположные элементы связаны при помощи *«аналогии»*, образующей пропорцию, которая соединяет то, что различно, в подобные элементы [1].

Гармония – уравновешенность ритмического движения, его закономерность [9].

Прекрасное целое – это не простая сумма прекрасных частей. Оно требует *соответствия и соподчинения* для создания художественного единства [13].

Слабое подчиняется сильному, образуя единый мир, который сложен гармонически из противоположностей [10], это прообраз иерархичности.

Прекрасное (целое) создается точным *сочетанием ряда последовательных чисел* [11].

По Демокриту, выразительная архитектурная композиция создается, так же как и речь, при помощи *комбинирования некоторых элементарных форм*, атомов речи (слов). Основные категории в теории античной архитектуры – это строй, расположение и форма [1].

Преклоняясь перед ясностью математики и геометрии, описанной в трудах Пифагора и Платона, при создании архитектурных форм зодчие применяют только *простые геометрические тела*.

Идея экономии в древнегреческом сознании трактуется как понятие меры. *«Ничего слишком»* – вот высказывание, характеризующее эту идею. Исполнить произведение, максимальное по своему идейно-художественному содержанию, минимальными средствами, чтобы ничего нельзя было убавить и ничего прибавить, – одна из важнейших целей древнегреческих зодчих. *Надлежащая мера во всем прекрасна*. Не нравится недостаток и излишек [13].

Понимание основных архитектурных методов в древнегреческой философии отвергает буквальность. Целью архитектора является создание в произведениях *видимой эвритмии и соразмерности* посредством поиска приемов, обманывающих глаз [12].

Скрытая гармония сильнее явной [9].

Полноту чувств и *высочайшую напряженность* произведению придает *нарушение гармонии*. Оно достигается путем акцентирования некоторых частей архитектурной композиции, которые выражают движение и придают смысл произведению [1].

Нельзя делать прекрасные вещи «истинно соразмерными». Приходится дать своим произведениям не «действительные соразмерности», но «*те, которые кажутся прекрасными*» [13].

Заключение

На становление и развитие античной архитектурной теории повлияли многие благоприятные факторы. Ландшафтные характеристики территорий в совокупности с природно-климатическими ресурсами стали основой комфортной и сомасштабной человеку природной среды. Выгодность географического положения, наличие устойчивых торговых связей с Востоком обеспечили использование в архитектуре и строительстве наследия развитых на тот момент цивилизаций. Государственный строй со смешанной формой управления, поиск идеальной системы государственности и идеализация качеств правителей привели к установке высокой значимости и ценности архитектурных сооружений, связанных с общественными функциями. Политоизмическая религия, основанная на мифологии, с наделением богов человеческими качествами определила тип архитектуры как храмовый, но близкий, понятный и сомасштабный человеку. Мировоззрение, основанное на единстве человека и природы, воспевающее величие творца и гений человеческой мысли, определило архитектуру как продолжение нерукотворной среды, определенным образом трактующей законы Вселенной.

Мировоззрение, философия и архитектурная мысль древнегреческого периода послужили основной базой для развития западноевропейской архитектуры последующих периодов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михайлов Б.П. Витрувий и Эллада. Основы античной теории архитектуры. Москва : Стройиздат, 1967. 280 с.
2. Бомбель И.О. Феномен и традиции: архитектура и философия // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 4. С 5–8.
3. Поручевская А.Ф. Соотношение риторики и философии в культурах античной Греции и Древнего Рима : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата философских наук : 24.00.01. Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет. 2014. 25 с. URL: <https://dlib.rsl.ru/01005548742>
4. Быков В.Е., Кауфман С.А., Квитницкая Е.Д., Кошеленко Г.А., Маркузон В.Ф., Михайлов Б.П., Михайлова М.Б., Николаев И.С., Розентуллер П.Б., Сахаров С.И., Сорокина Я.Я. Архитектура античного мира (Греция и Рим). 2-е изд., испр. и доп. Москва : Стройиздат, 1973. 712 с.

5. Блаватский В.Д., Маркузон В.Ф., Сарабьянов В.Н., Роговин Н.Е., Сахаров С.И., Кобылина М.М., Кауфман С.А. Всеобщая история архитектуры. Том 2. Книга 1. Архитектура Древней Греции. Москва : Изд-во Академии архитектуры СССР, 1949. 540 с.
6. Локс К. Апулей // София. Журнал искусства и литературы. 1914. № 3. С 73–92.
7. Friedrich Wilhelm August Mullach. Fragmenta philosophorum Graecorum. Cambridge : Harvard University, 1883. 635 p.
8. Витрувий. Десять книг об архитектуре / пер. Ф.А. Петровского. Москва : Изд-во Всесоюзной академии архитектуры, 1936. 331 с.
9. Гераклит Ефесский. Фрагменты / пер. В.О. Нилендера. Москва : Мусaget, 1910. 88 с.
10. Прокл. Первоосновы теологии / пер. А. Лосева. Москва : Прогресс, 1993. 176 с.
11. Аасмус В.Ф. Античные мыслители об искусстве. 2-е изд., доп. Москва : Искусство, 1938. 280 с.
12. William Henry W.H. Greek refinements: studies in temperamental architecture Goodyear. London : Wellesley College Library, 1912. 264 p.
13. Платон. Сочинения Платона / пер. Карпова. 2-е изд., испр. и доп. Ч. 1–6. Санкт-Петербург : Тип. духов. журн. «Странник», 1863–1879. 236 с.

REFERENCES

1. Mikhailov B.P. Vitruvii i Ellada. Osnovy antichnoi teorii arkhitektury [Vitruvius and Hellas. Fundamentals of the theory of ancient architecture]. Moscow: Stroyizdat, 1967. 280 p.(rus)
2. Bombel I.O. Fenomen i traditsii: arkhitektura i filosofiya [Phenomenon and traditions: architecture and philosophy]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2015. No. 4. Pp. 5–8. (rus)
3. Poruchevskaya A.F. Sootnoshenie ritoriki i filosofii v kul'turakh antichnoi Gretsii i Drevnego Rima: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata filosofskikh nauk [Correlation of rhetoric and philosophy in the cultures of ancient Greece and Ancient Rome. PhD Abstract]. Rostov-on-Don, 2014. 25 p. (rus)
4. Bykov V.E., Kaufman S.A., Kvimitskaya E.D., Koshelenko G.A., Markuzon V.F., Mikhailov B.P., Mikhailova M.B., Nikolaev I.S., Rosentuller P.B., Sakharov S.I., Sorokina Ya.Ya. Arkhitektura antichnogo mira (Gretsiya i Rim) [Architecture of ancient world (Greece and Rome)]. 2nd ed. Moscow: Stroyizdat, 1973. 712 p. (rus)
5. Blavatsky V.D., Markuzon V.F., Sarabyanov V.N., Rogovin N.E., Sakharov S.I., Kobylina M.M., Kaufman S.A. Vseobshchaya istoriya arkhitektury [Universal history of architecture], vol. 2. Book 1. Moscow: Izd. Akademii Arkhitektury SSSR, 1949. 540 p. (rus)
6. Loks K. Apulei [Apuleius]. *Zhurnal iskusstva i literatury*. 1914. No. 3. Pp. 73–92. (rus)
7. Mullach F.W.A. Fragmenta philosophorum Graecorum. Cambridge: Harvard University, 1883. 635 p.
8. Vitruvius Pollio M. Desyat' knig ob arkhitekture [The ten books on architecture]. Moscow: Izd. Vsesoyuznoi Akademii arkhitektury, 1936. 331 p. (transl. from Lat.)
9. Heraclitus of Ephesus. Fragmenty [The fragments]. Moscow: Musaget, 1910. 88 p. (transl. from Greek)
10. Proclus. Pervoosnovy teologii [Elements of theology]. Moscow: Progress, 1883. 635 p. (transl. from Greek)
11. Asmus V.F. Antichnye mysliteli ob iskusstve [Ancient thinkers about art]. 2nd ed. Moscow: Iskusstvo, 1938. 280 p. (rus)
12. Hudson W.H. Greek refinements: studies in temperamental architecture Goodyear. London: Wellesley College Library, 1912. 264 p.
13. Plato. Sochineniya Platona [Plato's writings]. 2nd ed. Saint-Petersburg, Strannik. 1863–1879. 236 p. (rus)

Сведения об авторах

Негуляева Татьяна Валерьевна, аспирант, доцент, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, negtan@mail.ru

Дядченко Сергей Федорович, доцент, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77, dsf1953@yandex.ru

Authors Details

Tat'yana V. Negulyaeva, Research Assistant, A/Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77, Politekhnikeskaya Str., 410054, Saratov, Russia, negtan@mail.ru

Sergei F. Dyadchenko, A/Professor, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, 77, Politekhnikeskaya Str., 410054, Saratov, Russia, dsf1953@yandex.ru

УДК 727.7

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-85-95

*Е.Л. АБАИМОВА, А.В. СКОПИНЦЕВ, Н.А. МОРГУН,
Южный федеральный университет*

ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ СОВРЕМЕННЫХ МУЗЕЙНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Рассмотрен комплекс внешних факторов, оказывающих влияние на изменение архитектурной среды современных музеев: наличие новых технологий и способов передачи визуальной информации; изменение сознания самого «потребителя» музейного пространства; наличие «конкурирующих» с музеем функций и общественных пространств, имеющих более привлекательный характер. Описываются структурные (базовые) компоненты архитектурной экспозиционной среды музейных комплексов. На основе проведенного анализа сравнивается состояние функционирования музейных комплексов в отечественной и зарубежной практике; выявляется ряд перспективных тенденций и подходов к формированию архитектурной среды современных музеев: 1) их стремление к «полифункциональности»; 2) переход от модели «музей-храм» к модели «музей-зрелище»; 3) «размытие» границ между интерьером и экстерьером; 4) «сценарно-функциональный» подход в решении экспозиционных пространств. Обобщение данных перспективных тенденций позволило сформировать модель комплексного подхода к формированию концепции архитектурной среды современных музейных комплексов.

Ключевые слова: музей; музейные комплексы; архитектурная среда; экспозиция; тенденции; концепции; модели.

Для цитирования: Абаимова Е.Л., Скопинцев А.В., Моргун Н.А. Тенденции формирования архитектурной среды современных музейных комплексов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 85–95.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-85-95

*E.L. ABAIMOVA, A.V. SKOPINTSEV, N.A. MORGUN,
Southern Federal University*

FORMATION OF ARCHITECTURAL ENVIRONMENT IN MODERN MUSEUM COMPLEXES

The work considers the external factors influencing the architectural environment of modern museums: new technologies and ways of delivering visual information; changing the consciousness of a “consumer” of the museum space; the presence of functions and public spaces “competing” with the museum. The work describes the structural (basic) components of the architectural expositions in museum complexes. Based on the analysis of the Russian and foreign museums, the promising trends and approaches to the creation of the architectural environment in modern museums are identified: 1) polyfunctionality; 2) transition from the “museum-temple” model to the “museum-show” model; 3) boundary merging between interior and exterior; 4) scenario and functional approach to the exhibition environment. Based on the data obtained, it possible to create a model of the integrated approach to the architectural environment in a modern museum complex.

Keywords: museum; museum complex; architectural environment; exposition; trends; concept; model.

For citation: Abaimova E.L., Skopintsev A.V., Morgun N.A. Tendentsii formirovaniya arkhitekturnoi sredi sovremennykh muzeinykh kompleksov [Formation of ar-

chitectural environment in modern museum complexes]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 85–95.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-85-95

Под воздействием внешних факторов экспозиционная среда современных музеев и музейных комплексов претерпевает неуклонные изменения и преобразования. Новые технологии качественно изменили пути получения и передачи визуальной информации, изменили сам визуальный и образный язык музейного пространства. Раньше музей был источником достоверной исторической, фактографической и визуальной информации. Теперь с современными технологиями экспонирования возможна уникальная цветопередача картин – макросъемка, в результате которой, например, работы И. Босха можно рассмотреть во всех подробностях в виртуальном формате. И если раньше музейным предметом был экспонат, а архитектура здания создавала усиление визуальной фиксации связи пространства с экспонируемой коллекцией, то сегодня понимание музейного предмета изменилось. Приходя в музей, человек ожидает от выставки нечто большее, чем раньше. Некое превращение всех составляющих, которые посетитель открывает для себя в музее, – архитектура, экспонаты, атмосфера выставки, сценарий ее экспозиции – в новый опыт, переживания, эмоции. Эти эмоции, переживания, впечатления изменяют самого посетителя, касаются его ценностей, его сущности, его установок.

Изменения в сознании посетителя, которые сейчас являются сутью музейного продукта, невозможно создать без соответствующего контекста – архитектурной экспозиционной среды, которая состоит из пяти базовых элементов:

- сам музей – здание (оболочка) и его архитектурное пространство (интерьер и экстерьер музейного комплекса);
- предметное наполнение среды (объекты дизайна, коллекции, экспонаты выставки);
- графические материалы, например указатели, стенды, доски информации, каталоги, путеводители, элементы инфографики;
- главные функциональные процессы: экскурсии, просмотры экспозиции и развивающие программы (лекции, конкурсы, фестивали);
- дополнительные функции и услуги (в кафе, в комнатах отдыха, в сувенирном магазине) [1].

В условиях поликультурности и зрелищности современных общественных пространств многие музеи вынуждены искать новые пути «выживания» и преобразования своей архитектурной среды для сохранения жизнеспособности в современных условиях. На этом пути многие музеи приобретают несвойственные им функции, становясь «точками» развития и кооперации различных научных и творческих сообществ; площадками для диспутов, диалогов и принятия креативных решений; совмещают экспозиционную функцию с технологиями образовательного, развлекательного, экспертного центра.

Целью исследования выступает выявление перспективных тенденций и направлений трансформации, модернизации и преобразования архитектурной экспозиционной среды современных музейных комплексов под воздей-

ствием внешних факторов и условий с возможностью дальнейшего использования данных направлений и подходов для генерации новых идей и концептуальных моделей музейной среды в профессиональном, конкурсном и учебном проектировании.

Анализ российской практики функционирования музеев и музейных комплексов позволил выявить ряд насущных проблем. Большинство из них, имея значительное количество ценных экспонатов, не могут всесторонне раскрыть весь свой культурный и зрелищный потенциал. Этому способствует ряд обстоятельств: а) старые, ветхие здания, планировки которых не соответствуют музейным стандартам; б) отсутствие современного этикетажа, актуальных способов донесения информации о выставках, мероприятиях; в) отсутствие развитой системы визуальных коммуникаций и навигации внутри музея; г) стандартные экскурсии и программы, потерявшие свою привлекательность; д) отсутствие дополнительных функций и элементарных услуг, таких как кафе и места для отдыха и общения. Качественное изменение интерьерной и экстерьерной экспозиционной среды, строительство новых музейных зданий как современных культурных центров является насущной проблемой российских музейных комплексов на современном этапе.

Зарубежная практика проектирования и строительства музеев различной направленности: научных, археологических, морских, музыкальных, детских, современного искусства и других – показывает положительные новаторские устремления в поиске новых идей и концепций данных объектов. На основании проведенного анализа и обобщения теоретических источников, современных подходов к организации экспозиционных пространств музеев в зарубежной и отечественной практике можно выделить несколько перспективных тенденций формирования архитектурной среды музейных комплексов, дающих основу для их дальнейшего концептуального осмысления, организации вариантного поиска и экспериментального научно-творческого и проектного моделирования.

Первой тенденцией выступает переход от «монофункционального» пространства в решении архитектурной среды музея к «полифункциональному» пространству, в котором к главной экспозиционной функции добавляются другие общественные функции, такие как учебные, досуговые, торговые, потребительские и др. В этом аспекте музей стремится привлекать, развлекать, информировать, быть приятным местом встречи и в то же время сохранять высокий культурный статус. Существует пространство для проведения мастер-классов и лекций, делового общения, презентаций, диспутов, информационного обмена с характерной интерактивной средой. Это влечет за собой появление новых типов архитектурных пространств и формирование типологии новых культурных центров.

Первым таким «многофункциональным пространством» стал Национальный центр искусства и культуры им. Ж. Помпиду в Париже, 1977 г., вмещающий в себя публичную библиотеку, кинотеатр, кафе, магазины, ресторан и небольшой театр на нижнем этаже. Новый музей современного искусства в Нью-Йорке, 2007 г., по проекту токийской фирмы SANAA включает в себя обязательные для современного музея кафе, книжный магазин, небольшой выставочный зал в вестибюле, театр в цокольном этаже, 3 этажа галерей, об-

разовательный центр на отдельном этаже и многофункциональный зал 2000 м² для общественных мероприятий, смотровую террасу на седьмом этаже [2]. Московский музей современного искусства имеет отдельное здание образовательного центра с библиотекой, лекторием, научно-исследовательской лабораторией предметов искусства.

Состав функциональных блоков этих музейных комплексов представлен схематично (рис. 1). Их сочетаемость варьируется в разных музеях и зависит от роли и миссии конкретного комплекса.



Рис. 1. Сравнение полифункциональных моделей современных музейных комплексов

Формируя модель полифункционального музейного комплекса, можно брать за основу перечисленный состав функциональных блоков, который наиболее полно представлен в Культурном центре Ж. Помпиду в Париже. Сочетание музея и библиотеки является очень удачным соседством и с точки зрения их основной функции собирания, хранения и передачи информации. Образовательный центр представлен сейчас во всех современных музеях – аудитории для школьников и студентов, мастерские, помещения для кружков – главные атрибуты музейного пространства. Кафе, рестораны и другие места отдыха также стали уже обязательным составом музея – здесь можно отдохнуть и перекусить, встретиться с друзьями и коллегами. Многие книжные магазины предлагают редкие книги по искусству, архитектуре и дизайну, которые редко встретишь в обычном городском магазине, а также линейку сувенирной продукции, выпускаемой к крупным выставкам. Бизнес и общественное пространство предусмотрено для деловых контактов, проведения городских мероприятий, предполагает наличие конференц-зала, хорошо подходит для интеграции городских сообществ в жизнь музея. Исследовательский центр в сфере вопросов культуры и искусства может комфортно существовать в музейном пространстве, объединяя научно-исследовательскую работу музейных сотрудников и реставраторов с работой других ученых и студентов.

Проекты крупных музейных комплексов: Межмузейного многофункционального депозитарно-выставочного комплекса в Коммунарке, Москва, 2020 г.; Многофункционального музейного центра в Рождествено, Санкт-Петербург; Культурно-образовательного и музейного комплекса во Владивостоке, 2019 г., находящихся на стадии реализации, также являются примером развития музейной институции в этом направлении.

Второй тенденцией выступает переход от модели «музей-храм» к модели «музей-зрелище». Модель «музей-храм» сложилась в XIX в., закрепив за

музеем определен статус. О такой модели пишет исследователь К. Хадсон [3] и теоретик постмодернизма Ч. Дженкс [4]. М.Б. Пиотровский говорит о том, что «Место музея – посередине между храмом и Диснейлендом. Но так получается, что он двигается в ту или другую сторону. И в последнее время – это во всем мире так – в сторону Диснейленда... Но надо возвращаться обратно, надо снова напоминать, что музей – храм и в нем свои правила» [5]. Сравнение музея и храма основано: 1) на особенности архитектурного облика и организации пространства; 2) общих чертах деятельности; 3) похожих функциях и социальной миссии.

Д.А. Баранникова говорит о традиционном сравнении исследователями греческого храма и музея – это использование античной ордерной системы, вместительных залов и организации центрального места [6]. Е.В. Ермоленко в своей работе выделяет модель «музей-храм», описывая роль пространственного ядра в формировании экспозиционного пространства. На протяжении истории в архитектуре музея главным пространственным ядром был парадный зал с куполом, прототипом которого являлся греческий храм с присущими ему эмоциональными смыслами и организацией внутреннего пространства. Постепенно в классическом варианте пространственного ядра появляется парадная лестница, а в ряде музеев парадный зал переродился в вестибюль [7].

В XX – начале XXI в. в большинстве музеев пространственное ядро представлено атриумом, который становится зрелищным, интересным, затайливым многоуровневым пространством для посетителей с характерной динамикой и театрализацией среды. Первым примером современной тенденции «музей-зрелище» является Музей современного искусства С. Гугенхайма в Нью-Йорке, 1959 г., арх. Ф.Л. Райт (рис. 2). В основе пространственного решения музея лежит просторный многосветный атриум, вокруг которого расположен закрученный в спираль пандус. Атриум используется как коммуникативное пространство и как место для больших инсталляций. В феврале 2020 г. там был натянут упругий спиралевидный батут, словно большой гамак, в котором можно лежать, сидеть и прыгать, отдыхая после экскурсии по музею [8].



Рис. 2. Атриум музея С. Гугенхайма в Нью-Йорке

В Музее Гуггенхайма в Бильбао, 1997 г., арх. Ф. Гери, атриум имеет сложную конфигурацию, наполнен естественным светом, который проникает из разных по форме окон и фонарей и является входным пространством музея. Музей нового и современного искусства Тренто и Роверето в Италии, 2002 г., арх. М. Ботта, отличается тем, что пространство атриума является центральной композицией и местом экспонирования самой архитектуры музея.

Для данной модели «музей-зрелище» характерен ритмичный, быстрый темп построения визуально-вербального ряда информации, максимально доступной для восприятия. Помимо внутреннего пространства, само здание также может являться необычным объектом в городской среде, так называемой «архитектурой-скульптурой», становясь местом притяжения туристов.

Третьей тенденцией в решении архитектурной среды современных музейных комплексов выступает создание взаимопроникающего пространства, стремление «размыть» границы между интерьером и экстерьером и «соединить» музей с городом или с природной средой. Атрибутами такого подхода выступают:

– стеклянный фасад или весь объем здания, который позволяет наблюдать за жизнью музея;

– лобби становится логичным продолжением улицы, есть возможность воспользоваться только кафе или магазином в музее или посмотреть какую-то часть выставки бесплатно;

– увеличенный объем вестибюля, являющийся коммуникативным центром.

Примером таких преобразований выступает Музей современного искусства в Нью-Йорке, который всегда был пионером среди музеев. Основанный в 1929 г, он заложил основу музея нового типа, основная задача которого развивать диалог зрителя с художником. В 2019 г. после масштабной модернизации музей стал более открытым людям: без покупки билета можно попасть в знаменитый сад скульптур. Главный вход стал более «приветливым» – с прозрачным остеклением и новым козырьком, увеличилась высота вестибюлей. В России образцом такой модели музея является Музей современного искусства «Гараж» в Москве: прозрачные стены из поликарбоната открывают вид на окружающий Парк Горького, единый уровень входа и наружной среды создает общее пространство, выставка скульптур на площади перед музеем выводит музей за пределы границ здания. Просторный вестибюль является центром общения и сосредоточения информации, здесь расположены кафе и книжный магазин.

Такой подход можно применять как для проектирования новых, так и для модернизации уже имеющихся музеев. Увеличение площади вестибюля, остекление входной зоны и грамотное зонирование общественных пространств сделают музей современным и более открытым для посетителей.

Четвертая тенденция – «сценарно-функциональный» подход в решении экспозиционных пространств. Сценарий посещения музея начинает разворачиваться от входа. Но условия входа отличаются так же, как и сама архитектура. Если вход не выделен ступенями, то даже когда вы все еще остаетесь участником уличного движения, интерьер начинает зрительно затягивать вас.

Основными характеристиками этого подхода являются:

а) совместная работа сценариста, куратора выставки, дизайнера и архитектора;

б) включение в пространство музея своеобразных «маркеров» – моделей-символов;

в) формирование вокруг «маркеров» пространственных мизансцен и тематических зон с использованием различных моделей средовых ситуаций;

г) формирование «интегрального сценария» восприятия экспозиции с программированием маршрутов и эмоциональных впечатлений зрителей.

В основе языка экспозиции лежат музейные предметы, превращенные в художественные символы, но не утратившие свои качества исторических источников. В России такой метод музейного проектирования назывался образно-сюжетный и начал применяться в 1980-е гг. группой экспериментаторов. Об этом пишет Т. Поляков, выделяя оригинальные проектные технологии данного метода: 1) комбинации из музейных предметов, расставленные в экспозиционном пространстве не на основе научной хронологии, а в драматической последовательности оригинального сюжета; 2) метафорические модели реальных предметов, вещей и архитектурных объектов выполняют витринные функции [9].

Примером сценографии музейного пространства выступал интерьер Музея Маяковского в Москве, выполненный в 1989 г. и в 2013 г. закрытый на реставрацию. Последовательно воспринимаемый зрителем как продуманный пространственно-временной сценарий, он отражал творческие вехи поэта. Посетитель становился активным участником экспозиционного действия.

На принципах «сценарного» подхода организован Еврейский музей и центр толерантности в Москве, где интерактивное пространство музея рассказывает историю еврейской общины в России с сер. XVIII в. до наших дней с использованием современных технологий. Воплощением замысла этого музея руководила известная компания Ralf Appelbaum Associates (RAA), которая занимается созданием сценарных экспозиций по всему миру. На их счету более 550 выполненных проектов. Ральф Аппельбаум, основатель компании, называет музейные проекты «обучение через опыт», т. е. обучение в социальной среде. Во многих проектах информация размещается на круглых островках-постаментов. Таким образом люди могут наблюдать реакции друг друга – удовольствие, смущение, которые очень заразительны и обогащают опыт посещения музея [10].

Восприятие экспозиции, информации, представленной на ней, связано с особенностями внимания человека. Разрывая шаблон привычного нам статичного осмотра экспозиции, активное участие в процессе осмотра продлевает ресурс внимания посетителя на выставке. Если для того, чтобы увидеть экспонат, надо подняться на небольшой подиум или обойти его вокруг, это условие добавляет игровой элемент и вызывает дополнительный интерес к выставке.

Наблюдение за другими посетителями, занятыми осмотром в таких игровых ситуациях, – дополнительный стимул и способ обмена эмоциями, о котором также говорил Р. Аппельбаум, все чаще появляется в современных экспозициях. Описанные модели представлены схематично (рис. 3).

Создание разнородных экспозиций, когда ряд картин перемежается со скульптурой или мебелью с костюмом той же эпохи, также является способом продлить концентрацию внимания человека. О «теории перегрузки стимулами» пишет в своей монографии Л.В. Смолова: «В случае чрезмерного количества стимулов, вызванных слишком большим числом экспонатов, возникает

перегрузка. Она проявляется у посетителя как трудность восприятия дальнейшего материала и состояние усталости... при необходимости поддерживать высокий уровень внимания» [11]. Стефен Битгут, профессор университета в Джэксонвилле, США, исследует феномен «музейной усталости» о снижении внимания и интереса к последовательному осмотру экспонатов. Он выделяет несколько факторов, влияющих на этот процесс: физическое и психическое истощение, насыщение, конкуренция, выбор и плохой дизайн [12]. Создание экспозиции по сценарному методу, который задействует существующее пространство и разворачивает выставку по принципу интегрального сценария, дает дополнительные стимулы человеческому вниманию.

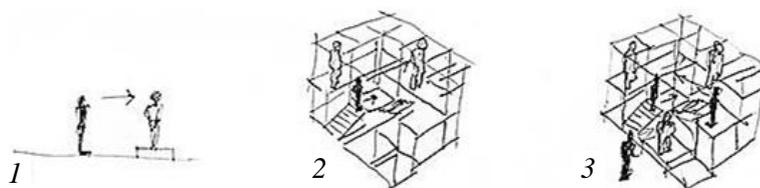


Рис. 3. Модель восприятия экспозиции посетителем:

1 – статичное наблюдение; 2 – активное участие в процессе осмотра; 3 – наблюдение за другими посетителями в процессе осмотра

Применение представленных подходов и современных тенденций формирования музейных пространств в проектном творчестве и концептуальном моделировании требует комплексного подхода к учету факторов и условий проектирования [13]. Целостная организация музейной среды обеспечивается на различных уровнях формирования архитектурной идеи. Обобщение используемых средств и методических установок в содержании выявленных перспективных тенденций развития музейных пространств позволило создать модель комплексного подхода к формированию концепции архитектурной экспозиционной среды современных музеев (рис. 4).

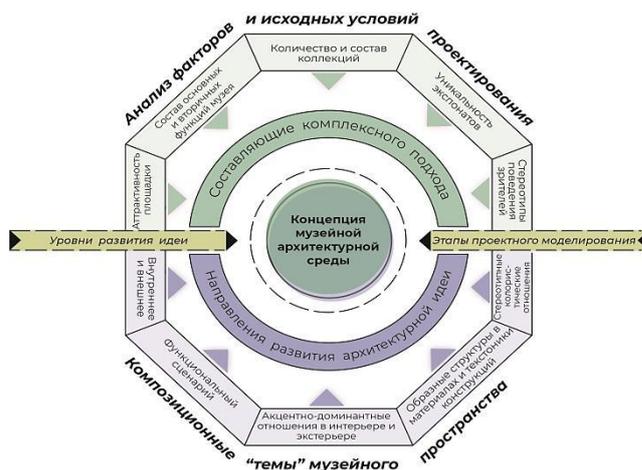


Рис. 4. Модель комплексного подхода к формированию концепции музейной архитектурной среды

Выводы

1. Проведенный анализ и выявление перспективных тенденций затрагивают общие проблемы организации музейной архитектурной среды в русле четырех концептуальных подходов. За основу взяты художественные музеи, в которых сложнее всего применять современные интерактивные технологии, в отличие от естественно-научных и исторических музеев. Музеи современного искусства сейчас находятся на пике своей популярности во всем мире и в музейном сообществе. В России существует понимание необходимости их строительства и модернизации.

2. Выявленные тенденции создают основу для поиска новых архитектурных идей организации внутреннего пространства, моделирования экспозиции и формирования концептуальных моделей в учебном и профессиональном проектировании, а также могут стать основой архитектурно-планировочной модернизации существующих музейных комплексов на внутреннем и внешнем уровнях.

3. Сравнение результативности и эффективности выявленных направлений позволило установить: первая тенденция – создание «полифункционального» музейного комплекса и вторая – отношение к музею как к «зрелищу» больше подходят для проектирования новых музейных пространств, которые могут объединяться и варьироваться набором дополнительных услуг и мест проведения досуга или обучения.

4. Третья тенденция – стирание границ между интерьером и экстерьером – создание «открытого пространства» и четвертая – использование «сценарного» подхода в проектировании архитектурной среды музейной экспозиции могут с успехом применяться в уже существующих музеях и служить основой их архитектурно-планировочной модернизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Kotler N., Kotler Ph.* Museum Strategy and Marketing // Jossey-Bass A Wiley Imprint. 2008. P. 174.
2. *New Museum. Building.* URL: <https://www.newmuseum.org/building> (дата обращения: 12.11.2020).
3. *Хадсон К.* Влиятельные музеи. Новосибирск : Сибирский хронограф, 2001. С. 30.
4. *Дженкс Ч.* Зрелищный музей – между храмом и торговым центром: Осмысление противоречий // Пинакотекa. 2000. № 12. С. 8.
5. *Пиотровский М.* Место музея между храмом и Диснейлендом // Ведомости. 2019. URL: <https://www.hermitagemuseum.org/wps/portal/hermitage/what-s-on/director-blog/blog-post> (дата обращения 22.11.2020).
6. *Баранникова Д.А.* Концепция «музей – храм» в зарубежных и отечественных исследованиях // Молодежный вестник Санкт-Петербургского государственного института культуры. 2019. № 1 (11) https://www.spbgik.ru/upload/file/publishing/mol_vest/mol_vestnik_1_11_19.pdf (дата обращения: 25.11.2020).
7. *Ермоленко Е.В.* Пространственная структура современного музея : диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры: 05.23.20 / Елена Валентиновна Ермоленко. Москва : Московский архитектурный институт, 2018. 271 с.
8. *Novate* : журнал. URL: <https://novate.ru/blogs/110210/14113/> (дата обращения: 12.11.2020).
9. *Поляков Т.* Методы и технологии создания музейных экспозиций в Советской России (1918–1991) // Артгид. 2017. URL: <https://artguide.com/posts/1389> (дата обращения: 25.11.2020).

10. Харшак М. Ральф Аппельбаум: «Музей задает тон этического поведения в обществе»: интервью // Проектор. 2013. № 4 (25). URL: http://projector.media/portfolio/interview_appelbaum/ (дата обращения: 22.11.2020).
11. Смолова Л.В. Психология взаимодействия с окружающей средой (экологическая психология). Санкт-Петербург : СПбГИПСР, 2010. С. 471–472.
12. Bitgood S. When is “Museum fatigue” not fatigue? // Curator: The Museum Journal. 52 (2). P. 193–202.
13. Кокорина Е.В. Музеи. Воплощение теоретических концепций. Воронеж : Мастерская книги, 2019. 192 с.

REFERENCES

1. Kotler N., Kotler Ph. Museum strategy and marketing. Jossey-Bass A Wiley Imprint. 2008. 174 p.
2. New Museum. Building. Available: www.newmuseum.org/building (accessed November 12, 2020)
3. Hudson K. Vliyatel'nye muzei [Museums of influence]. Novosibirsk: Sibirskii khronograf, 2001. 30 p.(transl. from Engl.)
4. Jencks Ch. Zrelishchnyi muzei – mezhdru khranom i torgovym tsestrom: Osmyslenie protivorechii [Spectacular museum – between the temple and the shopping centre. Awareness of the contradictions.]. *Pinakothek*. 2000. No. 12. P. 8. (transl. from Engl.)
5. Piotrovskii M. Mesto muzeya mezhdru khranom i Disneilendom [The museum place the between the temple and Disneyland]. *Vedomosti*, 2019 Available: www.hermitagemuseum.org/wps/portal/hermitage/what-s-on/director-blog/blog-post (accessed November 22, 2020) (rus)
6. Barannikova D.A. Kontsepsiya “muzei – khran” v zarubezhnykh i otechestvennykh issledovaniyakh [The museum–temple concept in Russian and foreign studies]. *Molodezhnyi vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo instituta kul'tury*. 2019. No. 1 (11) Available: www.spbgik.ru/upload/file/publishing/mol_vest/mol_vestnik_1_11_19.pdf (accessed November 25, 2020) (rus)
7. Ermolenko E.V. Prostranstvennaya struktura sovremennogo muzeya: diss. na soisk. stepeni kand. arkhitektury [The spatial structure of a modern museum. PhD Thesis]. Moscow, 2018. 271 p. (rus)
8. Novate. Available: novate.ru/blogs/110210/14113/ (accessed November 25, 2020) (rus)
9. Polyakov T. Metody i tekhnologii sozdaniya muzeinykh ekspozitsii v Sovetskoi Rossii (1918–1991) [Methods and technology of museum expositions in soviet Russia (1918–1991)]. *Artgid*, 2017, Available: artguide.com/posts/1389 (accessed November 12, 2020) (rus)
10. Kharshak M. Ralph Appelbaum: “Muzei zadaet ton eticheskogo povedeniya v obshchestve” Interv'yuu [Ralph Appelbaum: The museum sets the tone for ethical behavior in society. Interview]. *Proektor* 2013, No. 4(25) Available: projector.media/portfolio/interview_appelbaum/ (accessed November 22, 2020) (rus)
11. Smolova L.V. Psikhologiya vzaimodeistviya s okruzhayushchei sredoi (ekologicheskaya psikhologiya) [Psychology of interaction with environment (environmental psychology)]. Saint-Petersburg, 2010. Pp. 471–472. (rus)
12. Bitgood S. When is “Museum fatigue” not fatigue? *Curator: The Museum Journal*. V. 52. No. 2. Pp. 193–202.
13. Kokorina E.V. Muzei. Voploshchenie teoreticheskikh kontsepsii [Museums. The embodiment of theoretical concepts]. Voronezh: Masterskaya knigi, 2019. 192 p. (rus)

Сведения об авторах

Абаимова Евгения Леонидовна, канд. филос. наук, магистрант, Южный федеральный университет, Академия архитектуры и искусства, 344002, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39, abaimova.j@mail.ru

Скопинцев Анатолий Вениаминович, канд. архитектуры, профессор, Южный федеральный университет, Академия архитектуры и искусства, 344002, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39, scoparh@yandex.ru

Моргун Николай Анатольевич, канд. архитектуры, профессор, Южный федеральный университет, Академия архитектуры и искусства, 344002, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пр. Буденновский, 39, nik-morgun@yandex.ru

Authors Details

Evgeniya L. Abaimova, PhD, Graduate Student, Southern Federal University, 105/42, Bol'shaya Sadovaya Str., 344006, Rostov-on-Don, Russia. abaimova.j@mail.ru

Anatolii V. Skopintsev, PhD, Professor, Southern Federal University, 105/42, Bol'shaya Sadovaya Str., 344006, Rostov-on-Don, Russia. scoparh@yandex.ru

Nikolai A. Morgun, PhD, Professor, Southern Federal University, 105/42, Bol'shaya Sadovaya Str., 344006, Rostov-on-Don, Russia. nik-morgun@yandex.ru

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-96-104

Д.Н. ПЕСЦОВ,

Томский государственный архитектурно-строительный университет

ПРИМЕНЕНИЕ ЖОРДАНОВЫХ ИСКЛЮЧЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ В РАСЧЕТНОЙ СХЕМЕ

В статье рассматривается использование жордановых исключений для решения системы разрешающих уравнений при расчете стержневых систем. Применение жордановых исключений позволяет проводить анализ стержневой системы (определять значения усилий в поперечных сечениях стержней и перемещения узлов системы) в случае внесения изменений в расчетную схему системы без необходимости формирования и решения новой системы разрешающих уравнений при каждом таком изменении. Под изменениями в расчетной схеме понимается введение либо удаление опорных или внутренних связей, изменение жесткостных характеристик элементов статически неопределимых систем и т. д. Применение жордановых исключений рассматривается на примере простой статически неопределимой балки, являющейся частным случаем стержневой системы.

Ключевые слова: жордановы исключения; расчетная схема; усилия; стержневая система.

Для цитирования: Песцов Д.Н. Применение жордановых исключений для анализа стержневых систем при изменениях в расчетной схеме // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 96–104.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-96-104

D.N. PESTSOV,

Tomsk State University of Architecture and Building

JORDAN ELIMINATION METHOD IN BAR SYSTEM ANALYSIS WITH CHANGES IN DESIGN MODEL

The article discusses the use of the Jordan elimination method for solving the system of resolvent equations when analyzing the bar systems. The use of the Jordan elimination method makes it possible to determine the forces in cross-sections of bars and displacements of the system units in the case of changes in the design model of the system without the solution of new resolvent equations at each change. Changes in the design model indicate the introduction or removal of the support or internal connections, changes in the stiffness parameters of ele-

ments of statically indeterminate systems, and others. The Jordan elimination method is used for a simple statically indeterminate beam, which is a special case of the bar system.

Keywords: Jordan elimination method; design model; bar system analysis; forces.

For citation: Pestsov D.N. Primenenie zhordanovykh isklyuchenii dlya analiza sterzhnevyykh sistem pri izmeneniyakh v raschetnoi skheme [Jordan eliminations in bar system analysis with changes in design model]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 96–104.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-96-104

При внесении изменений в расчетную схему стержневых систем (введение либо удаление опорных или внутренних связей, изменение жесткостных характеристик элементов статически неопределимых систем и т. д.) происходит изменение усилий в сечениях стержней. Для вычисления новых значений усилий при каждом таком изменении обычно необходимо формировать новую систему линейных алгебраических уравнений и производить их полный перерасчет. В задачах оптимизации, когда может проводиться большое количество последовательных изменений в расчетных схемах, для стержневых систем, имеющих большое количество элементов, такой путь является затратным в части времени.

В настоящей статье предложен метод перерасчета усилий в элементах стержневых систем без необходимости формирования новой системы разрешающих уравнений и их полного перерасчета в случае изменения в расчетной схеме.

Метод основан на применении жордановых исключений для решения системы разрешающих уравнений. Как было показано в работе [1], один шаг жордановых исключений по системе разрешающих уравнений смешанного метода означает введение одной связи, если элемент системы уравнений имеет смысл перемещений, либо удаления связи, если элемент системы имеет смысл реакции во введенной связи [2–4].

Применение метода рассмотрим на примере простой статически неопределимой балки, изображенной на рис. 1, *a*, которая является частным случаем стержневой системы. Примем: $EJ = 1$ кН м², $EA = 50$ кН.

Формирование системы разрешающих уравнений метода конечных элементов можно вести по основной системе, изображенной на рис 1, *б* (схема перемещений показана на рис. 1, *в*). Для этого случая нужно использовать два типа конечных элементов: стержень с жестким защемлением по обоим концам (рис. 2, *a*) и стержень с жестким защемлением слева и шарнирным окончанием справа (рис. 2, *б*).

Для анализа системы предлагается использовать другую основную систему, изображенную на рис 1, *г* (схема перемещений показана на рис. 1, *д*). В этом случае используется только один конечный элемент: стержень с жестким защемлением по обоим концам (рис. 3, *a*, *б*).

В этом случае система разрешающих уравнений будет иметь немного большую размерность, но зато такой подход дает больше возможностей для анализа (покажем далее).

Сформируем систему разрешающих уравнений.

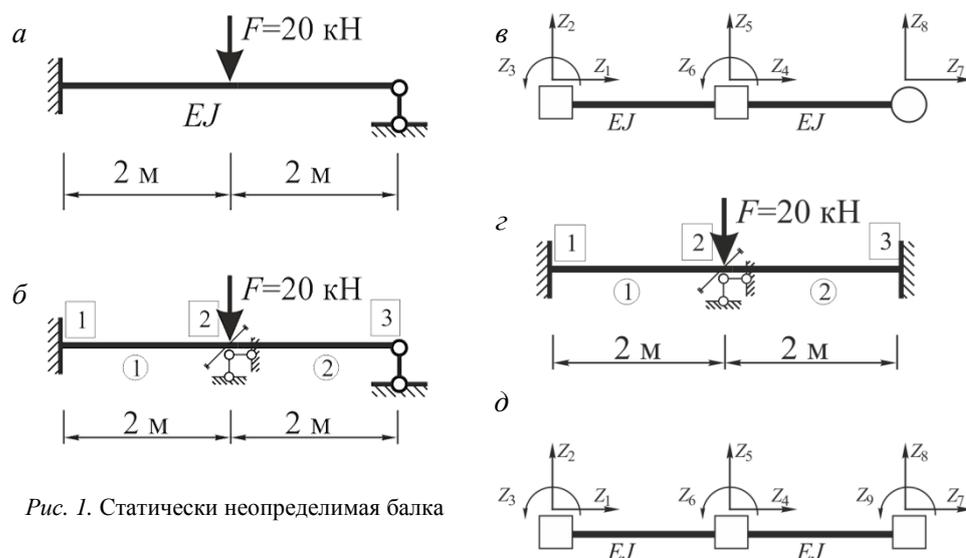


Рис. 1. Статически неопределимая балка

Для стержня 1 (рис. 3, а):

$$l_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = \sqrt{(2 - 0)^2 + (0 - 0)^2} = 2 \text{ м};$$

$$\cos \alpha_1 = \frac{x_2 - x_1}{l_1} = \frac{2 - 0}{2} = 1; \quad \sin \alpha_1 = \frac{y_2 - y_1}{l_1} = \frac{0 - 0}{2} = 0.$$

Сформируем матрицу жесткости стержня 1 в местной системе координат:

$$[k_1^*] = \begin{matrix} & \begin{matrix} Z_1 & Z_2 & Z_3 & Z_4 & Z_5 & Z_6 \end{matrix} \\ \begin{pmatrix} \frac{EA}{l_1} & 0 & 0 & -\frac{EA}{l_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EJ}{l_1^3} & \frac{6EJ}{l_1^2} & 0 & -\frac{12EJ}{l_1^3} & \frac{6EJ}{l_1^2} \\ 0 & \frac{6EJ}{l_1^2} & \frac{4EJ}{l_1} & 0 & -\frac{6EJ}{l_1^2} & \frac{2EJ}{l_1} \\ -\frac{EA}{l_1} & 0 & 0 & \frac{EA}{l_1} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EJ}{l_1^3} & -\frac{6EJ}{l_1^2} & 0 & \frac{12EJ}{l_1^3} & -\frac{6EJ}{l_1^2} \\ 0 & \frac{6EJ}{l_1^2} & \frac{2EJ}{l_1} & 0 & -\frac{6EJ}{l_1^2} & \frac{4EJ}{l_1} \end{pmatrix} & = \end{matrix}$$

$$= \begin{pmatrix} \frac{50}{2} & 0 & 0 & -\frac{50}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12 \cdot 1}{8} & \frac{6 \cdot 1}{4} & 0 & -\frac{12 \cdot 1}{8} & \frac{6 \cdot 1}{4} \\ 0 & \frac{6 \cdot 1}{4} & \frac{4 \cdot 1}{2} & 0 & -\frac{6 \cdot 1}{4} & \frac{2 \cdot 1}{2} \\ -\frac{50}{2} & 0 & 0 & \frac{50}{2} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12 \cdot 1}{8} & -\frac{6 \cdot 1}{4} & 0 & \frac{12 \cdot 1}{8} & -\frac{6 \cdot 1}{4} \\ 0 & \frac{6 \cdot 1}{4} & \frac{2 \cdot 1}{2} & 0 & -\frac{6 \cdot 1}{4} & \frac{4 \cdot 1}{2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 25 & 0 & 0 & -25 & 0 & 0 \\ 0 & 1,5 & 1,5 & 0 & -1,5 & 1,5 \\ 0 & 1,5 & 2 & 0 & -1,5 & 1 \\ -25 & 0 & 0 & 25 & 0 & 0 \\ 0 & -1,5 & -1,5 & 0 & 1,5 & -1,5 \\ 0 & 1,5 & 1 & 0 & -1,5 & 2 \end{pmatrix}.$$

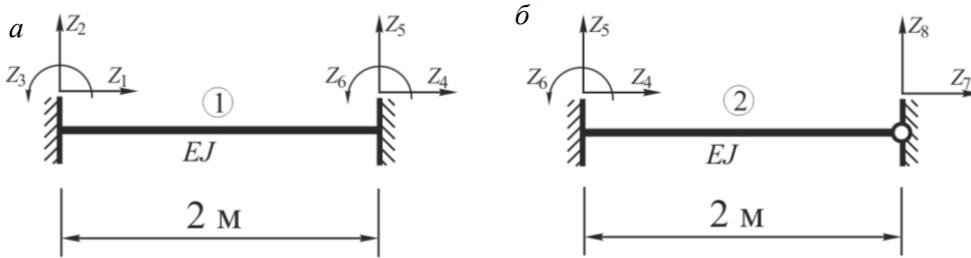


Рис. 2. Два типа конечных элементов

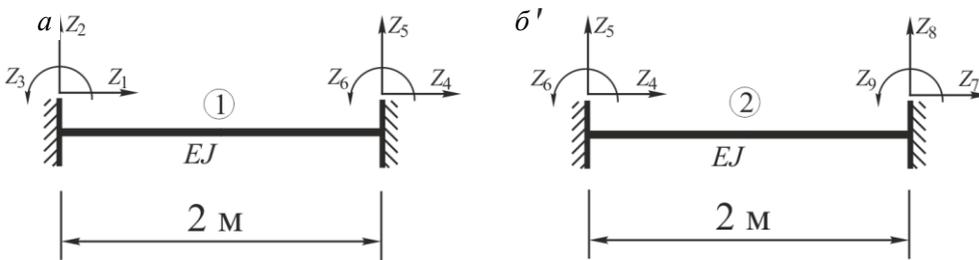


Рис. 3. Стержень с жестким защемлением

Матрица направляющих косинусов:

$$[C_1] = \begin{pmatrix} \cos\alpha_1 & -\sin\alpha_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos\alpha_1 & -\sin\alpha_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Матрица жесткости стержня 1 в общей системе координат

$$[k_1] = [k_1^*][C_1] = \begin{pmatrix} 25 & 0 & 0 & -25 & 0 & 0 \\ 0 & 1,5 & 1,5 & 0 & -1,5 & 1,5 \\ 0 & 1,5 & 2 & 0 & -1,5 & 1 \\ -25 & 0 & 0 & 25 & 0 & 0 \\ 0 & -1,5 & -1,5 & 0 & 1,5 & -1,5 \\ 0 & 1,5 & 1 & 0 & -1,5 & 2 \end{pmatrix}.$$

Для стержня 2 (рис. 3, б)

$$l_2 = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2} = \sqrt{(2-0)^2 + (0-0)^2} = 2 \text{ м};$$

$$\cos\alpha_2 = \frac{x_3 - x_2}{l_2} = \frac{2-0}{2} = 1; \quad \sin\alpha_2 = \frac{y_3 - y_2}{l_2} = \frac{0-0}{2} = 0.$$

Сформируем матрицу жесткости стержня 2. Очевидно, что при одинаковых длине, косинусах и синусах, а также жесткостных характеристиках матрица жесткости второго стержня в общей системе координат будет такой же, как и для первого стержня:

$$[k_2] = [k_2^*][C_2] = \begin{matrix} & Z_4 & Z_5 & Z_6 & Z_7 & Z_8 & Z_9 \\ \begin{pmatrix} 25 & 0 & 0 & -25 & 0 & 0 \\ 0 & 1,5 & 1,5 & 0 & -1,5 & 1,5 \\ 0 & 1,5 & 2 & 0 & -1,5 & 1 \\ -25 & 0 & 0 & 25 & 0 & 0 \\ 0 & -1,5 & -1,5 & 0 & 1,5 & -1,5 \\ 0 & 1,5 & 1 & 0 & -1,5 & 2 \end{pmatrix} \end{matrix}.$$

Матрица жесткости всей системы и нагрузка, приложенная к ней, показаны в табл. 1.

Данная матрица соответствует системе, изображенной на рис. 1, з, т. е. системе, имеющей по три связи в каждом из трех узлов.

Для удаления лишних связей необходимо сделать пять шагов жордановых исключений в табл. 1 с разрешающими элементами, соответствующими: горизонтальным связям Z_4 и Z_7 , вертикальной связи Z_5 , моментным связям Z_6 и Z_9 .

Разрешающие элементы всегда находятся на главной диагонали.

Проведя соответствующие вычисления, получим табл. 2.

Таблица 1

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	F
Z_1	20	0	0	-20	0	0	0	0	0	0
Z_2	0	1,5	1,5	0	-1,5	1,5	0	0	0	0
Z_3	0	1,5	2	0	-1,5	1	0	0	0	0
Z_4	-20	0	0	40	0	0	-20	0	0	0
Z_5	0	-1,5	-1,5	0	3	0	0	-1,5	1,5	20
Z_6	0	1,5	1	0	0	4	0	-1,5	1	0
Z_7	0	0	0	-20	0	0	20	0	0	0
Z_8	0	0	0	0	-1,5	-1,5	0	1,5	-1,5	0
Z_9	0	0	0	0	1,5	1	0	-1,5	2	0

Таблица 2

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	F
Z_1	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0
Z_2	0	0,05	0,19	0	-0,69	0,28	0	-0,05	0,38	13,75
Z_3	0	0,19	0,75	0	-0,75	0,13	0	-0,19	0,5	15
Z_4	1	0	0	0,05	0	0	0,05	0	0	0
Z_5	0	-0,69	0,75	0	0,58	0,13	0	0,32	-0,5	-11,67
Z_6	0	-0,28	-0,13	0	0,13	0,31	0	0,29	-0,25	-2,5
Z_7	1	0	0	0,05	0	0	0,1	0	0	0
Z_8	0	-0,05	-0,19	0	-0,31	-0,28	0	0,05	-0,38	6,25
Z_9	0	-0,38	-0,5	0	-0,5	-0,25	0	0,38	1	10

Как видно из полученных данных, элементы таблицы, находящиеся на пересечении столбца F и строк Z_2, Z_3, Z_8 , соответствуют значениям реакций для балки длиной 4 м, имеющей жесткое защемление слева, шарнирное опирание справа и нагруженной посередине сосредоточенной силой F (рис. 4).

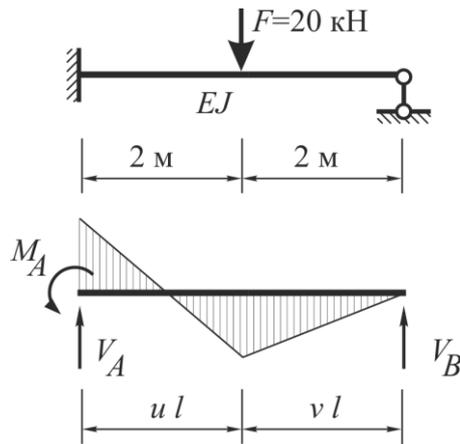


Рис. 4. Балка с жестким защемлением слева и шарнирным опиранием справа

$$M_A = \frac{F \cdot l}{2} v (1 - v^2) = \frac{20 \cdot 4}{2} 0,5 (1 - 0,5^2) = 15 = \text{элемент}(Z_3, F);$$

$$V_A = \frac{F \cdot u}{2} (3 - v^2) = \frac{20 \cdot 0,5}{2} (3 - 0,5^2) = 13,75 = \text{элемент}(Z_2, F);$$

$$V_B = \frac{F \cdot u^2}{2} (3 - u) = \frac{20 \cdot 0,5^2}{2} (3 - 0,5) = 6,25 = \text{элемент}(Z_8, F).$$

В остальных ячейках столбца F находятся значения перемещений по направлениям соответствующих связей.

Если в табл. 2 сделать шаг жордановых исключений с разрешающим элементом Z_9 , то это будет равносильно введению моментной связи Z_9 .

Элементы табл. 3, находящиеся на пересечении столбца F и строк Z_2, Z_3, Z_8, Z_9 , соответствуют значениям реакций для балки длиной 4 м, имеющей жесткие защемления по краям и нагруженной посередине сосредоточенной силой F (рис. 5).

Таблица 3

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	F
Z_1	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0
Z_2	0	0,19	0,38	0	-0,5	0,38	0	-0,19	0,38	10
Z_3	0	0,38	1	0	-0,5	0,25	0	-0,38	0,5	10
Z_4	1	0	0	0,05	0	0	0,05	0	0	0
Z_5	0	0,5	0,5	0	0,33	0	0	0,5	-0,5	-6,67
Z_6	0	-0,38	-0,25	0	0	0,25	0	0,38	-0,25	0
Z_7	1	0	0	0,05	0	0	0,1	0	0	0
Z_8	0	-0,19	-0,38	0	-0,5	-0,38	0	0,19	-0,38	10
Z_9	0	0,38	0,5	0	0,5	0,25	0	-0,38	1	-10

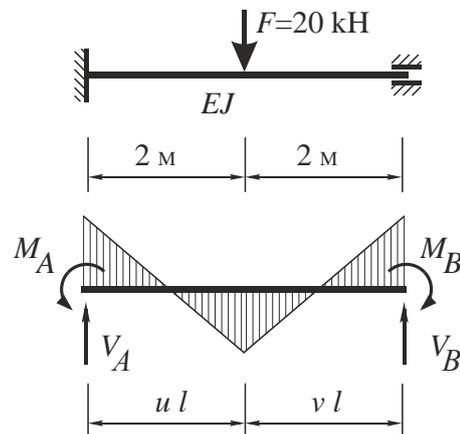


Рис. 5. Балка с жесткими защемлениями по краям

$$M_A = u v^2 F l = 0,5 \cdot 0,5^2 \cdot 20 \cdot 4 = 10 = \text{элемент}(F, Z_3);$$

$$M_B = u^2 v F l = 0,5^2 \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 4 = 10 = \text{элемент}(F, Z_9);$$

знак « \leftrightarrow », т. к. не совпадает направление;

$$V_A = v^2(1 + 2u)F = 0,5^2(1 + 2 \cdot 0,5)20 = 10 = \text{элемент}(F, Z_2);$$

$$V_B = u^2(1 + 2v)F = 0,5^2(1 + 2 \cdot 0,5)20 = 10 = \text{элемент}(F, Z_8).$$

Три шага жордановых исключений в табл. 3 с разрешающими элементами Z_7 , Z_1 и Z_3 равносильны введению горизонтальной связи Z_7 и удалению горизонтальной связи Z_1 и моментной связи Z_3 .

При этом видно, что на пересечении строки и столбца Z_1 находится число, равное 0, это означает, что данная связь не может быть удалена, т. к. является абсолютно необходимой для системы на рис. 5. Вначале нужно сделать шаг с элементом Z_7 и ввести горизонтальную связь Z_7 и только после этого можно будет удалить горизонтальную связь Z_1 .

Элементы табл. 4, находящиеся на пересечении столбца F и строк Z_2 , Z_8 , Z_9 , соответствуют значениям реакций для балки длиной 4 м, имеющей жесткое защемление справа, шарнирное закрепление слева и загруженной посередине сосредоточенной силой F (рис. 6).

Таблица 4

	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	F
Z_1	0,1	0	0	0,05	0	0	1	0	0	0
Z_2	0	0,05	0,38	0	-0,31	0,28	0	-0,05	0,19	6,25
Z_3	0	-0,38	1	0	0,5	-0,25	0	0,38	-0,5	-10
Z_4	0,05	0	0	0,05	0	0	1	0	0	0
Z_5	0	0,31	0,5	0	0,58	-0,13	0	0,69	-0,75	-11,67
Z_6	0	-0,28	-0,25	0	-0,13	0,31	0	0,28	-0,13	2,5
Z_7	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
Z_8	0	-0,05	-0,38	0	-0,69	-0,28	0	0,05	-0,19	13,75
Z_9	0	0,19	0,5	0	0,75	0,13	0	-0,19	0,75	-15

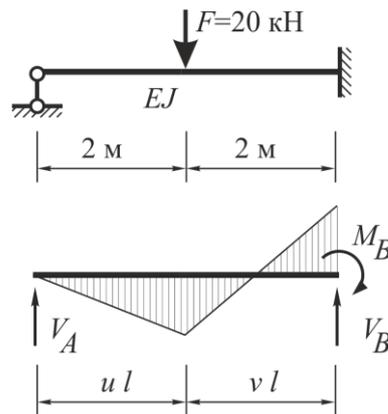


Рис. 6. Балка с шарнирным закреплением слева и жестким защемлением справа

$$M_B = \frac{F \cdot l}{2} v(1-v^2) = \frac{20 \cdot 4}{2} 0,5(1-0,5^2) = 15 = \text{элемент}(Z_9, F);$$

$$V_A = \frac{F \cdot u^2}{2} (3-u) = \frac{20 \cdot 0,5^2}{2} (3-0,5) = 6,25 = \text{элемент}(Z_8, F);$$

$$V_B = \frac{F \cdot u}{2} (3-v^2) = \frac{20 \cdot 0,5}{2} (3-0,5^2) = 13,75 = \text{элемент}(Z_2, F).$$

Описанные выше действия показывают, что применение жордановых исключений при расчете стержневых систем позволяет вводить или удалять как внешние, так и внутренние связи без необходимости формирования и решения новой системы разрешающих уравнений при каждом изменении в расчетной схеме стержневой системы. Также алгоритм позволяет определять абсолютно необходимые связи и запрещать их удаление.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Те А.Б. Механическая интерпретация жордановых исключений в задачах расчета статически неопределимых систем // Исследования по строительной механике и строительным конструкциям. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1988. С. 144–150.
2. Пестцов Д.Н., Те А.Б. Анализ шарнирно-стержневых систем при изменениях в расчетной схеме // Проблемы теории расчета сооружений. Томск : ТГАСУ, 1998. С. 2–4.
3. Пестцов Д.Н. Статический анализ шарнирно-стержневых систем при изменениях в расчетной схеме // Сборник трудов молодых ученых НГАСУ, 1999. № 2. С. 21–29.
4. Пестцов Д.Н. Учет односторонней работы связей при внесении изменений в расчетную схему фермы // Проблемы оптимального проектирования сооружений : сб. докладов III Всероссийского семинара : в 2 т. Новосибирск : НГАСУ, 2000. Т. 2. С. 123–124.

REFERENCES

1. Te A.B. Mekhanicheskaya interpretatsiya Zhordanovykh isklyuchenii v zadachakh rascheta staticheski neopredelimykh sistem [Mechanical interpretation of Jordan elimination in calculating statically indeterminate systems]. Issledovaniya po stroitel'noi mekhanike i stroitel'nym konstruksiyam. Tomsk, 1988. Pp. 144–150. (rus)
2. Pestsov D.N., Te A.B. Analiz sharnirno-sterzhnevyykh sistem pri izmeneniyakh v raschetnoi skheme [Analysis of hinge-rod systems with changes in design model]. In: Problemy teorii rascheta sooruzhenii [Design theory of buildings]. Tomsk: TSUAB, 1998. Pp. 2–4. (rus)
3. Pestsov D.N. Statcheskii analiz sharnirno-sterzhnevyykh sistem pri izmeneniyakh v raschetnoi skheme [Static analysis of hinge-rod systems with changes in design model]. In: Sbornik trudov molodykh uchennykh NGASU (Coll. Papers of Young Scientists NGASU). 1999. No. 2. Pp. 21–29. (rus)
4. Pestsov D.N. Uchet odnostoronnei raboty svyazei pri vnesenii izmenenii v raschetnuyu skhemu fermy [Unilateral operation of connections at changes in truss design model]. In: Problemy optimal'nogo proektirovaniya sooruzhenii: sb. dokladov III-go Vserossiiskogo seminar: v 2-kh tomakh (Proc. 3rd All-Russ. Seminar 'Problems of Optimum Structural Engineering'), in 2 vol., Novosibirsk, 2000. V. 2. Pp. 123–124. (rus)

Сведения об авторе

Пестцов Дмитрий Николаевич, канд. техн. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, DmitryPestsov@rambler.ru

Author Details

Dmitry N. Pestsov, PhD, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, DmitryPestsov@rambler.ru

УДК 725.1:61:355.58

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-105-115

В.В. ХОЛЩЕВНИКОВ¹, А.А. СЁМИН^{1,2}, И.А. ТАКТАЕВ³,¹Академия государственной противопожарной службы МЧС России,²Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,³ООО «Центр пожарной безопасности»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ВРЕМЕНИ НАЧАЛА ЭВАКУАЦИИ В ЗДАНИЯХ ЛЕЧЕБНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Основной функциональный контингент зданий лечебных учреждений составляют люди с ограниченными возможностями, значения параметров движения которых при эвакуации до недавнего времени оставались неизвестными. Для их установления проведена тренировочная (неанонсированная для пациентов) эвакуация.

Её результаты показали, что значения параметров движения потоков этого контингента людей, определяющие расчётное время эвакуации (t_p), значительно ниже, чем у здоровых людей, или они вообще неспособны самостоятельно передвигаться (в зданиях стационаров).

Данные же о времени начала эвакуации ($t_{н.эв}$) опубликованы не были. Поэтому в настоящей статье впервые описываются натурные наблюдения хода формирования величины $t_{н.эв}$ и анализируются результаты исследований времени начала эвакуации пациентов с ограниченными возможностями передвижения, полученные в результате натурных наблюдений в отделениях поликлинического корпуса Московского областного научно-исследовательского клинического института им. М.Ф. Владимирского (ГБУЗ МО МОНИКИ). Эти данные образовали исходную статистическую базу.

Ключевые слова: безопасность; общее время эвакуации, время начала эвакуации; люди с ограниченными возможностями передвижения; опасные факторы пожара; доступная среда; зоны безопасности.

Для цитирования: Холщевников В.В., Сёмин А.А., Тактаев И.А. Исследование значений времени начала эвакуации в зданиях лечебных учреждений // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 105–115.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-105-115

V.V. KHOLSHCHEVNIKOV¹, A.A. SEMIN^{1,2}, I.A. TAKTAEV³,¹State Fire Academy of Emercom of Russia,²D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,³Fire Safety Center

EVACUATION BEGINNING TIME IN HEALTHCARE CENTRES

The population of healthcare centres includes patients with disabilities. Until recently, the parameters of their movement during evacuation remain unknown. A training evacuation (not announced for patients) is performed to determine these parameters. It is found that the parameters of the people movement, which determine the estimated evacuation time, are significantly lower than those of healthy people, or they are unable to move independently (in a hospital). The time of the beginning of the evacuation has not been studied in the literature. This paper presents for the first time the results of field observations concerning the evacuation time for patients with disabilities. These data form the initial statistical database. The training evacuation is performed in the outpatient building of Vladimirskii Moscow Regional Research Clinical Institute.

Keywords: safety; total evacuation time; evacuation beginning time; patients with disabilities; fire; accessible environment; security zones.

For citation: Kholshchevnikov V.V., Semin A.A., Taktaev I.A. Issledovanie znachenii vremeni nachala evakuatsii v zdaniyakh lechebnykh uchrezhdenii [Evacuation beginning time in healthcare centres]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 105–115.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-105-115

Введение

Обеспечение безопасности людей, находящихся в здании лечебного учреждения [1] при пожаре, требует выполнения условия

$$t_{эв} = t_{н.э} + t_p \leq t_{н.б}, \quad (1)$$

т. е. общее время эвакуации $t_{эв}$, равное сумме времени начала эвакуации ($t_{н.э}$) любого человека и расчётного времени его движения [2] в безопасную зону (t_p), не должно превосходить значений, необходимых ($t_{н.б}$) для блокирования опасными факторами пожара (ОФП) эвакуационных путей и выход.

Нормативный показатель «ремя начала эвакуации ($t_{н.э}$) – интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей» впервые был введён ГОСТ 12.1.004–91* [3]. Время начала эвакуации может достигать 90 % времени общей эвакуации людей ($t_{эв}$)

$$t_{эв} = t_{н.э} + t_p, \quad (2)$$

которое не должно превосходить значения времени, необходимого ($t_{н.б}$) для блокирования опасными факторами пожара (ОФП) эвакуационных путей и выходов. В зданиях класса функциональной пожарной опасности Ф.3, оборудованных системой оповещения III–V типа, время начала эвакуации принято равным 1 мин [4].

Значения необходимого времени начала эвакуации определяются динамикой ОФП, которая в настоящее время воспроизводится одной из трёх компьютерных моделей [4, 5]: интегральной, зонной или полевой.

Значения времени начала эвакуации, так же как и параметров людских потоков, традиционно устанавливаются представителями научной школы «Теория людских потоков» [6], поскольку именно они положили начало исследованиям поведению людей при эвакуации и имеют успехи, признанные мировым научным сообществом [7].

Специальными исследованиями установлено [8], что время начала эвакуации определяется затратами времени на обнаружение очага возгорания $t_{об}$; оповещение и объявление тревоги $t_{оп}$; осмысление и оценку сложившейся ситуации после оповещения t_0 ; физическую подготовку $t_{подг}$ (сбор документов, вещей, выключение оборудования и т. п.):

$$t_{н.э} = (t_{об} + t_{оп}) + t_0 + t_{подг}. \quad (3)$$

Сумма ($t_{об} + t_{оп}$) характеризует не только техническую инерционность систем обнаружения и оповещения о пожаре, но и их надежность: при ($t_{об} + t_{оп}$) $\rightarrow \infty$ имеем практический отказ систем. Величина ($t_{об} + t_{оп}$) = $t_{р.л}$ – время реагирования и подготовки людей к эвакуации; это «человеческий фактор».

Отсутствие эмпирической базы и корректных показателей в нормативных документах по времени началу эвакуации из зданий лечебных учреждений определило актуальность проведения данного исследования. Исследование проводилось 21 мая 2015 г. в 11:56:30 в рамках тренировочной (неанонсированной для пациентов) эвакуации в здании амбулаторно-поликлинического корпуса ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского (рис. 1).



Рис. 1. Схема генерального плана ГБУЗ МО МОНИКИ

Методология проведения натуральных наблюдений

Исследования проводились по отработанной методологии с применением методов фиксации эмпирических данных и методов статистической обработки [9, 10], которая в настоящее время включает в себя:

- организацию и проведение натуральных наблюдений происходящего процесса, ход которого фиксируется на цифровые камеры;
- дешифровку полученных видеоматериалов с целью определения значений исследуемых параметров;
- статистическую обработку полученных данных;
- статистический анализ полученных результатов;
- поиск теоретического объяснения выявленных эмпирических зависимостей.

Процесс эвакуации фиксировался стационарными камерами видеонаблюдения, установленными на этажах корпуса. Аппаратура видеонаблюдения установлена на пяти первых этажах здания поликлиники. Перечень функциональных назначений помещений и медицинских отделений, находящихся на этажах, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Экспликация помещений первых пяти этажей здания поликлиники

№ п/п	№ этажа	Наименование отделений	Функциональное назначение помещений
1	1	Регистратура, отделение рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии	Регистратура, зал ожидания, архив, пост охраны, аптечный киоск и т. д., процедурный кабинет, ординаторская
2	2	Терапевтическое отделение	Кабинеты приёма врача: нефролог, инфекционист, профпатолог, радиолог
3	3	Терапевтическое отделение	Кабинеты приёма врача: гематолог, пульмонолог, кардиолог, невролог, ревматолог, диспансерный врач
4	4	Поликлиническое хирургическое	Кабинеты приёма врача: торакальный хирург, нейрохирург, травматолог, абдоминальный хирург, кардиохирург, сосудистый хирург
5	5	Терапевтическое отделение	Кабинеты приёма врача: эндокринолог, гастроэнтеролог, уролог, гинеколог

По окончании эксперимента проводился анализ видеозаписей и формирование статистической совокупности полученных данных. При проведении обработки данных включалась отснятая видеозапись и фиксировалось время от момента подачи сигнала системы оповещения до начала эвакуации для каждого человека, который попадал в объектив камеры (рис. 2).



Рис. 2. Время начала эвакуации на примере нескольких пациентов поликлиники:
а – время до начала срабатывания СОУЭ; *б* – через 50 с пациенты начали одеваться; *в* – через 1 мин 30 с пациенты последовали к эвакуационному выходу

При проведении эксперимента медицинский персонал был предупрежден о предстоящей эвакуации, а пациенты не были проинформированы об этом мероприятии. На приведённых фото наглядно отслеживается, что в ряде случаев пациенты не сразу реагировали на сигналы системы оповещения

о пожаре; только после появления медицинского персонала они приступали к эвакуации (рис. 3). Часть пациентов начала сбор вещей только после настоятельной рекомендации медицинского персонала. Связано это, видимо, с приближением времени приёма врача и боязнью пропуска своей очереди.



Рис. 3. Действие персонала поликлиники после срабатывания СОУЭ:
а – через 50 с; б – через 79 с; в – через 129 с; г – через 174 с

Несомненно, поведение персонала – важнейшая составляющая организации эвакуации, влияющая на своевременность ее начала. Показательно, что ISO/TR 16738:2009 [11] устанавливает три уровня менеджмента (М1–М3) в зависимости от степени подготовленности персонала:

М1 – высокоподготовленный к действиям при пожаре персонал в требуемом количестве; проводится независимый аудит пожарной безопасности;

М2 – высокоподготовленный к действиям при пожаре персонал, но в меньшем количестве, чем необходимо; независимый аудит пожарной безопасности, как правило, проводится;

М3 – персонал, способный выполнить минимальные требования по обеспечению пожарной безопасности; независимый аудит пожарной безопасности не проводится.

При проведении анализа действия персонала выявилось, что персонал в целом действовал штатно и с позиций противопожарного менеджмента его можно отнести к группе М1.

Статистическая обработка данных натурных наблюдений

Полученные эмпирические значения скорости варьировались по интервалам плотности, в пределах которых производилась дифференциация времени начала эвакуации. Оптимальными интервалами времени получился шаг в 20 с.

Статистические показатели выборочных совокупностей времени начала эвакуации на этажах натурных наблюдений приведены в табл. 2.

Таблица 2

Статистические характеристики времени начала эвакуации

№ п/п	Интервалы, с	1-й этаж		2-й этаж		3-й этаж		4-й этаж		5-й этаж	
		Среднее значение, с	Частоты								
1	0–20		0,39	10,63	0,26	12	0,1	13,3	0,17	10	0,03
2	20–40	9,17	0,14	39,5	0,26	30,2	0,16	37	0,02	25	0,03
3	40–60	29	0,07	83,8	0,07	48,7	0,13	54,3	0,17	47	0,055
4	60–80	44	0,07	111,6	0,18	70	0,09	70,84	0,25	45,33	0,055
5	80–100	75	0,05	128	0,09	90,5	0,15	95,36	0,21	94	0,08
6	100–120	98	0,05	180,4	0,07	180,4	0,09	107,71	0,13	113,3	0,28
7	120–140	103,5	0,02	208,5	0,07	129,77	0,11	134	0,04	132,4	0,14
8	140–160	128	0,02	–	–	151,28	0,06	–	–	146,57	0,19
9	160–180	153	0,02	–	–	173,67	0,03	–	–	169,75	0,11
10	180–200	165	0,05	–	–	188,67	0,05	–	–	198	0,03
11	200–220	192	0,12	–	–	211,67	0,03	–	–	–	–
		206,8	$\Sigma = 1,00$	–	$\Sigma = 1,00$						

Гистограммы, полученные в результате эксперимента, представлены на рис. 4–8.

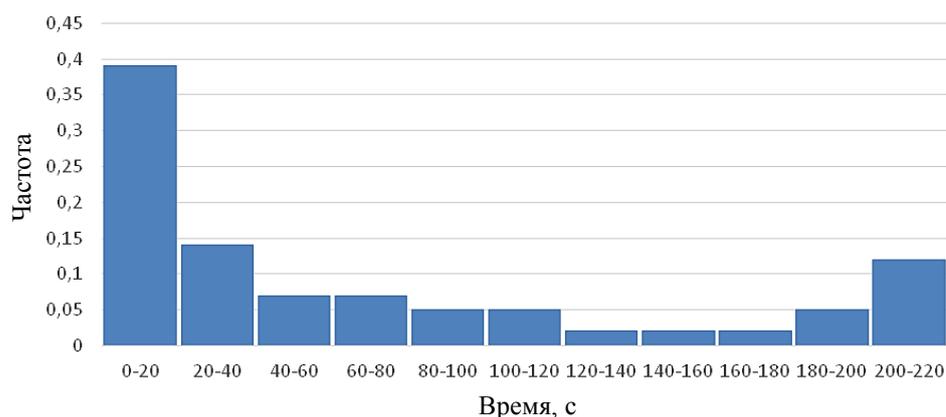


Рис. 4. Гистограмма распределения значений времени начала эвакуации на 1-м этаже

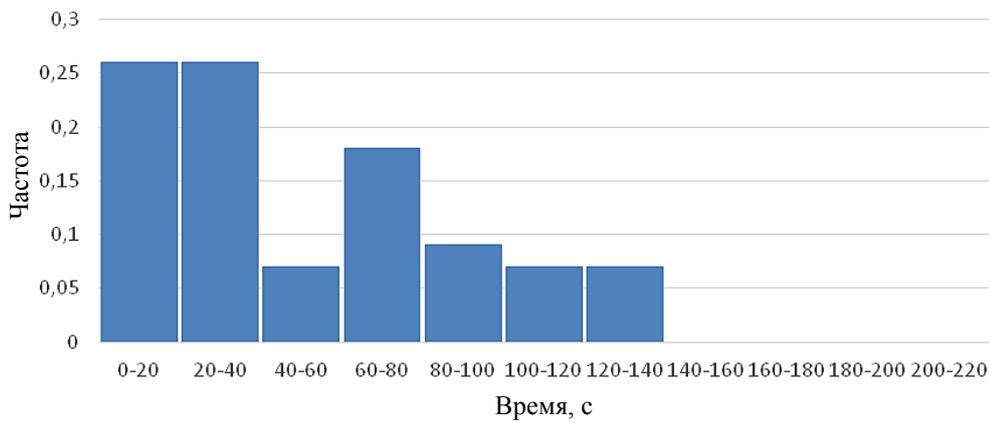


Рис. 5. Гистограмма распределения значений времени начала эвакуации на 2-м этаже

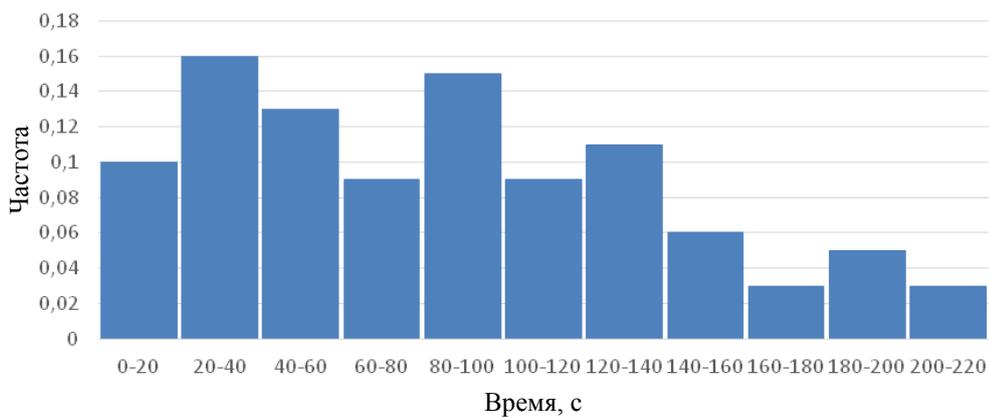


Рис. 6. Гистограмма распределения значений времени начала эвакуации на 3-м этаже

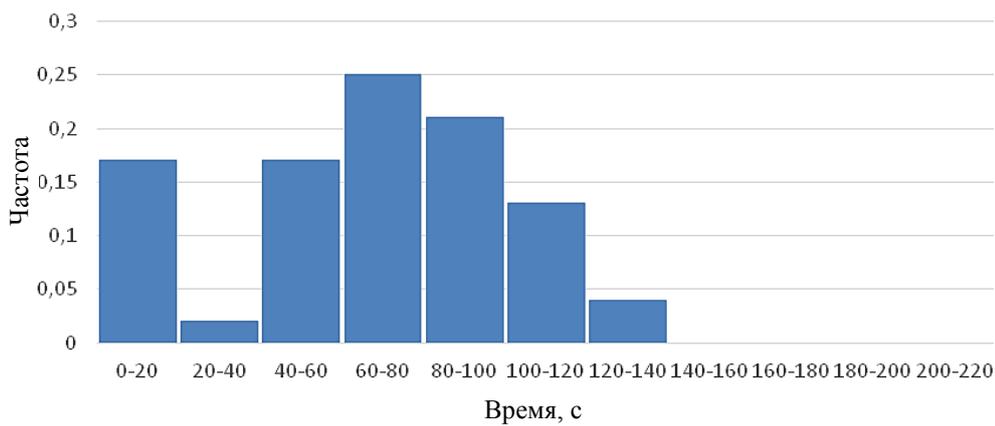


Рис. 7. Гистограмма распределения значений времени начала эвакуации на 4-м этаже

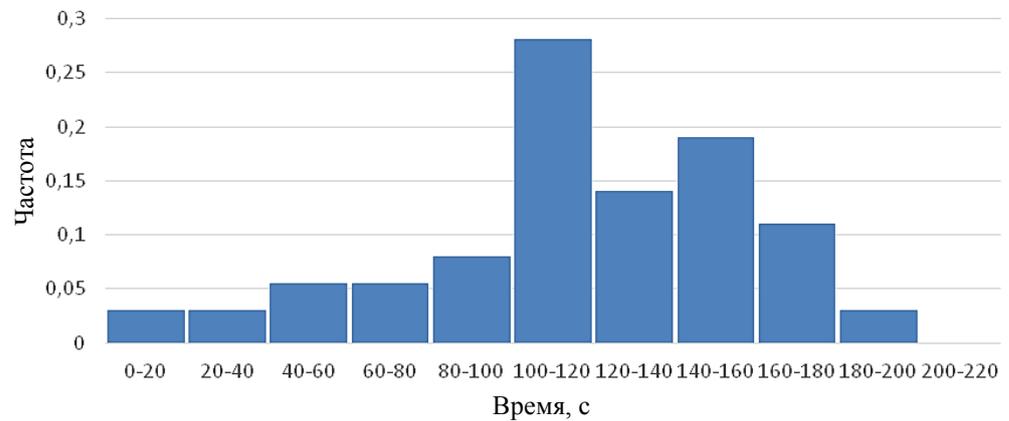


Рис. 8. Гистограмма распределения значений времени начала эвакуации на 5-м этаже

Время начала эвакуации представляет собой неодновременное начало движения людских масс. Оно зависит от индивидуальных качеств людей, поэтому должно нормироваться как случайная величина. В связи с этим значения времени начала эвакуации представлены в качестве гистограмм, полученных в результате составления табл. 2.

Для оценки возможности объединения выборочных совокупностей в общую выборку необходимо проверить гипотезу об их однородности. Для выявления однородности существует не так много способов. Наиболее простой из них состоит в попарном сравнении значений выборочных совокупностей в одинаковых интервалах времени начала эвакуации в каждой из серий натуральных наблюдений. Поскольку одновременно сравниваются только две выборочные совокупности, то сравнение их средних может проводиться по z -критерию при объеме выборок более 30 значений ($n_i > 30$) или по T -критерию при их менее многочисленном объеме [12]:

$$z_{\text{наб}} = \frac{T_1 - T_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}; \quad (4)$$

$$T_{\text{наб}} = \frac{T_1 - T_2}{\sqrt{(n_{i,1} - 1)S_{i,1}^2 - (n_{i,2} - 1)S_{i,12}^2}} \sqrt{\frac{n_{i,1} \cdot n_{i,2} (n_{i,1} + n_{i,2} - 2)}{(n_{i,1} + n_{i,2})}}, \quad (5)$$

где T_1 и T_2 ; $S_{i,1}$ и $S_{i,2}$; $S_{i,1}$ и $S_{i,2}$ – соответственно средние значения времени начала эвакуации, дисперсии, количество наблюдений. Гипотеза о равенстве средних принимается в том случае, если $z_{\text{наб}} < z_{\text{кр}}$ или $T_{\text{наб}} < T_{\text{кр}}$. Значение $z_{\text{кр}}$ и $T_{\text{кр}}$ определяется в соответствии с общими правилами [13] при уровне значимости $\alpha = 0,01$.

Проведённая проверка показала неоднородность выборочных совокупностей значений $t_{\text{н.э}}$ на разных этажах проведения тренировочной эвакуации пациентов. Однако вид распределений всех этих совокупностей подтверждает установленный ранее [14] для неанонсированных эвакуаций логарифмически

нормальный закон распределения, характерный для ситуаций, когда оценка времени ведётся сенсорной системой человека

Выводы

Выполненные исследования реализуют международные обязательства России [15–17] по созданию в нашей стране среды, доступной для инвалидов и людей с ограниченными возможностями передвижения.

Проведенные исследования позволили впервые сформировать статистическую базу данных по времени начала эвакуации людей из амбулаторно-поликлинических зданий. Достоверность полученных данных основывается на апробированных методах натуральных наблюдений и статистического анализа.

Согласно [5, табл. 5.1], время начала эвакуации составляет 1 мин (III тип системы оповещения); при проведении описанных исследований только $t_{р.л}$ – время реагирования и подготовки людей к эвакуации оказалось в 3–4 раза выше значений, установленных нормативами.

Как и в ранее проведенных исследованиях, в данном эксперименте особую роль играет персонал медицинского учреждения. При включении системы оповещения о пожаре пациенты начинают исследовать ситуацию, пытаются найти подтверждающий сигнал о том, что им угрожает опасность. При получении указаний от медицинского персонала начинают приступать к эвакуации.

Проверка выборочных совокупностей на однородность показала, что при принятых уровнях значимости различия между ними существенны, т. е. они не могут быть объединены в общую совокупность. Следует обратить внимание на этот факт, поскольку он подтверждает проявление значимых различий в поведении людей с ограниченными возможностями, посещающими помещения различного функционального назначения (см. табл. 1). Тем самым подтверждается и корректность необходимости дифференциации людей в зависимости от степени потери их мобильности [1].

Полученные данные актуализируют следующие вопросы:

- организация зон временной пожарной безопасности в помещениях амбулаторных корпусов;
- использование средств внутреннего механического транспорта (лифты) для эвакуации пациентов из зон временной безопасности;
- рациональность использования больничных лифтов для транспортирования людей из зон безопасности при возникновении пожара.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семин А.А., Фомин А.М., Холщевников В.В. Проблема организации безопасной эвакуации пациентов лечебных учреждений при пожаре // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2018. Т. 27. № 7–8. С. 74–88.
2. Холщевников В.В., Семин А.А., Роганина М.А. Установление закономерностей связи между параметрами потоков, состоящих из людей с ограниченными возможностями передвижения // Пожарная безопасность. 2020. № 4 (101). С. 71–81.
3. ГОСТ 12.1.004–91*. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.
4. Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».

5. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещениях. Москва : Академия ГПС МВД России, 2000.
6. Научная школа Теория людских потоков // Российская архитектурно-строительная энциклопедия. 2001. Т. VII.
7. Диплом № 24-S на открытие в области социальной психологии «Закономерности связи между параметрами людских потоков» / Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Международная ассоциация авторов научных открытий. 2.06.2005.
8. Самошин Д.А., Холщевников В.В. Проблемы нормирования времени начала эвакуации // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 5. С. 37–51.
9. Холщевников В.В., Самошин Д.А., Исаевич И.И. Натурные наблюдения людских потоков. Москва : АГПС МЧС РФ, 2009.
10. Kholshchevnikov V.V., Shields T.J., Boyce K.E., Samoshin D.A. Recent developments in pedestrian flow theory and research in Russia // Fire Safety Journal. 2008. V. 43. P.108–118.
11. ISO/TR 16738:2009. Fire-safety engineering // Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people. Geneva, Switzerland : ISO, 2009.
12. Холщевников В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва : МИСИ, 1983.
13. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математической статистики. Москва : Высшая школа, 1977.
14. Холщевников В.В. Гносеология людских потоков. Москва : Академия ГПС МЧС России, 2019.
15. Декларация о правах инвалидов/резолюция №258-А (II) Генеральной Ассамблеи ООН, 1971.
16. Государственная программа Российской Федерации «Доступная среда». На 2011–2020 годы: Постановление Правительства Российской Федерации от 01.12.2015 № 1297.
17. World Population Ageing 2013 / United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York : United Nations, 2013. URL: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2013.pdf>.

REFERENCES

1. Semin A.A., Fomin A.M., Kholshchevnikov V.V. Problema organizatsii bezopasnoi evakuatsii patsientov lechebnykh uchrezhdenii pri pozhare [Safe evacuation of patients from hospitals in case of fire]. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2018. V. 27. No. 7–8. Pp. 74–88. (rus)
2. Kholshchevnikov V.V., Semin A.A., Roganina M.A. Ustanovlenie zakonornosti svyazi mezhdru parametrami potokov, sostoyashchikh iz lyudei s ogranichennymi vozmozhnostyami peredvizheniya [Parameters of movement of disabled people]. *Pozharnaya bezopasnost'*. 2020. No. 4 (101). Pp. 71–81. (rus)
3. SNiP 12.1.004–91*. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya [Occupational safety standards. Fire safety. General requirements]. (rus)
4. Prikaz MChS Rossii ot 30 iyunya 2009 g. N 382 “Ob utverzhenii metodiki opredeleniya raschetnykh velichin pozhnogo riska v zdaniyakh, sooruzheniyakh i stroeniyakh razlichnykh klassov funktsional'noi pozhnnoi opasnosti” [Order of the Ministry of Emergencies of Russia of June 30, 2009 N 382 "On approval of the methodology for determining the fire risk in buildings of various classes of fire hazard"]. (rus)
5. Koshmarov Yu.A. Prognozirovaniye opasnykh faktorov pozhara v pomeshcheniyakh [Prediction of hazardous factors of fire in premises]. Moscow: Akademiya GPS MVD Rossii, 2000. (rus)
6. Nauchnaya shkola Teoriya lyudskikh potokov [Scientific school “Theory of human flows”]. Rossiiskaya arkhitekturno-stroitel'naya entsiklopediya. 2001. V. 7. (rus)
7. Diplom N 24-S na otkrytie v oblasti sotsial'noi psikhologii “Zakonornosti svyazi mezhdru parametrami lyudskikh potokov” [Diploma No. 24-S "Parameters of human flows"]. Rossiiskaya akademiya estestvennykh nauk, Mezhdunarodnaya akademiya avtorov nauchnykh otkrytii i izobretenii, Mezhdunarodnaya assotsiatsiya avtorov nauchnykh otkrytii. 2005. (rus)

8. Samoshin D.A., Kholshchevnikov V.V. Problemy normirovaniya vremeni nachala evakuatsii [Problems of rationing the time of the beginning of evacuation]. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2016. V. 25. No. 5. Pp. 37–51. (rus)
9. Kholshchevnikov V.V., Samoshin D.A., Isaevich I.I. Naturnye nablyudeniya lyudskikh potokov [Natural observations of human flows]. Moscow, 2009. (rus)
10. Kholshchevnikov V.V., Shields T.J., Boyce K.E., Samoshin D.A. Recent developments in pedestrian flow theory and research in Russia. *Fire Safety Journal*. 2008. V. 43. Pp. 108–118.
11. ISO/TR 16738:2009. Fire-safety engineering. Technical information on methods for evaluating behavior and movement of people. Geneva, Switzerland, 2009. (rus)
12. Kholshchevnikov V.V. Lyudskie potoki v zdaniyakh, sooruzheniyakh i na territorii ikh kompleksov: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk [Human flows in buildings and on the territory of their complexes. DSc Thesis]. Moscow: MISI, 1983. (rus)
13. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnosti i matematicheskoi statistiki [Theory of probability and mathematical statistics]. Moscow: Vysshaya shkola, 1977. (rus)
14. Kholshchevnikov V.V. Gnoseologiya lyudskikh potokov [Epistemology of human streams]. Moscow, 2019. (rus)
15. Deklaratsiya o pravakh invalidov/rezolyutsiya N 258-A (II) General'noi Assamblei OON [Declaration on the Rights of Persons with Disabilities. Resolution No. 258-A (II) of the UN General Assembly], 1971.
16. Gosudarstvennaya programma Rossiiskoi Federatsii "Dostupnaya sreda" [State program of the Russian Federation "Accessible Environment" for 2011–2020]. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 01.12.2015 N 1297 [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1297 of 01.12.2015]. (rus)
17. World Population Aging 2013. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York, 2013. Available: www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/aging/WorldPopulationAgeing2013.pdf

Сведения об авторах

Холщевников Валерий Васильевич, докт. техн. наук, профессор, Академия государственной противопожарной службы МЧС России, 129301, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, reglament2004@mail.ru

Семин Алексей Алексеевич, заместитель руководителя университета, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 125047, г. Москва, ул. Миусская площадь, 9; соискатель ученой степени канд. техн. наук, Академия государственной противопожарной службы МЧС России, 129301, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, symin89@mail.ru

Тактаев Игорь Андреевич, специалист по пожарной безопасности, ООО «Центр пожарной безопасности», 141205, г. Пушкино, ул. Набережная, 2а, igor.taktaev@mail.ru

Authors Details

Valerii V. Kholshchevnikov, DSc, Professor, State Fire Academy of EMERCOM of Russia, 4k2, Boris Galushkina Str., Moscow, Russia, reglament2004@mail.ru

Aleksei A. Semin, Deputy Head, D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, 9, Miusskaya Sq., 125047, Moscow, Russia, symin89@mail.ru

Igor' A. Taktaev, Fire Safety Expert, Fire Safety Center, 2a, Naberezhnaya Str., 141205, Pushkino, Russia, igor.taktaev@mail.ru

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.343

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-116-125

*Н.И. КУРИЛЕНКО, К.Е. КУЗЬМЕНКО,
Тюменский индустриальный университет*

АКТУАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

Приведен анализ существующих методик проведения испытаний трубопроводов теплоснабжения на тепловые потери, гидравлические сопротивления и максимальную температуру теплоносителя. Испытания рассмотрены с точки зрения наличия современного оборудования и требований, предусмотренных нормативно-технической документацией. Актуальность данной темы обусловлена несовершенством требований действующего нормативно-технического законодательства РФ к проведению испытаний на тепловых сетях ресурсоснабжающих организаций. На основании полученных данных можно оценить имеющийся потенциал тех или иных методов проведения испытаний, а также оценить степень возникающих затрат.

Ключевые слова: централизованное теплоснабжение; тепловые потери; испытания; трубопроводы.

Для цитирования: Куриленко Н.И., Кузьменко К.Е. Актуализация методов проведения испытаний на тепловых сетях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 116–125.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-116-125

*N.I. KURILENKO, K.E. KUZMENKO,
Tyumen Industrial University*

HEAT NETWORK TESTING ACTUALIZATION

The paper analyzes the testing methods for the heat loss, hydraulic resistance and maximum temperature of the heat carriers. The tests are based on the availability of modern equipment and the requirements of regulatory and technical documentation. The relevance of this work is due to the imperfect requirements of the current regulatory and engineering legislation of the Russian Federation for testing heating networks of resource providers. Based on the data obtained, it is possible to assess the potential of the test methods and expenditures. **Purpose:** Consideration of existing methods and updating of heating network testing methods. **Methodology:** Theoretical heat and hydraulic loss analyses of the heating networks. The test results are taken into consideration. **Research findings:** The obtained data can be used to update the testing process and eliminate errors in the test methods. **Practical implications:** The obtained

results will allow the resource providers to increase the test efficiency of heating networks. **Value:** The existing heat and hydraulic loss test methods of heating networks were developed and approved in 1998. This work is aimed at developing modern methods with the elimination of the shortcomings of the existing methods and implementation of the modern equipment.

Keywords: centralized heat supply; heat losses; tests; pipelines.

For citation: Kurilenko N.I., Kuzmenko K.E. Aktualizatsiya metodov provedeniya ispytaniy na teplovykh setyakh [Heat network testing actualization]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 116–125. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-116-125

Общие положения при проведении испытаний на тепловых сетях

Теплоснабжение на территории Российской Федерации в 2020 г. осуществляется преимущественно централизованными системами теплоснабжения с теплогенерирующими установками в виде ТЭЦ. Квартальное теплоснабжение применяется для небольших городов или сельских поселений, а также для отопления отдельных районов крупных городов. Индивидуальное отопление фонда многоквартирных домов применяется для малой части существующих и возводимых домов и влечет удорожание стоимости жилой площади.

Использование централизованных и квартальных систем отопления населённых пунктов и городов подразумевает содержание на балансах теплоснабжающих организаций тепловых сетей. Тепловые сети отопления и ГВС (в случае применения четырехтрубной системы теплоснабжения) требуют своевременного технического обслуживания, а также нуждаются в проведении капитального ремонта, реконструкции и технического перевооружения [1]. Существующие методы обслуживания тепловых сетей регламентируются сроками эксплуатации, обозначенными в действующей нормативно-технической документации, а также паспортными данными организации-производителя. С целью поддержания удовлетворительного технического состояния тепловых сетей, а также выявления наиболее уязвимых участков тепловых сетей предусмотрено проведение периодических испытаний тепловых сетей на максимальную температуру теплоносителя, испытания на гидравлические сопротивления и испытания на тепловые потери [2]. Указанные испытания позволяют определить степень износа тепловых сетей и провести предупреждающие мероприятия перед началом отопительного сезона.

По состоянию на 2020 г. в Российской Федерации существуют определенные требования, предъявляемые к ресурсоснабжающим организациям в части контроля за техническим состоянием трубопроводов сетей теплоснабжения. Данные требования регулируются Правилами технической эксплуатации тепловых энергоустановок [3, п. 6.2.32]. Правила устанавливают сроки проведения испытаний на максимальную температуру теплоносителя, на определение тепловых и гидравлических потерь не реже 1 раза за 5 лет. Органом государственной власти, уполномоченным на осуществление контроля за проведением вышеуказанных испытаний, является Ростехнадзор.

Для рассмотрения существующих методик проведения испытаний представлена сводная таблица, в которой приведена существующая документация,

регламентирующие методы проведения испытаний, и действующий статус документа на текущий момент.

Нормативная документация

Вид испытаний на сетях отопления и ГВС	Название методического/нормативного документа	Дата введения	Статус по состоянию на 2020 г.	Комментарий
Испытания на максимальную температуру теплоносителя	РД 153-34.1-20.329-2001	01.08.01	Не действует	Исключен из Реестра действующих в электроэнергетике НТД приказом НП «ИНВЭЛ» № 102 от 31.12.2009 г.
Испытания на гидравлические потери	РД 34.20.519-97	01.01.98	Не действует	Исключен из Реестра действующих в электроэнергетике НТД приказом НП «ИНВЭЛ» № 102 от 31.12.2009 г.
Испытания на тепловые потери	РД 34.09.255-97	01.01.98	Не действует	Исключен из Реестра действующих в электроэнергетике НТД приказом НП «ИНВЭЛ» № 102 от 31.12.2009 г.
Методические указания по составлению энергетических характеристик для систем транспорта тепловой энергии	РД 153-34.0-20.523-98 Часть II	01.05.99	Не действует	Исключен из Реестра действующих в электроэнергетике НТД приказом НП «ИНВЭЛ» № 102 от 31.12.2009 г.
Испытания на максимальную температуру теплоносителя, гидравлические и тепловые потери	СТО 70238424.27. 010.004-2009	31.12.09	Действует	Организационно-ограниченного применения. Стандарт распространяется на членов Некоммерческого партнерства «Инновации в электроэнергетике»

Действующий в настоящее время СТО 70238424.27.010.004-2009 включает в себя методики проведения испытаний на максимальную температуру теплоносителя, испытания на гидравлические и тепловые потери, принятые в вышеуказанных РД. Методика распространяется на неустановленный список организаций, также отсутствуют признаки организаций, подпадающих под действие данного документа. Нормативная документация, регламентирующая ме-

тодику проведения испытаний на тепловые и гидравлические потери, максимальную температуру теплоносителя для теплоснабжающих организаций, отсутствует [4]. Ввиду сложившейся ситуации, ресурсоснабжающие и профильные подрядные организации вынуждены руководствоваться собственными технологиями и методиками при проведении испытаний на тепловых сетях, что вызывает отсутствие стандартизированного результата и может послужить причиной противоречий между организацией-заказчиком, контролирующим органом и организацией-исполнителем.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что требования к ресурсоснабжающим организациям со стороны органов ФС «Ростехнадзор» в части обязательного проведения испытаний на сетях отопления и ГВС на тепловые и гидравлические потери, на максимальную температуру теплоносителя имеют место быть. В то же время отсутствуют утвержденные в законодательном порядке методики и технические инструкции для указанных испытаний.

Рассмотрение существующих методов проведения испытаний на тепловых сетях

Согласно нормативно-технической документации, по состоянию на 2020 г. единственным утвержденным документом, регламентирующим проведение испытаний на тепловых сетях на тепловые, гидравлические потери и максимальную температуру теплоносителя, является СТО 70238424.27.010.004-2009 «Тепловые сети. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования». Стандарт организации НП «ИНВЭЛ». Соблюдение и следование этапности проведения испытаний для иных организаций, кроме ИП «ИНВЭЛ», законом Российской Федерации не предусмотрено. По состоянию на 2020 г. компания НП «ИНВЭЛ» прекратила свою деятельность и признана ликвидированной.

С целью проверки актуальности методик проведения испытаний на тепловые и гидравлические потери в работе предложено рассмотреть порядок их проведения по СТО 70238424.27.010.004-2009.

Приведенные в СТО методики проведения испытаний сводятся к принципу определения *циркуляционного кольца* на испытуемых тепловых сетях и создания *циркуляционной перемычки* в существующей тепловой камере либо использования существующей перемычки между подающим и обратным трубопроводом в центральном тепловом пункте/индивидуальном тепловом пункте потребителя. Для выделения участков, включаемых в циркуляционное кольцо, принят метод выделения доли *характерных участков трубопроводов* по материальной характеристике [5].

Для выделения участков, включаемых в циркуляционное кольцо, принят метод выделения доли *характерных участков трубопроводов* по материальной характеристике.

Выделенные термины означают следующее:

– циркуляционное кольцо – замкнутый контур по любому направлению циркуляции теплоносителя;

– перемычка циркуляционного кольца – точка соединения подающего и обратного трубопровода циркуляционного кольца;

– характерные участки тепловой сети – участки, доля которых по отношению к существующей тепловой сети составляет не менее 20 % (характеристика, предлагаемая к сравнению, может изменяться в соответствии с типом проводимых испытаний (протяженность, тип изоляции, год прокладки, материал труб и пр.);

– материальная характеристика тепловой сети – сумма произведений наружных диаметров трубопроводов участков тепловой сети на их длину. Данный термин используется при проведении испытаний на тепловых сетях в редакции существующей методики СТО.

Определение участков трубопроводов, участвующих в испытаниях на гидравлические потери

Доля выделенных участков, участвующих в испытаниях на определение гидравлических сопротивлений, по отношению к существующей сети трубопроводов φ , %, определяется по формуле [6]:

$$\varphi = \frac{\sum M_{\text{уч}}^n \cdot T_{\text{уч}}^n \cdot 100}{M_{\text{т.с}} \cdot T_{\text{т.с}}^{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где $\sum M_{\text{уч}}^n$ – сумма материальных характеристик выделенных участков тепловых сетей по каждому пятилетнему периоду эксплуатации (от 0 до 5 лет, от 5 до 10 лет, от 10 до 15 лет, от 15 до 20 лет, от 20 и более лет), м^2 ; $M_{\text{т.с}}$ – суммарная материальная характеристика трубопроводов теплоснабжения, всех трубопроводов, подключенных к выбранному теплогенерирующему объекту; $T_{\text{т.с}}^{\text{ср}}$ – средний срок эксплуатации трубопровода; $T_{\text{уч}}^n$ – средний срок эксплуатации трубопроводов выбранной тепловой сети, год.

Материальная характеристика участка сети определяется по формуле [7], м^2 :

$$M_{\text{уч}}^n = d_{\text{у}}^{\text{п}} \cdot L^{\text{п}} + d_{\text{у}}^{\text{о}} \cdot L^{\text{о}}, \quad (2)$$

где $d_{\text{у}}^{\text{п}}$ и $d_{\text{у}}^{\text{о}}$ – условный диаметр соответственно подающего и обратного трубопроводов на участке, м; $L^{\text{п}}$ и $L^{\text{о}}$ – протяженность соответственно подающего и обратного трубопроводов на участке, м.

Определение среднего срока эксплуатации трубопроводов теплоснабжения выполняется по формуле

$$T_{\text{т.с}}^{\text{ср}} = \frac{\sum (M_{\text{уч}}^n \cdot T_{\text{уч}}^n)}{M_{\text{т.с}}}. \quad (3)$$

Участками, включенными в циркуляционное кольцо для данной сети теплоснабжения, являются трубопроводы, доля которых φ , определенная по формуле (1), составляет не менее 20 % [8].

Выделение участков трубопроводов, участвующих в испытаниях на тепловые потери, выполняется следующим образом.

Включаемыми в состав циркуляционного кольца являются участки, расчётная доля которых φ в материальной характеристике составляет не менее 20 %, расчёт производится по формуле

$$\varphi = \frac{M_x}{M_c} = \frac{\sum_x (d_n L)}{\sum_c (d_n L)} > 0,2, \quad (4)$$

где $M_x = \sum_x (d_n L)$ – материальная характеристика для подающего или обратного трубопровода сети, просуммированная по всем участкам с данным типом прокладки и конструкцией изоляции, m^2 ; $M_c = \sum_c (d_n L)$ – материальная характеристика для подающего или обратного трубопровода, просуммированная по всей сети в целом, m^2 ; L – протяженность сетей теплоснабжения, м; d_n – значение наружного диаметра трубопровода в пределах участка сети, м.

На основании выполненных расчётов принимается решение о выборе участка для циркуляционного кольца.

Подготовка к проведению испытаний на тепловые и гидравлические потери включает в себя определение следующих параметров:

$t_{\text{исп}}$ – температура, устанавливаемая на теплогенерирующем оборудовании в момент проведения испытаний, °С;

$G_{\text{исп}}$ – расход теплоносителя, устанавливаемый в трубопроводе на выходе из насосной группы (параметр расхода фиксируется для сетевого контура теплоснабжения).

Дальнейшая последовательность действий состоит в сборе фактических данных на основании первичных расчётов, выполненных в рамках предлагаемых методик, и выполнении расчётов. Итогом вычислений является сравнение исходных параметров, таких как теплопроводность тепловой изоляции фактическая и теплопроводность новых аналогичных труб при проведении испытаний на тепловые потери и сравнение новых и существующих труб по признаку эквивалентной шероховатости трубопровода при проведении испытаний на тепловые потери [9].

Существующие недостатки принятых методик проведения испытаний на тепловые потери и гидравлические сопротивления

При проведении вычислений, предписанных существующими методиками, а также при фактическом сборе данных обнаружены недостатки, в ряде случаев делающие невозможным процесс проведения испытаний и сбор необходимых данных.

Процесс определения трубопроводов, участвующих в испытаниях, заключается в следующем.

1. Определение циркуляционного кольца.

Данный этап заключается в определении трубопроводов со значением материальной характеристики не менее 20 % согласно предложенным методам расчёта и составлении из данных участков трубопровода циркуляционного кольца. На первый взгляд кажется, что данное решение является обоснован-

ным, т. к. стремится к выделению тех участков, которые наиболее часто фигурируют в выбранном теплосетевом хозяйстве. Но дело в том, что организации, эксплуатирующие тепловые сети, подключенные к ТЭЦ или крупным квартальным и городским котельным, имеют на своем балансе значительные объёмы устаревших тепловых сетей или же обновленных в результате капитальных ремонтов, реконструкций или нового строительства [10].

В результате возможность определения хотя бы одного участка с параметром материальной характеристики более 20 % по таким характеристикам, как протяженность, диаметр, для испытаний на гидравлические сопротивления и протяженность, год ввода в эксплуатацию, тип изоляции, вид прокладки, для испытаний на тепловые потери, оказывается проблематичной. Кроме того, данный подход не учитывает фактора фактической эксплуатации.

Участки, отключенные в результате обнаружения аварийных порывов или утечек, имеют, как правило, разрушенный теплоизоляционный слой и поврежденную поверхность трубопровода и должны быть также испытаны на дальнейшую пригодность [11].

2. Установка расчётных параметров на теплогенерирующем и насосном оборудовании.

Установка расчётного параметра температуры теплоносителя.

Установка расчётного параметра температуры в подающем трубопроводе теплоснабжения является технически возможным мероприятием ввиду наличия шкафов управления либо иных средств по контролю за работой котлового оборудования котельной или ТЭЦ.

Установка расчётного параметра расхода теплоносителя [9].

Для обеспечения параметров расхода в трубопроводе на выходе из насосной группы эксплуатирующая и экспертная в области проведения испытаний организации сталкиваются с рядом технических несоответствий, а именно:

– необходимость работы насоса на «малый» циркуляционный круг, в то время как установленный насос подобран для обеспечения необходимого напора во всех точках существующей тепловой сети, вследствие чего возможно создание аварийной ситуации на тепловой сети;

– отсутствие оборудования, обеспечивающего частотную регулировку насосной группы;

– несоразмерность диаметра трубопровода на теплогенерирующем объекте и допустимого диаметра подключения насосного оборудования в случае намеренной установки насосного оборудования под расчётные параметры $G_{исп}$;

– вероятность инициации аварийной ситуации или гидравлическая перегрузка сетей, включенных в циркуляционное кольцо, в случае применения насоса без частотной регулировки [12].

3. Фиксация данных в ходе проведения испытаний [13].

Приведенные методики не классифицируют теплогенерирующие объекты, подключенные к испытуемым сетям, ввиду чего отсутствует классификация точности вычислений. Гидравлические и температурные перепады на магистральных трубопроводах имеют большие значения, чем аналогичные значения, имеющие место быть на квартальных тепловых сетях. В результате возникают повышенные требования к измерительному оборудованию,

способному определить незначительные перепады давления и температуры в трубопроводе.

Мероприятия по модернизации существующих методик проведения испытаний

Ввиду технического несоответствия требуемых параметров при проведении испытаний и технических возможностей оборудования единых тепло-снабжающих организаций предлагается внести изменения либо полностью пересмотреть существующие методики проведения испытаний на тепловые и гидравлические потери.

Выбор циркуляционного кольца, основанный на выделении участков сетей, соответствующих материальной характеристике более 20 %, не является обоснованным. Ввиду сроков эксплуатации и частичной реконструкции существующего объема тепловых сетей невозможно назначить циркуляционное кольцо, удовлетворяющее вышеуказанным требованиям. Как правило, в сети существуют участки с частичным разрушением тепловой изоляции, связанные с порывами и заполненные теплоизоляционным слоем теплоносителя. Такие участки не могут относиться к типовым участкам даже при соответствии типа изоляции и года ввода в эксплуатацию.

С целью актуализации существующих методик необходимо выполнить обоснование требуемых значений материальной характеристики испытуемых участков, включенных в циркуляционное кольцо. Такие выводы будут сделаны на основании будущих исследований в данном направлении с учетом фактических результатов проведенных испытаний.

Параметры расхода и температуры теплоносителя в ряде случаев невозможно установить в ходе проведения испытаний.

Для установления расчетного расхода в циркуляционном кольце необходимо применение дорогостоящего частотного регулирования насосной сетевой группы, что делает невозможным проведение испытаний на ряде теплогенерирующих источников теплосетевых организаций. При рассмотрении этого вопроса в дальнейших научно-технических работах по данному направлению планируется провести ряд испытаний и подбор оптимального расчетного метода.

Процесс фиксации параметров проведения испытаний подлежит рассмотрению в части применения измерительного оборудования. Оборудование, применяемое на испытуемом объекте, должно иметь цифровое отображение фиксируемых показателей и соответствовать требованиям РФ в части измерительных приборов, иметь действительную поверку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *РД 34.20.519-97* : методические указания по испытанию водяных тепловых сетей на гидравлические потери : утв. Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России» 24.04.97. Москва, 1989. 14 с.
2. *РД 34.09.255-97* : методические указания по определению тепловых потерь в водяных тепловых сетях : утв. Департаментом науки и техники РАО «ЕЭС России» 24.04.97. Москва, 1989. 18 с.

3. Манюк В.И., Каплинский Я.И., Хин Э.Б. и др. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей : справочник. Москва : Стройиздат, 1988. 241 с.
4. Агапкин В.М., Борисов С.Н., Кривошеин Б.Л. Справочное руководство по расчетам трубопроводов. Москва : Недра, 1987. 53 с.
5. Аксенов Б.Г. Математическая модель вторичного морозного пучения вблизи низкотемпературного подземного трубопровода // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. 18 с.
6. Аксенов Б.Г., Карякина С.В., Моисеев Б.В., Шаповал А.Ф., Степанов О.А. Моделирование колебаний границы промерзания-оттаивания в грунтах и наружных строительных конструкциях // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 2. 21 с.
7. Богомолов В.П., Моисеев Б.В., Шаповал А.Ф. Оптимизация работы тепловых сетей в условиях Западной Сибири // Известия вузов. Нефть и газ. 1997. № 4. 41 с.
8. Богомолов В.П., Шаповал А.Ф., Моисеев Б.В. Энергосберегающие технологии в системах теплоснабжения Западной Сибири // Известия вузов. Нефть и газ. 1998. № 4. 38 с.
9. Богомолов В.П., Моисеев Б.В., Чикишев В.М., Шаповал А.Ф. Повышение надежности и эффективности системы теплоснабжения в Западной Сибири. Москва : Недра, 1999. 51 с.
10. Tuomas E., Skriniska A. An exploration of heat consumption for production of domestic hot water in central heat substations // Statyba. 1998, V. IV. № 3. P. 196–201.
11. Williams B. Point Arguello Project Start-up Blocked Again // Oil and Gas Journal. 1990. V. 88. № 47. P. 34–36.
12. Zemenkov Yu.D., Moiseev B.V., Toropov S.Y. Industrial power system: Textbook. Tyumen : Oil and Gas University Publishing House, 2014. 236 p.
13. Krylov G.V., Moiseev B.V., Stepanov O.A. Fundamentals of Heat Power Engineering in Gas Industry. Moscow : Nedra-Business Center, 1999. 239 p.

REFERENCES

1. Metodicheskie ukazaniya po ispytaniyu vodyanyh teplovyh setej na gidravlicheskie poteri [Instructions for testing water heating networks for hydraulic losses]. Moscow, 1989. 14 p. (rus)
2. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu teplovyh poter' v vodyanyh teplovyh setyah [Instructions for determining heat losses in water heating networks]. Moscow, 1989. 18 p. (rus)
3. Manyuk V.I., Kaplinskij Ya.I., Hin E.B. Naladka i ekspluatatsii vodyanyh teplovyh setej: spravochnik [Adjustment and operation of water heating networks. Reference book]. Moscow: Stroyizdat, 1988. 241 p. (rus)
4. Agapkin V.M., Borisov S.N., Krivoshein B.L. Spravochnoe rukovodstvo po raschetam truboprovodov [Reference guide for pipeline]. Moscow: Nedra, 1987. 53 p. (rus)
5. Aksenov B.G., Karyakina S.V., Moiseev, B.V., Shapoval A.F., Stepanov O.A. Matematicheskaya model' vtorichnogo moroznogo pucheniya vblizi nizkotemperaturnogo podzemnogo truboprovoda [Mathematical model of secondary frost heaving near low-temperature underground pipeline]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012. No. 3. 18 p. (rus)
6. Aksenov B.G., Karyakina S.V., Moiseev, B.V., Shapoval A.F., Stepanov O.A. Modelirovanie kolebanij granicy promerzaniyaottaivaniya v gruntah i naruzhnyh stroitel'nyh konstrukciyah [Modeling of freezing-thawing boundary vibrations in soils and external building structures]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2012. No. 2. 21 p. (rus)
7. Bogomolov V.P., Moiseev B.V., Hapoval A.F.S. Optimizatsiya raboty teplovyh setej v usloviyah Zapadnoj Sibiri [Optimization of heating networks in Western Siberia]. *Izv. vuzov. Neft' i gaz*. 1997. No. 4. 41 p. (rus)
8. Bogomolov V.P., Moiseev B.V., Hapoval A.F.S. Energoberegayushchie tekhnologii v sistemah teplosnabzheniya Zapadnoj Sibiri [Energy-saving technologies in heat supply systems of Western Siberia]. *Izv. vuzov. Neft' i gaz*. 1998. No. 4. 38 p. (rus)
9. Bogomolov V.P., Moiseev B.V., Chikishev V.M., Shapoval A.F. Povyshenie nadezhnosti i effektivnosti sistemy teplosnabzheniya v Zapadnoj Sibiri [Reliability and efficiency improvement of heat supply system in Western Siberia]. Moscow: Nedra, 1999. 51 p. (rus)
10. Tuomas E., Skriniska A. An exploration of heat consumption for production of domestic hot water in central heat substations. *Statyba*. 1998. V. 4. No. 3. Pp. 196–201.

11. *Williams B.* Point Arguello Project start-up blocked again. *Oil and Gas Journal*. 1990. V. 88. No. 47. Pp. 34–36.
12. *Zemenkov Yu.D., Moiseev B.V., Toropov S.Y.* Industrial power system. Tyumen: Oil and Gas University Publishing House, 2014. 236 p.
13. *Krylov G.V., Moiseev B.V., Stepanov O.A.* Fundamentals of heat power engineering in gas industry. Moscow: Nedra-Business Center, 1999. 239 p.

Сведения об авторах

Куриленко Николай Ильич, канд. физ.-мат. наук, доцент, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, Kurilenkoni@tyuiu.ru

Кузьменко Кирилл Евгеньевич, аспирант, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2, Kuzmenkoke@suenco.ru

Authors Details

Nikolai I. Kurilenko, PhD, A/Professor, Tyumen Industrial University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, Kurilenkoni@tyuiu.ru

Kirill E. Kuzmenko, Research Assistant, Tyumen Industrial University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, KuzmenkoKE@suenco.ru

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 693.22:624.04

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-126-139

*С.В. ЮЩУБЕ, И.И. ПОДШИВАЛОВ, А.С. ЛАРИОНОВ,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СООРУЖЕНИЯ, РАСПОЛОЖЕННОГО НА СКЛОНЕ ГОРЫ

Объектом исследования является свайный фундамент и основание сооружения, расположенного на склоне горы и состоящего из четырех объемных блоков. Устройство сооружения обусловлено стремлением защитить первый объемный блок, построенный у подножия склона, от негативного техногенного влияния склона путем устройства трех защитных подпорных объемных блоков с их врезкой в склон горы. Первый объемный блок представляет собой трехэтажное кирпичное здание, остальные три объемных блока выполнены в виде пространственных подпорных конструкций из монолитного железобетона. Все объемные блоки расположены на разных высотных отметках. В результате появилось сооружение с заглубленной частью по уровню ответственности, соответствующему классу КС-3. Возникла необходимость в оценке надежности этого сооружения, расположенного в сложных инженерно-геологических условиях. После изучения материалов инженерно-геологических изысканий, анализа залегания, состава и физико-механических свойств грунтов, исследования свайного поля было выполнено моделирование напряженно-деформированного состояния свайного фундамента и его основания в ПК MicroFe с разработкой расчетной модели в системе «основание – фундамент – сооружение». Полученные результаты позволили выполнить оценку напряженно-деформированного состояния свайного фундамента и его основания в условиях бокового подпора грунта.

Ключевые слова: сооружение; свайный фундамент; основание; склон горы; срезка грунта; расчетная модель; напряженно-деформированное состояние.

Для цитирования: Ющубе С.В., Подшивалов И.И., Ларионов А.С. Оценка надежности сооружения, расположенного на склоне горы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 126–139.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-126-139

*S.V. YUSHCHUBE, I.I. PODSHIVALOV, A.S. LARIONOV,
Tomsk State University of Architecture and Building*

SAFETY OF BUILDING CONSTRUCTED ON HILLSIDE SLOPE

The paper focuses on the pile foundation and footing of the building constructed on a hillside slope and consisting of four three-dimensional blocks. The building is arranged such that to pro-

tect the first block constructed on the footslope from the negative technogenic influence of the latter via the embedment of three supporting blocks into the hillside slope. The first three-dimensional block is a three-storey brick building, while the other three are the spatial supporting structures made of insitu reinforced concrete. All the blocks locate at different position levels. The resulting embedded part of the structure matches the class KS-3 construction site safety. It is thus necessary to assess the structural safety of the building constructed in difficult engineering and geological conditions. The MicroFe software is used for finite element dimensional calculations of the pile foundation and footing strength, stability and oscillation after studying the engineering-geological surveys, the analysis of the soil formation, composition and physical-mechanical properties, the piling field. Also, the theoretical model is proposed for the footing–foundation–building system. The obtained results allow assessing the stress-strain state of the pile foundation and footing with the lateral support to the hillside slope of soil.

Keywords: building; pile foundation; footing; hillside slope; soil cutting; calculation model; stressed-strained state.

For citation: Yushchube S.V., Podshivalov I.I., Larionov A.S. Otsenka nadezhnosti sooruzheniya, raspolozhennogo na sklone gory [Safety of building constructed on hillside slope]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 126–139. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-126-139

Вначале у подножия склона горы было построено трехэтажное кирпичное здание с подвалом (первый объемный блок) с несущими поперечными стенами и внутренним каркасом из кирпичных столбов и железобетонных прогонов в центральных залах. Перекрытия сборные железобетонные. Фундаменты выполнены из буронабивных свай длиной 3 м, диаметром 400 мм, шаг свай – 1200 м. Ростверк свайного фундамента имеет высоту 600 мм. Концы свай опираются в песок средней крупности с включением гравия. Боковой подпор грунта со стороны склона горы на здание отсутствовал.

В процессе эксплуатации к цокольной части здания (далее первый блок) с крутого склона горы сбрасывались атмосферные осадки в виде снега и воды. Для защиты от атмосферных воздействий, с врезкой в склон горы, были последовательно пристроены на разных высотных отметках три объемных блока из монолитных железобетонных конструкций на свайных фундаментах, состоящие из фронтальных продольных стен с контрфорсами, из поперечных стен и перекрытий. Конструктивно пристроенные три объемных подпорных блока не связаны с кирпичным зданием. Схема расположения свай четырех блоков приведена на рис. 3. Так появилось сооружение по заглубленной части с уровнем ответственности, соответствующим классу КС-3. В связи с этим возникла необходимость в оценке надежности этого разноуровневого сооружения.

В соответствии с поставленной задачей были изучены материалы инженерно-геологических изысканий, исследованы планы свайных полей.

Рассматриваемая площадка расположена в центральной части г. Томска у подножия Юрточной горы. В пределах исследованной площадки до изученной глубины 13,0 м грунтовое основание (рис. 1) представлено в виде семи инженерно-геологических элементов (ИГЭ):

– ИГЭ-1. Насыпной грунт – суглинок серого цвета твердой консистенции с включениями строительного мусора до 20 % и песчано-гравийной смеси до 20 %. Мощность ИГЭ-1 составляет 0,7...3,5 м;

– ИГЭ-2. Суглинок бурого цвета от твердой до мягкопластичной консистенции, аллювиальный с коэффициентом водонасыщения $S_r = 0,9$ д.е., залегает в виде прослоев в верхней части разреза в интервале глубин 0,7...3,0 м и повсеместно в нижней части разреза в виде двух слоев на глубине 6,5...9,3 м и на глубине 4,1...11,7 м. Мощность слоя в верхней части разреза составляет 0,5...1,0 м, в нижней части разреза – 1,0–1,2 м;

– ИГЭ-3. Супесь буро-коричневого цвета, аллювиальная, от твердой до пластичной консистенции с коэффициентом водонасыщения $S_r = 0,67$ д.е., залегает в нижней части разреза в интервале глубин 4,2...10,6 м и в верхней части разреза на глубине от 1,2 до 3,9 м. Мощность слоя составляет 0,2...2,9 м;

– ИГЭ-4. Песок аллювиальный маловлажный от пылеватого до мелкозернистого с включением гравия в виде одного слоя на глубине 4,0...6,1 м. Мощность слоя составляет 1,9...2,1 м;

– ИГЭ-5. Глина аллювиальная мягкопластичная с содержанием органического вещества до 24 % черного цвета с коэффициентом водонасыщения $S_r = 0,89$ д.е., залегает в виде линзы на глубине от 3,0 до 4,0 м. Мощность слоя составляет 1,0 м. Выклинивается за пределом контура здания с противоположной стороны от откоса (рис. 1);

– ИГЭ-6. Суглинок аллювиальный серого цвета с включением гравия, расположен локально на глубине от 5,2 м до изученной глубины – 7,0 м. Мощность слоя до изученной глубины – 1,8 м;

– ИГЭ-7. Песок аллювиальный средней крупности водонасыщенный с примесью гравия, распространен в виде одного слоя на глубине от 12,3 м до изученной глубины – 13 м. Мощность слоя – 0,7 м.

В инженерно-геологических исследованиях было установлено, что устойчивость откоса может быть обеспечена наличием подпорной конструкции или выполаживанием откоса.

Моделирование взаимодействия надземных конструкций и свайных фундаментов с основанием является достаточно актуальным [1, 2]. В качестве основных критериев рассматривается не только несущая способность одиночной сваи, но и деформации (осадки и горизонтальные перемещения) здания в целом [3, 4]. В исследованиях [5–7], в соответствии с результатами мониторинга зданий, моделирование напряженно-деформированного состояния зданий рекомендуется выполнять в объемной постановке в системе «основание – фундамент – сооружение».

Расчетная модель, которая может наиболее полно отразить конструктивную схему здания, является одним из важнейших факторов при определении напряженно-деформированного состояния здания [8, 9]. ПВК MicroFe [10] позволяет реализовать конечно-элементное моделирование системы «основание – фундамент – сооружение» [11, 12].

На основе анализа конструктивной схемы четырех объемных блоков и инженерно-геологических условий площадки в ПВК MicroFe была разработана расчетная модель, в которой стены, диски перекрытий и ростверк моделировались конечным элементом типа «плоский прямоугольный элемент оболочки», колонны, прогоны и сваи моделировались конечным элементом типа «стержень».

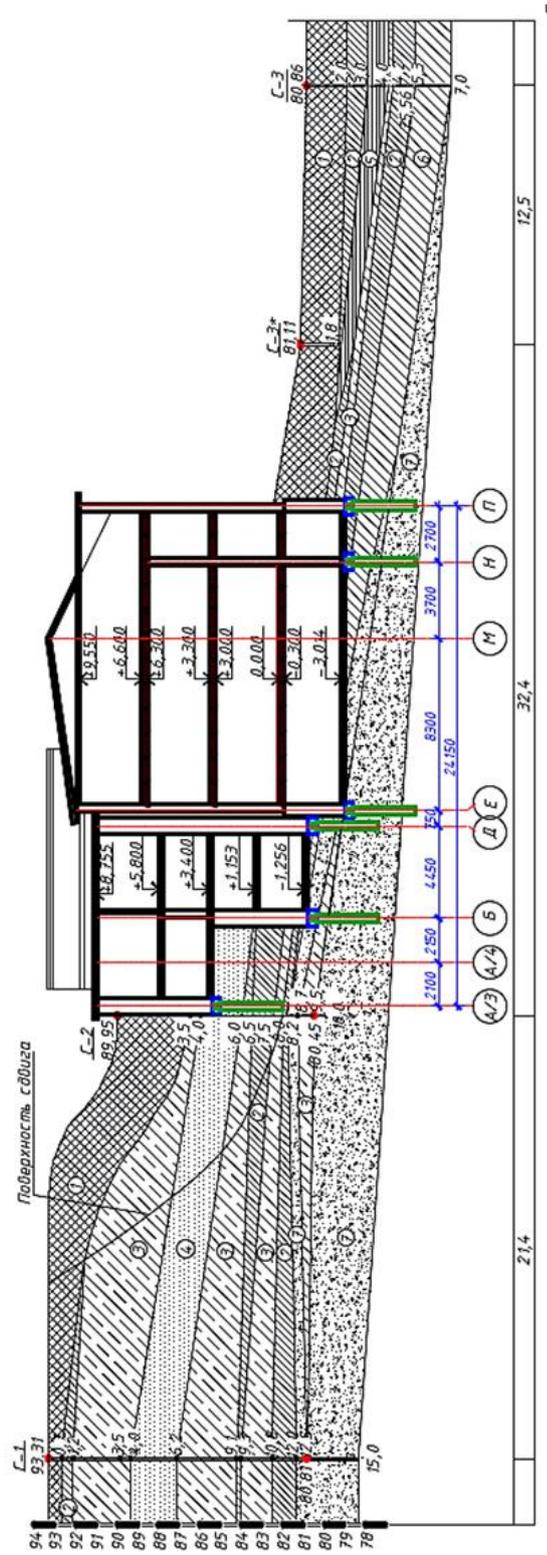


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез с привязкой разреза здания

Грунтовое основание под ростверками разноуровневых объемных блоков принималось в виде семислойного основания из объемных конечных элементов с послойным заданием модуля деформаций и коэффициента Пуассона. Сопряжение свай с ростверком принималось жестким. Расчет выполнялся в линейной постановке. Конструктивная и расчетная конечно-элементная модель сооружения дана на рис. 2.

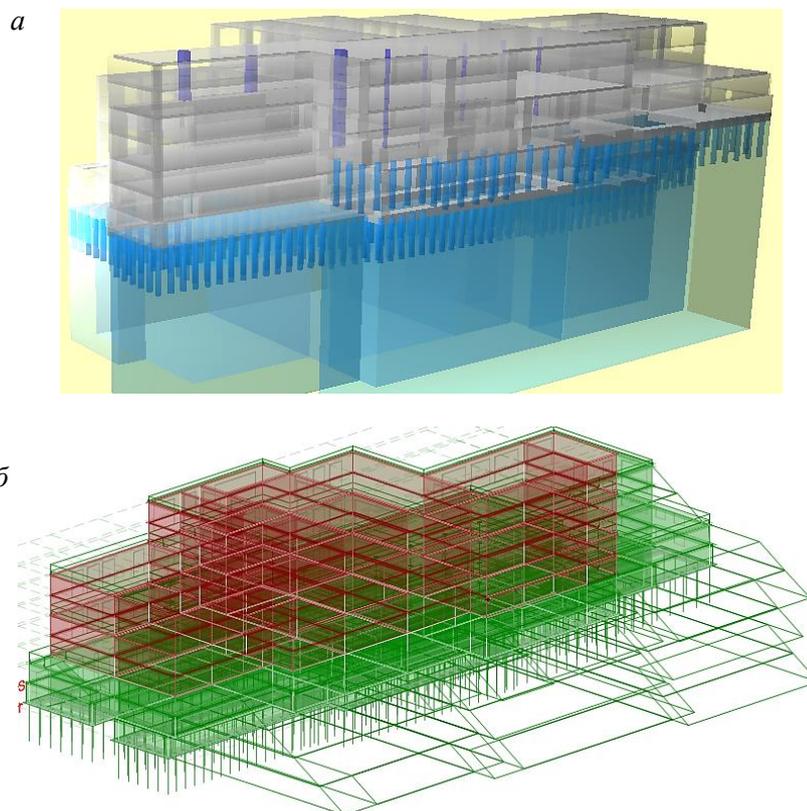


Рис. 2. Конечно-элементная модель сооружения:
а – конструктивная; б – расчетная

Горизонтальное давление грунта на продольные фронтальные стены объемных подпорных блоков принималось как для сыпучих грунтов по известной формуле:

$$q_x = \gamma H \operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi / 2),$$

где q_x – горизонтальное давление грунта; γ – среднее значение объемного веса грунта засыпки; H – высота подпора грунта засыпки; φ – среднее значение коэффициента внутреннего трения грунта засыпки.

В статическом расчете получено значение горизонтального давления грунта на сооружение, равное 30940 кН.

Из анализа продольных усилий в сваях в четырех объемных блоках (далее блоки) получены следующие результаты (рис. 3):

– в первом блоке минимальные продольные усилия в контурных сваях находились в интервале $N_{1К} = 106...195$ кН, наибольшие продольные усилия во внутренних сваях были равны $N_{1В} = 195...374$ кН;

– во втором блоке располагались только контурные сваи, продольные усилия в которых составили следующие значения: с продольной фронтальной стороны от расположения откоса $N_{2КФ} = 195...374$ кН; с тыльной стороны от откоса $N_{2КТ} = 285...463$ кН. Разница в продольных усилиях свай с фронтальной и с тыльной сторон откоса составила 39...48 %, т. е. от $\frac{1}{3}$ до $\frac{1}{2}$;

– в третьем блоке располагались также только контурные сваи, продольные усилия в которых находились в интервале $N_{3К} = 195...329$ кН как во фронтальных, так и в тыльных сваях от откоса;

– в третьем блоке располагались также только контурные сваи, продольные усилия в которых находились в интервале $N_{3К} = 195...329$ кН как во фронтальных, так и в тыльных сваях от откоса;

– в четвертом блоке продольный ряд свай располагался только с фронтальной стороны от откоса. В этих сваях появились максимальные продольные усилия (во всем сооружении) $N_{4К} = 419...508$ кН.

При наличии бокового подпора грунта большое значение приобретают поперечные силы Q_x , возникающие в поперечных сечениях свай в направлении горизонтального давления грунта по оси X (рис. 4):

– в первом блоке максимальные поперечные силы в сваях составили $Q_x = -4,8...-8,6$ кН (направлены против положительного направления оси X) при среднем значении $-2...-3$ кН;

– во втором блоке, по сравнению с первым блоком, происходит замена направления поперечных сил, их распределение достаточно равномерно, значения находятся в интервале $Q_x = 3,3...6,7$ кН;

– в третьем блоке величина поперечных сил незначительна, имеет знакопеременный характер и находится в интервале $Q_x = -1,7...1,6$ кН;

– в четвертом блоке поперечные силы положительного знака достигают наибольших значений и находятся в интервале $Q_x = 5,0...8,4$ кН.

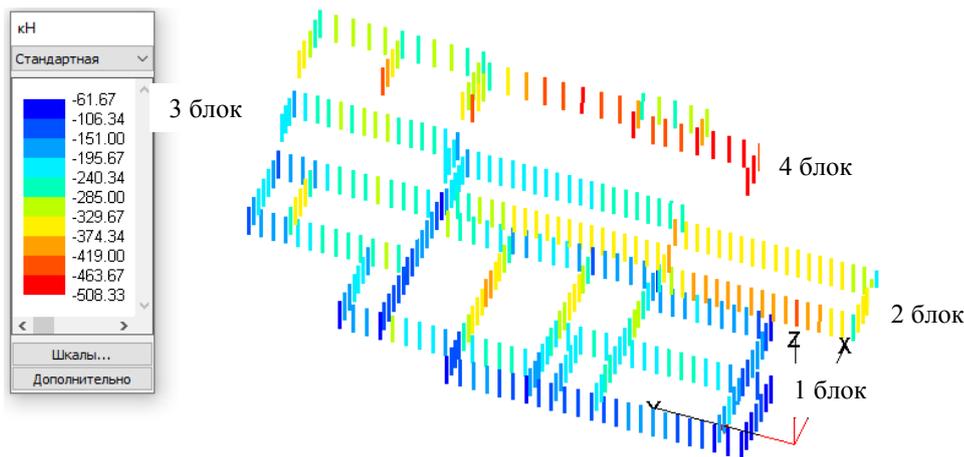
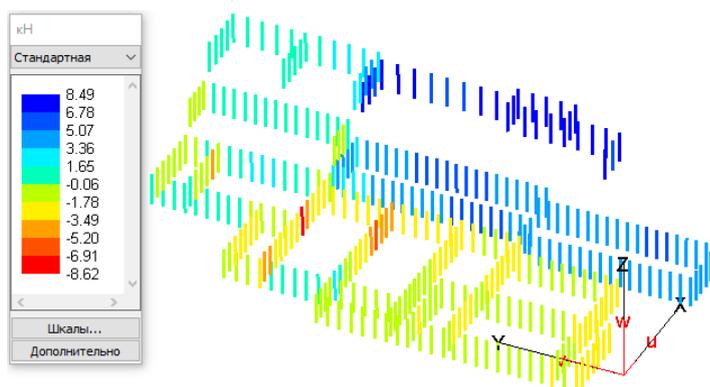


Рис. 3. Изополю продольных сил в сваях

Рис. 4. Изополя поперечных сил Q_x в сваях

Следует отметить, что по результатам конструктивного расчета по РСЧ прочность свай по материалу всех блоков обеспечена.

Значения вертикальных и горизонтальных перемещений свай приведены на рис. 5, 6.

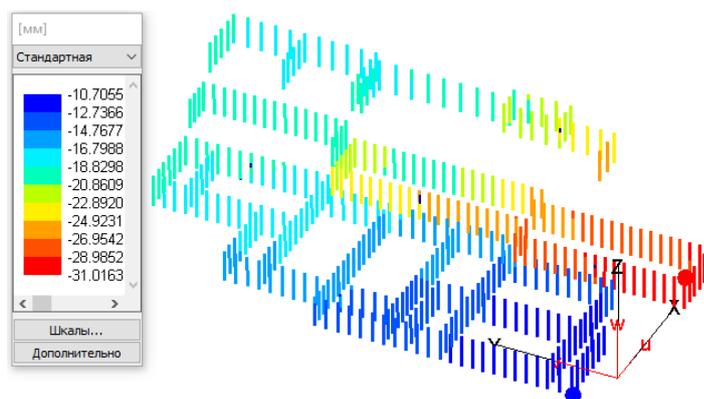
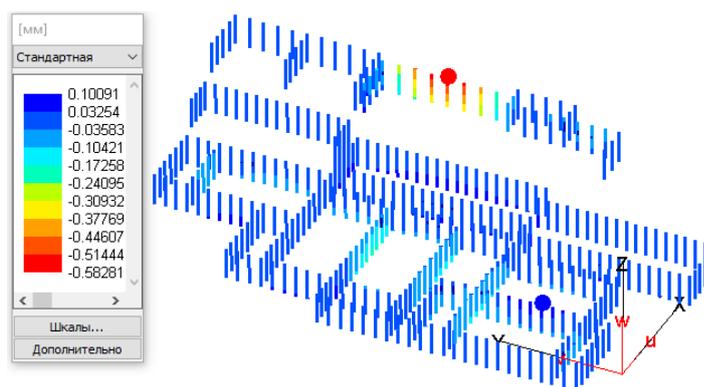


Рис. 5. Изополя вертикальных перемещений свай

Рис. 6. Изополя горизонтальных перемещений свай по оси X

Значения вертикальных перемещений свай оказались следующими:

– в первом блоке вертикальные перемещения свай минимальны во всем сооружении, составили 10,7...18,8 мм;

– во втором блоке вертикальные перемещения свай оказались максимальными во всем сооружении и были равны 20,8...31,0 мм;

– в третьем и четвертом блоках вертикальные перемещения свай имели промежуточные значения, составили 16,8...20,9 и 16,8...27,0 мм соответственно.

Значения горизонтальных перемещений свай по оси X :

– в первых трех блоках горизонтальные перемещения свай находились в интервале от 0,1 до –0,1 мм;

– в четвертом блоке горизонтальные перемещения в средней части продольных фронтальных свай оказались максимальными и достигли –0,6 мм.

Во всех блоках наибольшие вертикальные перемещения свай составили $f_{\max} = -31,0$ мм и не превысили максимально допустимое значение предельной осадки для многоэтажных кирпичных зданий $S_{ii}^{\max} = 120$ мм. В каждом блоке максимальная относительная разность вертикальных перемещений не превышала значения 0,0003, что значительно меньше предельно допустимой разности осадок $(\Delta S/L)_{ii} = 0,002$. Следовательно, в сваях условие по второй группе предельных состояний выполняется.

Для получения ответа на вопрос, связанный с устойчивостью грунтового основания первого блока в результате сдвигового воздействия на него со стороны грунтового массива вышерасположенных блоков, в расчетной модели основания первого блока были рассмотрены две расчетные схемы:

– расчетная схема № 1, в которой отсутствовал боковой подпор грунта на основание первого блока;

– расчетная схема № 2, в которой присутствовал боковой подпор грунта на основание первого блока.

Основные результаты напряженно-деформированного состояния основания первого блока показаны на рис. 7–10.

В расчетной схеме № 2 опасным на сдвиг принято горизонтальное сечение основания первого блока на уровне конца свай, т. к. конструктивная прочность по материалу свай обеспечена. Ниже этого сечения вероятность горизонтального сдвига грунта, в связи с падением напряжений, уменьшается.

В расчетной схеме № 1 в горизонтальном сечении на уровне конца свай наибольшие значения напряжений составляют:

– вертикальных нормальных напряжений $S_Z = -80$ кН/м²;

– сдвиговых касательных напряжений $S_{XY} = -2,7$ кН/м²;

– вертикальных перемещений $U_Z = -12,8$ мм;

– горизонтальных перемещений $U_X = -0,5$ мм.

В расчетной схеме № 2 в горизонтальном сечении на уровне конца свай наибольшие значения составляют:

– вертикальных нормальных напряжений $S_Z = -130$ кН/м²;

– сдвиговых касательных напряжений $S_{XY} = -19,0$ кН/м²;

– вертикальных перемещений $U_Z = -21,1$ мм;

– горизонтальных перемещений $U_X = -10,7$ мм.

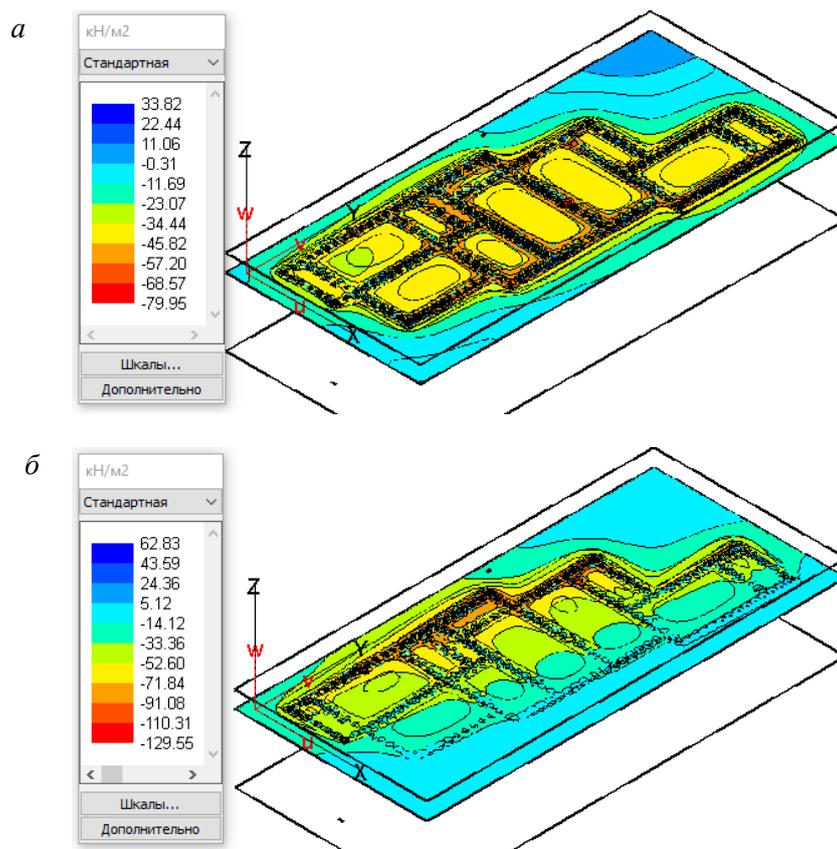


Рис. 7. Изополя вертикальных напряжений S_z в грунте на уровне конца свай первого блока:
a – расчетная схема № 1; *б* – расчетная схема № 2

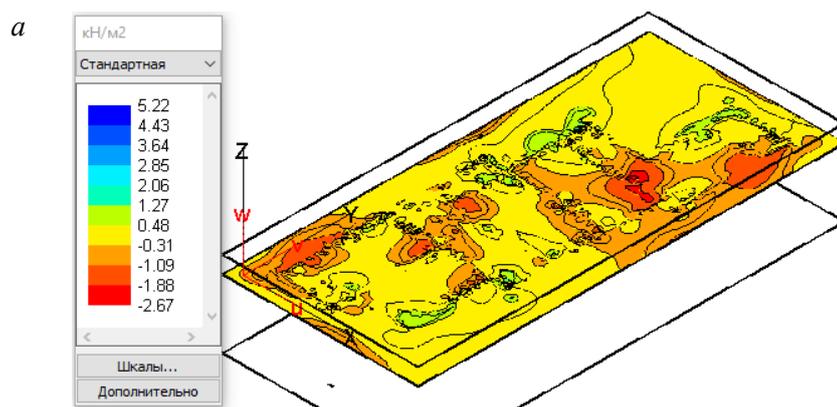


Рис. 8. Изополя сдвиговых напряжений S_{xy} в грунте на уровне конца свай первого блока
(окончание см. на с. 135):
a – расчетная схема № 1

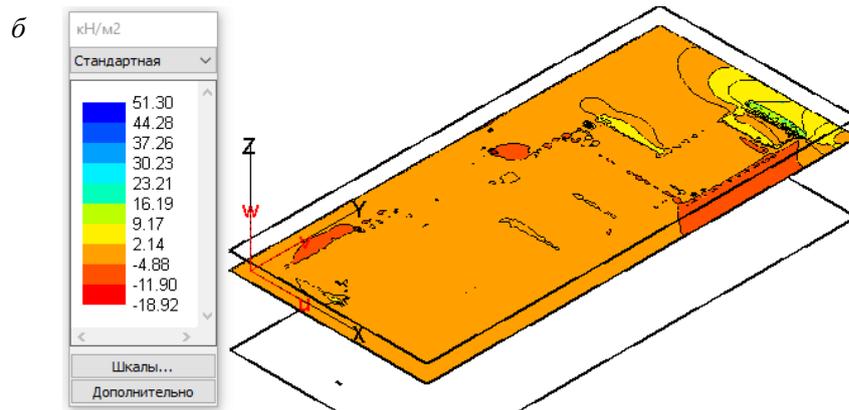


Рис. 8. Изополя сдвиговых напряжений S_{xy} в грунте на уровне конца свай первого блока (начало см. на с. 134):
б – расчетная схема № 2

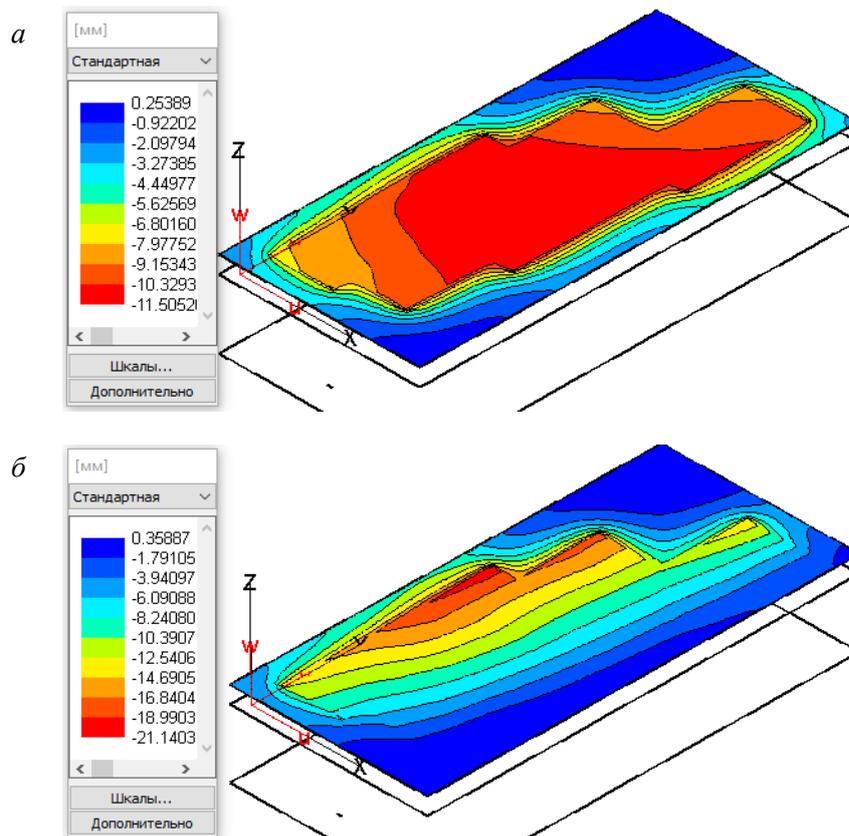


Рис. 9. Изополя вертикальных перемещений U_z основания на уровне верха свай первого блока:
а – расчетная схема № 1; б – расчетная схема № 2

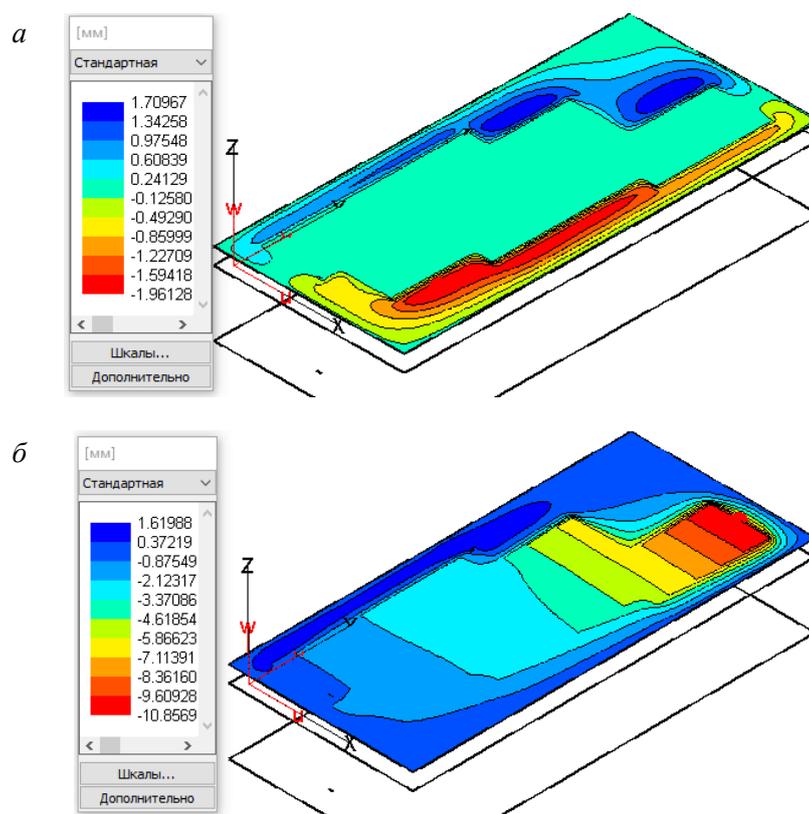


Рис. 10. Изополя горизонтальных перемещений U_x основания на уровне верха свай первого блока:

a – расчетная схема № 1; *б* – расчетная схема № 2

Из анализа полученных результатов видно, что при появлении бокового воздействия на основание первого блока произошло значительное количественное изменение напряженно-деформированного состояния основания в горизонтальном сечении на уровне конца свай по напряжениям и верха свай по вертикальным перемещениям, а именно:

- вертикальные нормальные напряжения увеличились на 38 %;
- сдвиговые касательные напряжения увеличились в семь раз;
- вертикальные перемещения увеличились на 39 %;
- горизонтальные перемещения по оси X увеличились в 21 раз.

Так как наибольшее сжимающее напряжение $S_z = 130 \text{ кН/м}^2$ меньше расчетного сопротивления грунта под нижним концом буронабивной сваи, погружаемой удалением грунтового ядра, $R = 290 \text{ кН/м}^2$ для ИГЭ-4, то можно полагать, что прочность основания обеспечена с коэффициентом использования $K_{исп} = 130/290 = 0,45$.

В расчетной схеме № 2 наибольшие вертикальные перемещения основания составили $f_{\max} = -21,1 \text{ мм}$ и не превышают максимально допустимое значение предельной осадки для многоэтажных кирпичных зданий $S_u^{\max} = 120 \text{ мм}$. Максимальная относительная разность вертикальных перемещений основания

равна $(21,1 - 4,0)/12800 = 0,001$, что также не превышает предельно допустимую разность осадок $(\Delta S/L)_u = 0,002$.

Таким образом, основание первого блока соответствует требованиям первой и второй групп предельных состояний.

Основные выводы

1. Для защиты от негативного техногенного влияния на первый объемный кирпичный блок, расположенный у подножия откоса горы, было построено три разноуровневых объемных подпорных блока из монолитного железобетона с врезкой в склон горы.

2. Инженерно-геологическими исследованиями было установлено, что устойчивость подрезанного откоса может быть обеспечена наличием подпорной конструкции или выколаживанием откоса.

3. Решение задачи по оценке надежности сооружения при наличии подпорной конструкции выполнено моделированием напряженно-деформированного состояния свайного фундамента и его основания с разработкой расчетной модели в системе «основание – фундамент – сооружение» с четырьмя разноуровневыми объемными блоками, три из которых расположены на подрезанном склоне горы.

4. Расчетным путем установлено, что свайный фундамент всех четырех объемных блоков и его основание удовлетворяют требованиям первой и второй групп предельных состояний.

Библиографический список

1. *Шашкин В.А.* Эффекты взаимодействия оснований и сооружений // Развитие городов и геотехническое строительство. 2012. № 14. С. 141–167.
2. *Шашкин А.Г., Шашкин К.Г.* Взаимодействие здания и основания: методика расчета и практическое применение при проектировании / под ред. В.М. Улицкого. Санкт-Петербург : Стройиздат СПб, 2002. 48 с.
3. *Шулятьев О.А.* Основания и фундаменты высотных зданий. Москва, 2016. 392 с.
4. *Шулятьев О.А.* Фундаменты высотных зданий // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2014. № 4. С. 202–244.
5. *Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Кузнецов Е.Н.* О современных проблемах расчета высотных зданий из монолитного железобетона // Бетон и железобетон – пути развития : научные труды II Всероссийской (Международной) конференции: в пяти книгах. Т. 1. Пленарные доклады. Москва, 2005. С. 149–166.
6. *Кабанцев О.В., Тамразян А.Г.* Учет изменений расчетной схемы при анализе работы конструкции // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 5. С. 15–26.
7. *Алмазов В.О., Климов А.Н.* Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния конструкций высотного здания // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 102–109.
8. *Нуждин Л.В., Михайлов В.С.* Численное моделирование свайных фундаментов в расчетно-аналитическом комплексе SCAD Office // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2018. № 1. С. 5–18.
9. *Михайлов В.С., Теплых А.В.* Учет характерных особенностей различных моделей основания при расчете взаимного влияния зданий на больших фундаментных плитах с использованием расчетно-аналитической системы SCAD Office // Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений : VI Международный симпозиум. Владивосток, 2016. С. 133–134.

10. *MicroFe-СДК*. Программный комплекс конечно-элементных расчетов пространственных конструкций на прочность, устойчивость и колебания // ООО «ТЕХСОФТ». 2015. URL: <http://www.tech-soft.ru>
11. Ющубе С.В., Подшивалов И.И., Филиппович А.А., Тряпичин А.Е. Моделирование напряженно-деформированного состояния кирпичного здания повышенной этажности на свайном фундаменте // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4 (69). С. 72–77.
12. Ющубе С.В., Подшивалов И.И. Моделирование напряженно-деформированного состояния свайного фундамента с плитным ростверком высотного здания с учетом недопogружения свай // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2020. Т. 22. № 2. С. 145–161.

REFERENCES

1. Shashkin V.A. Effekty vzaimodeistviya osnovanii i sooruzhenii [Interaction between foundations and structures]. *Razvitie gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2012. No. 14. Pp. 141–167. (rus)
2. Shashkin A.G., Shashkin K.G. Vzaimodeistvie zdaniya i osnovaniya: metodika rascheta i prakticheskoe primeneniye pri proektirovani [Building and foundation interaction: calculation methodology and practical application in design]. V.M. Ulitskii, Ed., St.-Petersburg: Stroizdat, 2002. 48 p. (rus)
3. Shulyat'ev O.A. Osnovaniya i fundamenti vysotnykh zdaniy [Bases and foundations of high-rise buildings]. Moscow, 2016. 392 p. (rus)
4. Shulyat'ev O.A. Fundamenti vysotnykh zdaniy [Foundations of high-rise buildings]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2014. No. 4. Pp. 202–244. (rus)
5. Karpenko N.I., Karpenko S.N., Kuznetsov E.N. O sovremennykh problemakh rascheta vysotnykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona [Modern problems of structural analysis of high-rise building of insitu reinforced concrete]. In: II Vseros. (Mezhdunar.) konf. "Beton i zhelezobeton – puti razvitiya", v pyati knigakh. (Proc. 2nd Int. Sci. Conf. 'Concrete and Reinforced Concrete – Glance at Future'), in 5 vol., Moscow, 2005. V. 1. Pp. 149–166. (rus)
6. Kabantsev O.V., Tamrazyan A.G. Uchet izmeneniya raschetnoi skhemy pri analize raboty konstruktсии [Consideration of changes in design diagram in structural analysis]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2014. No. 5. Pp. 15–26. (rus)
7. Almazov V.O., Klimov A.N. Eksperimental'noe issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstruktсии vysotnogo zdaniya [Experimental investigation of stress-strain state of high-rise buildings]. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 10. Pp. 102–109. (rus)
8. Nuzhdin L.V., Mikhailov V.S. Chislennoe modelirovaniye svainykh fundamentov v raschetno-analiticheskom komplekse SCAD Office [Creation of solid 3D CAD pile foundations in SCAD software]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2018. No.1 Pp. 5–18. (rus)
9. Mikhailov V.S., Teplykh A.V. Uchet kharakternykh osobennostey razlichnykh modeley osnovaniya pri raschete vzaimnogo vliyaniya zdaniy na bol'shikh fundamentnykh plitakh s ispol'zovaniem raschetno-analiticheskoi sistemy SCAD Office [Allowing for characteristics of various design models in calculating mutual influence of buildings on pile-raft foundation in SCAD software]. In: VI Mezhdunarodnyi simpozium. Aktual'nye problemy komp'yuternogo modelirovaniya konstruktсии i sooruzhenii (Proc. 6th Int. Sci. Symp. 'Relevant Computer Modeling Problems of Structures'). Vladivostok, 2016. Pp. 133–134. (rus)
10. *MicroFe-SDK*. Programmnyi kompleks konechno-elementnykh raschetov prostranstvennykh konstruktсии na prochnost', ustoychivost' i kolebaniya [MicroFe-SDC software application for finite-element strength, stability and vibration analyses]. ООО "TEKSOFT", 2015. Available: www.tech-soft.ru (rus)
11. Yushchube S.V., Podshivalov I.I., Filippovich A.A., Tryapitsin A.E. Modelirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya kirpichnogo zdaniya povyshennoi etazhnosti na svainom fundamente [Stress-strain state modeling of high-rise brick building on pile foundation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018. No. 4 (69). Pp. 72–77. (rus)
12. Yushchube S.V., Podshivalov I.I. Modelirovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya svainogo fundamenta s plitnym rostverkom vysotnogo zdaniya s uchetoм nedopogruzeniya svai [Modeling of stress-strain state of high-rise building pile raft foundation with incomplete

pile installation]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2020. V. 22. No. 2. Pp. 145–161.

Сведения об авторах

Юцубе Сергей Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sv@tsuab.ru

Подшивалов Иван Иванович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ivanpodchivalov@list.ru

Ларионов Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, adlee@mail.ru

Authors Details

Sergei V. Yushchube, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sv@tsuab.ru

Ivan I. Podshivalov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ivanpodchivalov@list.ru

Aleksei S. Larionov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, adlee@mail.ru

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

УДК 622.692.4

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-140-149

*В.И. ХИЖНЯКОВ, А.В. НЕГОДИН, В.А. ШЕЛКОВ, А.Н. ТОЗ,
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ РАЗВИТИЯ КОРРОЗИОННЫХ И СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА КАТОДНОЗАЩИЩАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Проведен анализ процесса деградации прочностных характеристик ферритно-перлитных сталей трубного сортамента под воздействием катодного водорода и рабочего давления в трубопроводе. Показано, что рост стресс-коррозионных трещин вглубь стенки трубы осуществляется по траектории полосы Чернова – Людерса в направлении действия максимальных касательных напряжений, действующих под углом 30–60° по отношению к кольцевым растягивающим напряжениям.

Ключевые слова: ферритно-перлитная сталь; коррозионное растрескивание под напряжением; полоса Чернова – Людерса; катодная перезащита; электролитическое наводороживание.

Для цитирования: Хижняков В.И., Негодин А.В., Шелков В.А., Тоз А.Н. Предотвращение развития коррозионных и стресс-коррозионных дефектов на катоднозащищаемой поверхности магистральных трубопроводов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 140–149.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-140-149

*V.I. KHIZHNYAKOV, A.V. NEGODIN, V.A. SHELKOV, A.N. TOZ,
Tomsk State University of Architecture and Building*

CATHODIC PROTECTION OF MAIN PIPELINES FROM STRESS CORROSION CRACKING

The paper analyzes the degradation process of the strength properties of ferritic-pearlitic pipe steels subjected to the influence of cathode hydrogen and the operating pressure in the pipeline. It is shown that the growth stress corrosion cracking deep into the pipe wall occurs along the Chernov-Lüders band, in the direction of the maximum tangential stresses acting at an angle of 30-60 degrees relative to the tensile stresses.

© Хижняков В.И., Негодин А.В., Шелков В.А., Тоз А.Н., 2021

Keywords: ferritic-pearlitic steel; stress corrosion cracking; Chernov-Lüders band; cathodic overprotection; electrolytic hydrogenation.

For citation: Khizhnyakov V.I., Negodin A.V., Shelkov V.A., Toz A.N. Predotvrashchenie razvitiya korrozionnykh i stress-korrozionnykh defektov na katodnozashchishchaemoy poverkhnosti magistral'nykh truboprovodov [Cathodic protection of main pipelines from stress corrosion cracking]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 140–149.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-140-149

Важнейшая проблема дальнейшего развития технического прогресса в области проектирования, строительства и эксплуатации трубопроводного транспорта нефти и газа состоит в повышении надежности. Надежность магистральных трубопроводов многопланова, определяется многими факторами, основными из которых являются коррозионный износ и стресс-коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) внешней катоднозащищаемой поверхности трубопроводов в процессе их длительной эксплуатации. Действительно, результаты анализа отказов на линейной части магистральных нефтегазопроводов за период с 2009 по 2017 г. характеризуются следующими параметрами (в %): наружная коррозия – 48 (в том числе коррозионное растрескивание под напряжением (КРН) – 29); брак строительного-монтажных работ – 23 (в том числе брак от сварки – 13); механические повреждения – 9; конструктивные недостатки (брак строительных изделий) – 8; ошибочные действия персонала при эксплуатации – 9; прочие причины – 3. Результаты проведенного анализа свидетельствует о том, что, несмотря на непрерывное совершенствование защитных противокоррозионных мероприятий, отказы трубопроводов из-за коррозии металла трубы и КРН составляют на протяжении последних восьми лет практически постоянную величину – половину причин происходящих отказов. При этом интенсивность отказов по причине коррозии имеет тенденцию к снижению в пределах 5–7 %, а количество стресс-коррозионных трещин не уменьшается, а наоборот, имеет тенденцию к увеличению примерно в тех же пределах. На рис. 1 представлен внешний вид коррозионных язв и трещин КРН на внешней поверхности газопровода.



Рис. 1. Коррозионные и стресс-коррозионные дефекты (в плане), обнаруженные на внешней катоднозащищаемой поверхности магистрального газопровода диаметром 1420 мм [1]

Коррозионные дефекты проявляются в виде коррозионных язв глубиной 3–5 мм на внешней катоднозащищаемой поверхности. Наиболее опасны дефекты КРН, которые локализованы в большинстве случаев у нижней трети образующей трубопроводов большого диаметра (от 4 до 8 ч по условному циферблату) и практически повсеместно ориентированы вдоль трубы, перпендикулярно действию кольцевых растягивающих напряжений $\sigma_{к.ц.}$. Фрактографический анализ (излом) трещины свидетельствует о том, что трещины начинают хрупко развиваться от внешней катоднозащищаемой поверхности практически под прямым углом на глубину до 3–5 мм. Затем наблюдается заметный переход от хрупкого характера излома к пластическому с изменением направления развития трещины. В пластической зоне излома трещина развивается под углом 30 – 60° по отношению к направлению действия $\sigma_{к.ц.}$. Со стороны внутренней поверхности стенки трубы характер излома сохраняется вязким. В вязкой составляющей излома пластические деформации осуществляются путем последовательных сдвигов в плоскости, наклоненной примерно под углом 45° по отношению к $\sigma_{к.ц.}$, практически по линии Чернова – Людерса (рис. 2).

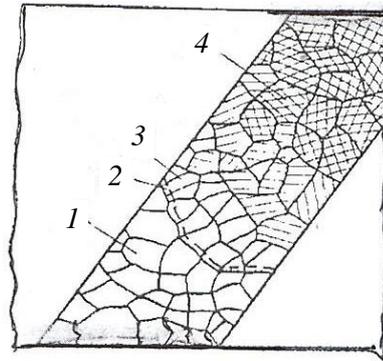


Рис. 2. Схематическое представление образования полосы Чернова – Людерса в стенке напряженно-деформированной трубы:

1 – недеформированная область; 2 – область перед фронтом; 3 – фронт прореформированной области; 4 – прореформированная область

Полоса Чернова – Людерса возникает вследствие сдвига зерен под действием касательных напряжений, направленных под углом 45° к направлению $\sigma_{к.ц.}$. Полоса состоит из трех зон – активной (АЗ), релаксационной (РЗ) и зоны разблокировки дислокаций (ЗР). В результате сдвигов в стенке трубы возникают остаточные деформации. После стадии текучести трубная сталь вновь приобретает способность увеличивать сопротивление дальнейшей деформации от действия $\sigma_{к.ц.}$ до некоторого предела, при достижении которого возникает следующий скачок (сдвиг). Время между скачками роста трещины вглубь стенки трубы от внешней катоднозащищаемой поверхности зависит от степени катодной перезащиты: отношения плотности тока катодной защиты $j_{к.з}$ к плотности предельного тока по кислороду $j_{к.з}/j_{пр}$ (от интенсивности потока протонов) и от величины рабочего давления в трубопроводе $P_{раб.}$. На рис. 3 показан рост стресс-коррозионной трещины вглубь стенки трубы при одновре-

менном воздействии катодного водорода и кольцевых растягивающих напряжений, определяемых $P_{\text{раб}}$.



Рис. 3. Развитие стресс-коррозионной трещины от внешней катоднозащищаемой поверхности вглубь стенки трубы [2]

В работе [2], на основе выявленных закономерностей и особенностей развития стресс-коррозионных трещин на трубах магистральных газопроводов ООО «Севергазпром», показано, что для трещин водородного охрупчивания характерно увеличение твердости стали, трещины хрупкие и узкие с острой вершиной, идут транскристаллитно, имеют боковые отростки вдоль ферритно-перлитных полос. Трещины начинают распространяться вглубь стенки трубы от внешней катоднозащищаемой поверхности, берут начало от коррозионных каверн, когда наружная поверхность подвержена питтинговой коррозии. Трещины имеют направление развития под углом 45° . Действительно, в процессе длительной эксплуатации трубопровода, под воздействием перепадов $P_{\text{раб}}$ и электролитического наводороживания при катодной перезащите, неизбежно изменяются механические свойства трубной стали: повышается твердость стали и, соответственно, предел текучести, растет число микротрещин в структуре стали. В процессе длительной эксплуатации магистральных трубопроводов микротрещины формируются, прежде всего, в цементитных пластинах перлита с последующим ростом преимущественно по межкристаллитному механизму (рис. 4).

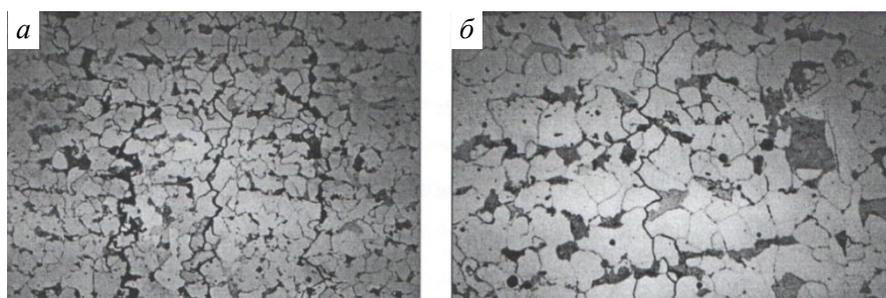


Рис. 4. Зарождение трещин в перлитной составляющей ферритно-перлитной стали трубного сортамента (а) и траектория распространения трещины преимущественно по межкристаллитному механизму (б) [3]

Представленный на рис. 4 травленный шлиф (а) и траектория распространения трещины (б) свидетельствуют о том, что образование микротрещин в структуре ферритно-перлитной трубной стали происходит, прежде всего, в хрупкой цементитной составляющей и процесс распространения трещины происходит преимущественно межкristаллитно, по границам ферритных зерен. Однако в процессе длительной эксплуатации трубопровода (при малоцикловом нагружении) в ферритных зернах трубной стали накапливаются внутризеренные повреждения, провоцирующие последующее распространение трещин также и по телу зерен, о чем свидетельствует картина распространения трещин в структуре ферритно-перлитной трубной стали, представленная на рис. 4. У вершин микротрещин в некотором микрообъеме сталь имеет повышенный уровень напряжений, что создает условия для направленной диффузии к этому объему протонированных атомов катодного водорода при перезащите. При катодной перезащите, когда $j_{к.з}/j_{пр} \geq 10$, на катоднозащищаемой поверхности трубопровода идет процесс восстановления воды с выделением ад-атомов водорода: $H_2O + e \rightarrow OH^- + H_{адс}$. Скорость, с которой $H_{адс}$ рекомбинируют друг с другом, обусловлена составом почвенного электролита. При содержании в почвенном электролите каталитического яда, например H_2S на заболоченных участках трассы, уменьшается скорость образования молекулярного H_2 и возрастает адсорбция атомов водорода на катоднозащищаемой поверхности трубопровода [4]. Высокая концентрация адсорбированных атомов водорода на поверхности трубопровода способствует их хемосорбции – переходу электронов от $H_{адс}$ в структуру трубной стали: $H_{адс} - e \rightarrow H^+$ и проникновению протонов в стенку трубы. Атом водорода, попадая в структуру трубной стали, под воздействием ее потенциального поля ионизируется и диффундирует в виде протона, размеры которого в 200 тыс. раз меньше размеров самого атома водорода, что обуславливает их высокую подвижность в структуре трубной стали. Протонированные атомы водорода в стенке трубы, в области с совершенной решеткой, создают поле напряжений за счет искажения совершенной решетки (рис. 5, а).

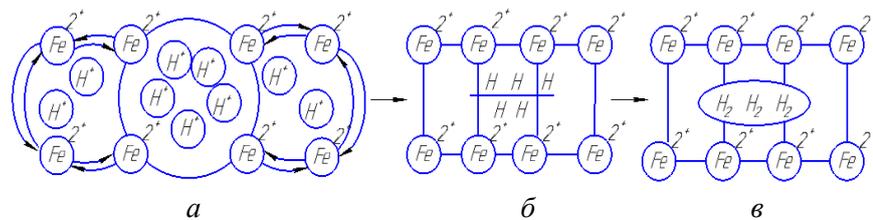


Рис. 5. Схема потери когезионной прочности ферритно-перлитной стали под воздействием электролитического водорода при катодной перезащите, когда $j_{к.з}/j_{пр} \geq 10$: а – электролитическое насыщение трубной стали протонами; б – диффузия протонов в область максимальных напряжений в вершине микротрещины (образование атмосферы Коттрелла, состоящей из атомов водорода); в – образование трещины, в полости которой растёт P_{H_2}

Поля упругих напряжений области искажения решетки и дислокаций взаимодействуют. В результате атомы водорода испытывает силу притяжения

со стороны дислокаций. Накапливаясь в области дислокаций, H^+ способны понизить напряжения в этих областях. Достигая поверхности раздела между решеткой и микротрещиной, протон, захватывая электрон, превращается в атом: $H^+ + e \rightarrow H_{адс}$. Поэтому они притягиваются несовершенствами кристаллической решетки (микротрещинами), образуя атмосферы Коттрелла, даже понижая искажения области растяжения (рис. 5, б). Снижение когезионной прочности трубной стали под воздействием $P_{раб}$ и реакции молизации атомов водорода: $H_{адс} + H_{адс} \rightarrow H_2$, повышающей давление водорода в замкнутом пространстве микротрещины P_{H_2} , приводят к росту трещин КРН (рис. 5, в).

Из представленной на рис. 5 схемы следует, что катодный водород в структуре трубной стали находится либо в ионизированном состоянии в виде протонов, либо в молекулярном, заключенном в микротрещинах. Протонированные атомы внедрения водорода, с одной стороны, закрепляют дислокации, охрупчивая трубную сталь, с другой – «напрягают» кристаллическую решетку, вызывая концентрационные напряжения, что приводит к уменьшению пластической деформации и снижению когезионной прочности, прежде всего, высокопрочных сталей трубного сортамента. Высокопрочные стали ферритно-перлитного класса из-за ограниченной пластичности более склонны к образованию стресс-коррозионных трещин, чем низкопрочные. В ферритно-перлитных сталях трубного сортамента микротрещины первично зарождаются, как правило, на границах зерен феррита с перлитными колониями. Это связано с деформациями стали на стадии изготовления труб при прокатке и в процессе эксплуатации трубопроводов от пульсаций $P_{раб}$, которые приводят к растрескиванию цементитных пластинок перлита. Разрушенные цементитные пластинки становятся коллекторами для стекания сюда диффузионно-подвижного (протонированного) водорода – H^+ . Дислокации, так же как и разрушенные цементитные пластинки, являются коллекторами для стекания водорода. В результате в сочетании с $\sigma_{к.ц}$ в дефектной перлитной колонии создается сложно-напряженное состояние, приводящее к образованию хрупкой микротрещины, пронизывающей всю перлитную полосу и выходящей в соседние ферритные зерна. Перлитная фаза по сравнению с ферритной обладает пониженной когезионной прочностью, и в тех участках перлита, где значение эффективного напряжения $\sigma_{эф}$ приближается к теоретической прочности на отрыв $\sigma_{пр}$: $\sigma_{эф} \rightarrow \sigma_{пр}$, когезионный разрыв становится возможным. Согласно модели Коттрелла, вследствие диффузии протонов H^+ к вершине микротрещины в пластической области образуется охрупченная область, определяемая не образованием гидридов, а концентрацией поглощенных атомов водорода. Охрупчивание полностью определяется кинетикой доставки водорода от источника (катоднозащищаемой поверхности) к вершине растущей трещины. В вершине трещины, при ее продвижении, должна постоянно поддерживаться определенная концентрация атомов водорода, интенсивность поступления которых определяется степенью перезащиты, когда $j_{к.з}/j_{пр} \geq 10$. В противном случае протекает обратный процесс – дегазации стали. Прежде всего, это относится к диффузионно-подвижному (протонированному) водороду, который легко дегазируется, в то время как молекулярный водород, за-

мкнутый в микротрещинах, практически не дегазируется. Поэтому рост трещины представляет собой ступенчатый процесс микроразрушения в перлитной составляющей микроструктуры трубной стали за счет высокоградиентных полей напряжений и деформаций, возникающих у вершины растущей трещины в период наводороживания. В вершине трещины (в области, максимально насыщенной дислокациями) атомы водорода, внедряясь в ОЦК-решетку ферритно-перлитной стали 17ГС, вызывают дополнительные объемные и направленные искажения, за счет чего энергия деформации кристаллов уменьшается. Это приводит к блокированию скольжения дислокаций в решетке – эффекту деформационного старения (ЭДС). При появлении ЭДС уменьшается пластическая деформация стали и снижается способность стали к деформационному упрочнению. С наибольшей вероятностью эффект деформационного старения S может быть описан степенным законом: $S = Ke^n$ [5]. При этом показатель n в степенном уравнении является критерием затухания интенсивности деформационного упрочнения – высокопрочные материалы имеют более низкие значения n , чем низкопрочные пластичные материалы. Под действием нарастающих напряжений около участков, подверженных ЭДС, неизбежно формируются микрополости течений вдоль направлений максимальных касательных напряжений. При этом микропластическое течение реализуется благодаря увеличению общей длины линии дислокаций L_d при выгибании свободных дислокационных отрезков с закрепленными концами, что описывается уравнением [6]:

$$\tau = \frac{Gb}{L_d}, \quad (1)$$

где τ – касательное напряжение, действующее на дислокационный отрезок размером L_d ; G – модуль сдвига; b – модуль вектора Бюргерса. Согласно приведенному уравнению (1), чем больше L_d , тем при меньшем значении касательных напряжений τ возможен прогиб деформаций. При прогибе деформации в петлю радиуса, $L_d/2$, величину пластической деформации со сдвигом можно определить по формуле

$$\varepsilon_{сдв} = \frac{\pi b \sqrt{\rho_d}}{8}, \quad (2)$$

где ρ_d – плотность дислокаций, см^{-2} .

Для трубных сталей ферритно-перлитного класса плотность дислокаций после длительной эксплуатации составляет $\rho_d \approx 10^{-8} \text{ см}^{-2}$ (при средней плотности дислокаций в стали трубы из аварийного запаса 10^{-9} см^{-2}), модуль вектора Бюргерса $b \approx 3\text{Å} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ см}$, тогда величина сдвиговой деформации $\varepsilon_{сдв} \approx 10^{-4}$ [7]. Согласно уравнению (1), чем больше L_d , тем при меньшем значении касательных напряжений τ возможен прогиб дислокаций. При продвижении трещины вглубь стенки трубы нарастающие напряжения действуют в тех микрообъемах, в которых прошла микропластическая деформация в полусе Чернова – Людерса. За счет увеличения дислокационной активности в вершине трещины, обусловленной присутствием диффузионно-подвижного водорода, поверхность полосы скольжения является концентратором напря-

жений существенно более сильным, чем исходный концентратор напряжений. Влияние водорода оказывается наибольшим в вершине трещины, где вход водорода облегчается процессом скольжения, а локальная концентрация водорода усиливается по мере роста отношения $j_{к.з}/j_{пр} \geq 10$. Здесь начинают формироваться каналы течений вдоль направлений максимальных касательных напряжений, расположенных примерно под углом 45° к действию кольцевых растягивающих напряжений. В процессе длительной эксплуатации в стенке трубы в небольшом объеме трубной стали, прежде всего вблизи внешней катоднозащищаемой поверхности, поверхностные зерна начинают деформироваться раньше, чем внутренние, что приводит к более интенсивному упрочнению стали в приповерхностных слоях. В упрочненном поверхностном слое под воздействием $\sigma_{к.ц}$ формируются полосы скольжения (зародыши полосы Чернова – Людерса) с последующим их развитием по направлению максимальных касательных напряжений. Внешняя поверхность катоднозащищаемого трубопровода из-за наличия концентраторов напряжений является источником и стоком дислокаций и вакансий, за счет чего вблизи нее происходит разблокировка исходных дислокаций. Движение разблокированных дислокаций формирует сдвиг в направлении максимальных касательных напряжений, провоцирующий образование трещины. Локальный сдвиг в вершине трещины уменьшает концентрацию напряжений и затупляет вершину трещины. Если этой деформации достаточно, чтобы понизить напряжение в вершине трещины ниже некоторого предела, необходимого для распространения трещины, рост трещины останавливается. Для продолжения роста трещины необходим дальнейший рост напряжения, чтобы скомпенсировать как изменение поверхностной энергии, так и работу, необходимую для образования свободной поверхности. Трещина характеризуется потерей сцепления между ее поверхностями, в результате чего трещина растет под совместным воздействием катодного водорода и $\sigma_{к.ц}$ в направлении максимальных касательных напряжений практически под углом $\sim 30-60^\circ$ (см. рис. 3). Коррозионные дефекты на внешней катоднозащищаемой поверхности магистральных трубопроводов возникают при недозащите, когда плотность тока катодной защиты не достигает значений плотности предельного тока по кислороду: $j_{к.з} \leq j_{пр}$, а стресс-коррозионные дефекты образуются, наоборот, при перезащите, когда плотность тока катодной защиты превышает плотность предельного тока по кислороду в десять и более раз: $j_{к.з} \geq 10 j_{пр}$. Результаты проведенных нами исследований [4] свидетельствуют о том, что для повышения эксплуатационной надежности магистральных трубопроводов, сведения к контролируемому минимуму процессобразования коррозионных и стресс-коррозионных дефектов на катоднозащищаемой поверхности катодную защиту следует осуществлять при режимах, когда $3 \leq j_{к.з}/j_{пр} \leq 7$. В области этих режимов эксплуатации средств электрохимической защиты остаточная скорость коррозии не превышает 0,008 мм/год (что для магистральных трубопроводов допустимо) при практическом отсутствии электролитического наводороживания стенки трубы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воронин В.Н., Мамаев Н.И., Ахтимиров Н.Д., Бурдинский Э.В. Анализ стресс-коррозионного состояния магистральных газопроводов ООО «Севергазпром» на осно-

- вании результатов внутритрубной дефектоскопии и обследования в шурфах, пути решения проблемы КРН // Особенности проявления КРН на магистральных газопроводах ОАО «Газпром»: материалы отраслевого совещания. Москва, 2002. С. 74.
2. *Конакова М.А., Яковлев А.Я., Мамаев Н.И.* Закономерности и особенности КРН на трубах МГ ООО «Севергазпром» на базе анализа аварийных отказов с 1981 по 2002 г. // Особенности проявления КРН на магистральных газопроводах ОАО «Газпром». Методы диагностики, способы ремонта дефектов и пути предотвращения КРН: материалы отраслевого совещания ОАО «Газпром», г. Ухта, 11–15 ноября 2002 г. С. 140–158.
 3. *Богданов Р.И., Ряховских И.В., Есиев Т.С., Завгороднев А.В., Игнатенко В.Э.* Особенности проявления коррозионного растрескивания под напряжением магистральных газопроводов на территории Российской Федерации // Вести газовой науки: научно-технический сборник. 2016. № 3 (27). С. 16.
 4. *Хижняков В.И.* Коррозионное растрескивание трубопроводов под напряжением при транспорте нефти и газа. Москва: КАРПТЭК, 2013. С. 105.
 5. *Фарбер В.М., Селиванова О.В., Хотинов В.А., Полухина О.Н.* Деформационное старение в сталях. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2018.
 6. *Хирт Дж., Лоте И.* Теория дислокаций: перев. с англ. / под ред. Э.М. Надгорного, Ю.А. Осипьяна. Москва: Атомиздат, 1972. С. 505.
 7. *Сыромятникова А.С.* Деградация физико-механического состояния труб магистрального газопровода при длительной эксплуатации в условиях криолитозоны // Физическая мезомеханика. 2014. Т. 17. № 2. С. 85–91.
 8. *Mazur I.I., Ivantsov O.M.* Safety pipeline systems. Moscow: ELIMA, 2004. P. 627.

REFERENCES

1. *Voronin V.N., Mamaev N.I., Ahtimirov N.D., Burdinskiy E.V.* Analiz stress-korroziionnogo sostoyaniya magistral'nyh gazoprovodov ООО “Severgazprom” na osnovanii rezul'tatov vnutritrubnoj defektoskopii i obsledovaniya v shurfah, puti resheniya problemy KRN [Stress-corrosion analysis of Severgazprom main pipelines based on in-line flaw detection and inspection in pits and corrosion cracking problem solution]. In: Materialy otraslevogo soveshchaniya Osobennosti proyavleniya KRN na magistral'nyh gazoprovodah ОАО “Gazprom” (*Proc. Industry Day ‘Corrosion Cracking of Gasprom Main Pipelines’*). Moscow, 2002. 74 p. (rus)
2. *Konakova M.A., Yakovlev A.Ya., Mamaev N.I.* Zakonomernosti i osobennosti KRN na trubah MG ООО “Severgazprom” na baze analiza avariynih otkazov s 1981 po 2002 g. [Corrosion cracking analysis of Severgazprom pipelines based on failures in 1981–2002]. In: Materialy otraslevogo soveshchaniya Osobennosti proyavleniya KRN na magistral'nyh gazoprovodah ОАО “Gazprom”. Metody diagnostiki, sposoby remonta defektov i puti predotvrashcheniya KRN (*Proc. Industry Day ‘Defect Diagnostic and Repair and Corrosion Cracking Prevention’*) 2002. Pp. 140–158. (rus)
3. *Bogdanov R.I., Ryahovskih I.V., Esiev T.S., Zavgordnev A.V., Ignatenko V.E.* Osobennosti proyavleniya korroziionnogo rastreskivaniya pod napryazheniem magistral'nyh gazoprovodov na territorii Rossijskoj Federacii [Stress corrosion cracking of main gas pipelines in the Russian Federation]. *Vesti gazovoj nauki*. 2016. No. 3 (27). P. 16. (rus)
4. *Hizhnyakov V.I.* Korroziionnoe rastreskivanie truboprovodov pod napryazheniem pri transporte nefiti i gaza [Corrosion cracking of pipelines during oil-gas transportation]. Moscow: KARPTEK, 2013. 105 p. (rus)
5. *Farber V.M., Selivanova O.V., Hotinov V.A., Poluhina O.N.* Deformacionnoe starenie v stalyah [Strain aging in steels]. Ekaterinburg, 2018. (rus)
6. *Hirth J.P., Lothe J.* Teoriya dislokatsii [Theory of dislocations]. E.M. Nadgorniy, Yu. A. Osip'yan, eds, Moscow: Atomizdat. 1972. 505 p. (transl. from Engl.)
7. *Syromyatnikova A.S.* Degradaciya fiziko-mekhanicheskogo sostoyaniya trub magistral'nogo gazoprovoda pri dlitel'noj ekspluatatsii v usloviyah kriolitozony [Degradation of physical-mechanical state main pipelines during long-term operation in cryolithic conditions]. *Fizicheskaya mezomekhanika*. 2014. V. 17. No. 2. Pp. 85–91. (rus)
8. *Mazur I.I., Ivantsov O.M.* Safety of pipeline systems. Moscow: Elima, 2004. 62 p.

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

Aleksander 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 625.712.14

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-150-160

*В.Д. ТИМОХОВЕЦ, Я.И. ЧИЧИЛАНОВА,
Тюменский индустриальный университет*

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ В ГОРОДЕ ТЮМЕНИ

В статье рассматривается вопрос необходимости усовершенствования улично-дорожной сети г. Тюмени. Проанализирована существующая нормативно-правовая база в области комплексного развития улиц и городских дорог, а также установлены основные требования, которым должна удовлетворять транспортная система города. В связи с этим выделяются основные направления, необходимые к учёту для определения мероприятий по совершенствованию сети улиц и городских дорог для любой агломерационной единицы. На примере г. Тюмени производится детальный анализ данных направлений и посредством его результатов определяются этапы реорганизации улично-дорожной сети для обеспечения комфортного перемещения каждой группы участников дорожного движения.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть; дорожно-транспортные происшествия; уровень удобства; обеспечение безопасного передвижения участников дорожного движения; транспортные задержки.

Для цитирования: Тимоховец В.Д., Чичиланова Я.И. Обоснование необходимости совершенствования транспортной сети в городе Тюмени // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 150–160.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-150-160

*V.D. TIMOKHOVETS, Y.I. CHICHILANOVA,
Tyumen Industrial University*

THE TRANSPORTATION IMPROVEMENT IN TYUMEN

The article discusses the need to improve the road network in Tyumen. The existing regulatory framework in the field of integrated development of streets and city roads has been analyzed, and the basic requirements that must be met by the city's transport system have been established. In this regard, the main directions are highlighted, which are necessary for accounting to determine measures to improve the network of streets and city roads for any agglomeration unit. On the example of Tyumen, a detailed analysis of these directions is carried out and, through its results, the stages of reorganization of the road network are determined to ensure the comfortable movement of all road users.

Keywords: street and road network; road traffic accidents; level of convenience; ensuring the safe movement of road users; transport delays.

For citation: Timokhovets V.D., Chichilanova Y.I. Obosnovanie neobkhodimosti sovershenstvovaniya transportnoi seti v gorode Tyumeni [The transportation improvement in Tyumen]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 150–160.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-150-160

Введение

Современное законодательство Российской Федерации закрепляет положения о комплексном развитии улиц и городских дорог в городах нашей страны. Особое внимание данному положению уделено в Постановлении Правительства Российской Федерации от 25.12.2015 № 1440 и Стратегии пространственного развития РФ до 2025 года. В современных городах наблюдается тенденция развития в различных направлениях: строительство, транспорт, промышленность, сельское хозяйство, здравоохранение и т. п. Прогресс во всех сферах человеческой жизнедеятельности требует активного роста уровня транспортизации и мобильности населения, что в первую очередь обеспечивается за счет транспортной составляющей. На улично-дорожной сети (УДС) города интенсивность движения часто достигает предельно высоких значений, что ухудшает экологическую ситуацию и способствует росту социально-экономических характеристик (удовлетворение потребностей в деловых поездках: например оптимизация занятости трудовых кадров, и в поездках социального и культурного характера: увеличение трудоспособности и активности в сфере творчества рабочей части населения; помимо этого наблюдается рост числа ДТП, усложнение решений архитектурно-строительных проблем городов и агломераций и т. п.), а также снижает производительность градообразующих предприятий и уровень комфортабельности при перемещении пешеходов и транспортных средств [6, 9]. Регулирование движения посредством устройства светофоров на перекрестках неспособно в необходимом объеме адаптировать существующие транспортные условия под постоянно увеличивающийся спрос на передвижение транспорта вследствие различного рода факторов. К таким факторам первоочередно можно отнести постоянно деактуализирующий режим работы светофоров, который порождает заторные явления и не обеспечивает необходимую пропускную способность перекрестка. Также высокие темпы роста интенсивности движения снижают эффективность «зеленых волн», ранее представлявшихся продуктивным решением в транспортных вопросах. Помимо данных причин существует значительное количество аналогичных проблем, выделяемых авторами разных стран [1–3, 8]. В связи с указанными фактами возникает нерациональное нарушение условия *пропускная способность-интенсивность движения*. Пропускная способность транспортного объекта представляется величиной стабильной, фактически неспособной к совершенствованию при заданных условиях движения, а интенсивность движения прогрессирует во времени. Именно данное заключение побуждает к пересмотру традиционных методов регулирования дорожного движения и доказывает необходимость реконструкции существующих перекрестков с разделением транспортных потоков на непересекающиеся мобильные артерии.

Ключевым моментом также является безопасность «пеших» участников дорожного движения, численность которых также увеличивается за счет повышения уровня рождаемости, миграции населения и поддержания активных движений. Для предотвращения создания аварийных ситуаций и транспортных кризисов, как их следствия, рациональным решением является полное раз-

граничение транспортного и пешеходного потоков на градообразующих и наиболее крупных транспортных артериях города.

Подходящим под описанные выше характеристики является г. Тюмень, активно растущий и развивающийся комплексно во всех направлениях, что подтверждается значительным количеством соответствующих нормативно-правовых документов как общероссийского уровня: указанные во введении Постановление Правительства Российской Федерации 25.12.2015 № 1440 и Стратегия, утвержденная до 2025 года, так и на региональном и местном уровнях: Закон Тюменской области от 24.03.2020 года № 23; Постановление Правительства Российской Федерации от 29 июня 1995 г. № 647 и Федеральный проект «Безопасность дорожного движения».

Каждый из представленных выше документов призван обеспечивать безопасность дорожного движения, высокое качество эффективности транспортного обслуживания всех групп населения, использующих транспортную инфраструктуру в повседневной жизни. Основной целью подобных нормативных документов, как правило, является формирование специального комплекса мероприятий в сфере строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов транспортной инфраструктуры в населенных пунктах (в данном случае рассматриваются наиболее крупные городские единицы, в частности г. Тюмень). Мероприятия по оптимизации использования объектов улично-дорожной сети в первую очередь призваны формировать устойчивую транспортную систему, способную справляться с постоянно растущим спросом объектов, предназначенных для перемещения участников дорожного движения.

Достижение поддержания транспортной инфраструктуры г. Тюмени должно соответствовать основным, установленным в настоящее время требованиям. Согласно своду правил с шифром СП.396.1325800.2018, УДС городов должна удовлетворять требованиям, представленным на рис. 1.



Рис. 1. Требования, предъявляемые к УДС города

Из представленного рисунка становится ясным факт выделения трёх основных направлений, необходимых к учёту для определения мероприятий по

совершенствованию сети улиц и городских дорог для любой агломерационной единицы. Под этими направлениями подразумеваются следующие факторы:

1. ДТП в границах города.
 2. Транспортные задержки при перемещении участников дорожного движения.
 3. Пространственное развитие города с учётом застраиваемых территорий.
- Именно согласно представленным параметрам был выполнен анализ состояния г. Тюмени на настоящее время.

1. Анализ дорожно-транспортных происшествий

Количество ДТП на сегодняшний день является важным показателем, характеризующим безопасность дорожного движения. Данное негативное транспортное явление занимает одну из ведущих позиций в сфере исследования транспортных потоков и организации дорожного движения [4, 5, 7]. Обязательным пунктом является повышение безопасности и снижение количества ДТП на УДС любого города.

Набор данных для Тюмени производился согласно официальной статистике Государственной инспекции по безопасности дорожного движения (ГИБДД): на период январь – июль 2020 г. в Тюменской агломерации произошло 747 ДТП, учтенных согласно Постановлению правительства РФ от 29.06.1995 г. № 647. Количество ДТП на первое полугодие рассматриваемого года имеет достаточно низкое значение, что связано с распространением пандемии Covid-19, приведшей к резкому снижению транспортного спроса и, как следствие, временной оптимизации безопасности на улицах и городских дорогах. Для удобства анализа произошедших ДТП авторами были выделены типы участков улиц и городских дорог, на которых происходят происшествия (рис. 2).



Рис. 2. Типы участков улиц и городских дорог, принятых в работе

Сводные данные по ДТП на первое полугодие 2020 г. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сводные данные по ДТП в г. Тюмени на период январь – июль 2020 г.

Месяц	Централь- ный АО	Ленин- ский АО	Калинин- ский АО	Восточный АО	Общее число
Январь	40	38	35	24	137
Февраль	31↓	18↓	31↓	18↓	98
Март	29↓	27↑	18↓	22↑	96
Апрель	16↓	9↓	9↓	6↓	40
Май	33↑	26↑	27↑	12↑	98
Июнь	33=	29↑	38↑	20↑	120
Общее чис- ло	182	147	158	102	589
Среднее кол-во ДТП в месяц	30	25	26	17	98

Из данных таблицы можно сделать вывод, что ситуация в г. Тюмени со стороны безопасности по параметру ДТП довольно неблагоприятна даже в условиях снижения транспортного спроса по причинам безопасности в области здравоохранения населения. Самым аварийным на рассматриваемый период является Центральный административный округ (30,89 %), довольно высокий уровень аварийности наблюдается в Калининском (26,83 %), а также Ленинском (24,96 %) административных округах. Наиболее благоприятная ситуация наблюдается в Восточном административном округе (17,32 %), который является как и менее заселенным в силу недавнего строительства и освоения данных территорий, так и имеющим наиболее комфортные условия передвижения по сравнению с остальными административными округами (характеризуется наиболее широкими улицами и городскими дорогами с большим количеством полос для движения в каждом направлении; частым разделением транспортных потоков, например, при пересечении пешеходами улицы и т. п.).

2. Анализ транспортных задержек

Транспортные задержки наравне с ДТП препятствуют безопасному и бесперебойному движению транспортных средств [13] и оказывают сильное негативное воздействие на участников дорожного движения, влияя в первую очередь на психоэмоциональное состояние, что отрицательно сказывается на здоровье людей [11, 12]. Согласно этому факту транспортные задержки являются гораздо более опасным фактором, поскольку увеличивают вероятность возникновения ДТП и оказывают негативное воздействие на психическое состояние водителей в постоянном ритме. Именно транспортные задержки явились одной из основополагающих причин развития нормативно-правовой базы по оптимизации транспортных условий в пределах крупных населенных пунктов, например СП 396.1325800.2018 и Постановление от 25.06.2018 г. № 331-пк.

С помощью проведения цифрового эксперимента с использованием системы картографических ресурсов 2ГИС были определены средние транспортные задержки для г. Тюмени. Цифровой эксперимент представляет собой снятие времени в пути между заранее установленными центрами притяжения населения в свободное время (с 21:00 до 6:00) и в часы пик, которые достигались с 16:30 до 18:30.

Сравнение временных промежутков выполнялось по заранее установленному единому маршруту, и разница между полученными значениями составляет величину транспортной задержки.

В каждом административном округе было выделено три наиболее востребованных «точки», которые располагались в различных пространственных областях округа для обеспечения возможности проезда ко всем установленным пунктам. Для наглядности эксперимента были сравнены транспортные задержки в пути как между центрами притяжения, располагающимися в разных административных округах города, так и в одном округе.

Среди центров притяжения в первую очередь были выделены торговые и торгово-развлекательные центры (ТРЦ «Кристалл», ТЦ «Континент», ТРЦ «Сити Молл» и др), аквапарк, наиболее крупные образовательные учреждения дошкольного, школьного и высшего образования, в зависимости от рассматриваемого района города Тюмени. Результаты замеров представлены на рис. 3.



Рис. 3. Транспортные задержки в пути между центрами притяжения в г. Тюмени

Из представленного рисунка видно, что значения транспортных задержек относительно критические. В связи с недостаточной распространённостью города во всех пространственных направлениях на сегодняшний день, становятся ощутимы транспортные задержки в 10–20 мин, поскольку среднее время достижения транспортной цели составляет от 20 до 30 мин. Поэтому увеличение времени при перемещении между административными округами в часы пик достигает 30–100 %, что является критическим значением. В то же

время актуальным становится оптимизация ситуации во всех округах одновременно, поскольку транспортные задержки при перемещении между смежными округами довольно ощутимы.

3. Анализ положения о территориальном планировании и развитии завершаемого жилого строительства г. Тюмени

Следующим фактором, требующим внимания при решении вопроса о совершенствовании транспортной схемы города, является развитие жилищного строительства. Для экономического роста важным параметром является увеличение темпов жилищного строительства [14, 15]. Именно прирост численности населения сформирует новые центры притяжения населения и выявит новообразовавшиеся проблемные участки УДС.

Согласно «Положению о территориальном планировании городского округа город Тюмень до 2040 года» должна быть осуществлена застройка территорий, нуждающихся в обеспечении улицами и городскими дорогами, представленных на рис. 4.

Центральный АО	Застройка участков между Велижанским и Салаирским трактами жилыми, общественно-деловыми зданиями, а также обустройство озелененных территорий
Ленинский АО	Формирование новой производственной зоны и многофункциональной общественно-деловой зоны за Велижанским трактом вблизи Окружной дороги Формирование вдоль Тобольского тракта жилой, общественной, зеленой и сельскохозяйственной зон
Калининский АО	Вблизи д. Дербыши обустройство озелененных территорий общего пользования Строительство и обустройство общественно-деловых зон вблизи Окружной дороги вверх за Московский тракт Многоэтажное жилое строительство и обустройство озелененных территорий в мкрн. Плеханово Обустройство микрорайонов с жилой и общественно-деловой застройкой за Окружной дорогой в районе оз. Цимлянское
Восточный АО	Строительство микрорайонов к югу за пересечением улиц Федюнинского и Мельникайте Строительство микрорайонов к югу за пересечением улиц Федюнинского и Пермякова

Рис. 4. Планируемое освоение территории согласно Положению о территориальном планировании городского округа город Тюмень до 2040 г.

В настоящее время Тюмень также активно заселяется в новосозданных районах, в которых с точки зрения развитости инфраструктуры существуют значительные «пробелы», которые только планируется ликвидировать. Среди таких участков можно выделить районы, представленные в табл. 2.

Расчет численности населения осуществлялся на основании официальных данных застройщиков, а планируемый прирост количества автомобилей на заданное число жителей рассчитывался согласно Решению Тюменской городской Думы от 25.12. 2014 года № 243.

Таблица 2

Уровень увеличения численности населения и уровня автомобилизации при заселении новых жилых комплексов и микрорайонов

Наименование объекта	Количество жителей/автомобилей
Калининский АО	
Мкрн. Тюменская Слобода	70 000/25 350
ЖК «Москва»	11 085/4146
ЖК «Плеханово»	10 110/3781
ЖК «Олимпия»	2304/862
ЖК «Юго-Западный»	2736/1023
ЖК «Горки»	984/368
ЖК «Озерный парк»	10 101/3778
Итого	107 320/39 308
Ленинский АО	
ЖК «Акватория»	1830/685
ЖК «Новоантипинский»	8847/3309
ЖК «Северный квартал»	1872/700
ЖК «Зелёный Мыс»	831/311
ЖК «Горизонт»	2907/1087
Итого	16 287/6092
Восточный АО	
ЖК «Новопатрушево»	18 156/6790
ЖК «Ожогино»	2898/1084
ЖК «Апрель»	3500/1309
Итого	24 554/9183

Как видно из данных таблицы, по учёту проектной численности постоянного и дневного населения при проектировании УДС требующим внимания является Калининский административный округ. Высокий темп роста автомобилизации ещё в большей степени повлияет на транспортную ситуацию в городе. Также требующим внимания фактором является приближение численности населения в г. Тюмени к 1 млн (согласно положениям Приложения к Приказу Министерства энергетики РФ № 880 от 7.10.2020 на период до 2040 года, что предполагает под собой ещё более высокие требования к объектам УДС, их удобству и развитости к значительному количеству участников дорожного движения.

Выводы

Согласно анализу указанных трёх параметров, отвечающих основным требованиям нормативной документации по обеспечению безопасного и бесперебойного движения транспортных средств и учёту проектной численности постоянного и дневного населения при проектировании улиц и городских дорог, наибольшее внимание следует уделить оптимизации существующих усло-

вий движения в центральных частях города, а реформаторское усовершенствование проводить в смежных территориях к Окружной дороге.

Воплощение усовершенствования планируется начать с классификации транспортных пересечений по масштабности (согласно действующей классификации улиц и городских дорог): крупные, средние и малые. После этого будет возможно производить реорганизацию УДС согласно значимости пересечения:

1) на крупных производить реновационную реорганизацию посредством комплексных транспортных пересечений с полным разделением потоков [10];

2) на средних пересечениях предусматривать рентабельные решения, удовлетворяющие разделению потоков, но не требующие значительных затрат, для предотвращения снижения эффективности;

3) малые участки улиц и городских дорог возможно подвергать применяющимся на сегодняшний день принципам улучшения условий дорожного движения (работа над светофорными циклами и т. п. виды организации движения).

Посредством организации такой схемы транспортная сеть города преобразится и будет способна выдерживать постоянно растущую потребность населения в передвижении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ahmed B., Hounsell N., Shrestha B.* Investigating Bus Priority Parameters for Isolated Vehicle Actuated Junctions // *Transportation Planning and Technology*. 2016. № 39 (1). P. 45–58.
2. *Ghods A.H., Fu L.* Real-Time Estimation of Turning Movement Counts at Signalized Intersections Using Signal Phase Information // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2014. 47. P. 128–138.
3. *Cesme B., Furth P.G.* Self-Organizing Traffic Signals Using Secondary Extension and Dynamic Coordination // *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2014. 48. P. 1–15.
4. *Busiello M., Ratkeviciute K., Zilioniene D., Russo F., Biancardo S. A., Dell'Acqua G.* Preliminary Canter of the Accident Rate in Italian and Lithuanian Road Networks. In *Environmental Engineering // Proceedings of the International Conference on Environmental Engineering*. ICEE. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property. 2014. V. 9. 1 p.
5. *Lim I., Kweon Y.* Identifying High-Crash-Risk Intersections Comparison of Traditional Methods with the Empirical Bayes-Safety Performance Function Method, *Transportation Research Record // Journal of the Transportations Research Board*. 2013. 2364. P. 44–50.
6. *Gillis D., Semanjski I., Lauwers D.* How to control sustainable mobility in cities? // *Literature review in the framework of creating a set of indicators of sustainable mobility // Sustainability*. 2016. № 8. 29 c.
7. *Russo F., Biancardo S.A., Dell'acqua G.* Road Safety from the Perspective of Driver Gender and Age as Related to the Injury Crash Frequency and Road Scenario // *Traffic Injury Prevention*. 2014. № 15 (1). P. 25–33.
8. *Параскевов А.В., Желиба В.К.* Оптимизация загруженности уличной дорожной сети // *Научный журнал КубГАУ – Scientific Journal of KubSAU*. 2015. № 110. С. 1–13.
9. *Орлов А.Л.* Преимущества и недостатки автомобилизации населения и способы ее осуществления // *Российское предпринимательство*. 2009. № 9-1. С. 98–102.
10. *Тимоховец В.Д., Чичиланова Я.И.* Разработка универсальной транспортной схемы для оптимизации дорожного движения в условиях города // *Вестник СибАДИ*. 2020. № 17 (4). С. 524–536. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-4-524-536>
11. *Днистренко Н.С., Королёва Л.А., Куценко С.В.* Влияние заторов на психоэмоциональное состояние водителя // *Символ науки*. 2019. № 2. С. 24–26.
12. *Алешева А.Д.* Транспортные заторы как вынужденная несвобода: проблема рационального использования времени // *Ноэма*. 2020. № 1 (4). С. 147–151.

13. Ульянов В.И. Перспективные пути решения проблем транспортной загрузки в крупнейших городах России // Инновации и инвестиции. 2020. № 8. С. 215–220.
14. Букина И.С., Одинцова А.В., Ореховский П.А. Жилищное строительство, региональный экономический рост и качество управления // Вестник Института экономики РАН. 2019. № 5. С. 62–86.
15. Колкатаева Н.А., Карась Д.Е. Транспорт и градостроительство: системный подход // СПТКР. 2013. № 4. С. 218–221.

REFERENCES

1. Ahmed B., Hounsell N., Shrestha B. Investigating bus priority parameters for isolated vehicle actuated junctions. *Transportation Planning and Technology*. 2016. No. 39 (1). Pp. 45–58.
2. Ghods A.H., Fu L. Real-time estimation of turning movement counts at signalized intersections using signal phase information. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2014. V. 47. Pp. 128–138.
3. Cesme B., Furth P.G. Self-organizing traffic signals using secondary extension and dynamic coordination. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2014. V. 48. Pp. 1–15.
4. Busiello M., Ratkeviciute K., Zilioniene D., Russo F., Biancardo S. A., Dell'Acqua G. Preliminary canter of the accident rate in Italian and Lithuanian road networks. In: *Proc. Int. Conf. 'Environmental Engineering'*. Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics & Property. 2014. V. 9. P. 1.
5. Lim I., Kweon Y. Identifying high-crash-risk intersections comparison of traditional methods with the empirical bayes-safety performance function method. *Transportation Research Record*. 2013. V. 2364. Pp. 44–50.
6. Gillis D., Semajski I., Lauwers D. How to control sustainable mobility in cities? Literature review in the framework of creating a set of indicators of sustainable mobility. *Sustainability*. 2016. No. 8. P. 29.
7. Russo F., Biancardo S.A., Dell'acqua G. Road Safety from the perspective of driver gender and age as related to the injury crash frequency and road scenario. *Traffic Injury Prevention*. 2014. No. 15(1). Pp. 25–33.
8. Paraskevov A.V., Zheliba V.K. Optimizaciya zagruzhennosti ulichnoj dorozhnoj seti [Optimization of loaded traffic]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU – Scientific Journal of KubSAU*. 2015. No. 110. Pp. 1–13. (rus)
9. Orlov A.L. Preimushchestva i nedostatki avtomobilizacii naseleniya i sposoby ee osushchestvleniya [Advantages and disadvantages of population motorization and ways of its implementation]. *Rossijskoe predprinimatel'stvo*. 2009. No. 9-1. Pp. 98–102. (rus)
10. Timohovec V.D., Chichilanova Y.I. Razrabotka universal'noj transportnoj skhemy dlya optimizacii dorozhnogo dvizheniya v usloviyah goroda [Development of universal transport system for traffic optimization]. *Vestnik SibADI*. 2020. V. 17. No. 4. Pp. 524–536. DOI: 10.26518/2071-7296-2020-17-4-524-536. (rus)
11. Dnistrenko N.S., Korolyova L.A., Kushchenko S.V. Vliyanie zatorov na psihoemocional'noe sostoyanie voditely [The impact of traffic congestion on psycho-emotional state of driver]. *Simvol nauki*. 2019. No. 2. Pp. 24–26. (rus)
12. Alyosheva A.D. Transportnye zatory kak vynuzhden'naya nesvoboda: problema racional'nogo ispol'zovaniya vremeni [Traffic congestion as forced unfreedom: rational use of time]. *Noema*. 2020. No. 1 (4). Pp. 147–151 (rus)
13. Ulyanov V.I. Perspektivnye puti resheniya problem transportnoj zagruzki v krupnejshih gorodah Rossii [Prospective ways to solve the traffic congestion problems in the largest cities of Russia]. *Innovacii i investicii*. 2020. No. 8. Pp. 215–220. (rus)
14. Bukina I.S., Odincova A.V., Orekhovskij P.A. Zhilishchnoe stroitel'stvo, regional'nyj ekonomicheskij rost i kachestvo upravleniya [Housing construction, regional economic growth and management quality]. *Vestnik Instituta ekonomiki RAN*. 2019. No. 5. Pp. 62–86. (rus)
15. Kolkataeva N.A., Karas' D.E. Transport i gradostroitel'stvo: sistemnyj podhod [Transport and urban planning: Systems approach]. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii*. 2013. No. 4. Pp. 218–221. (rus)

Сведения об авторах

Тимоховец Вера Дмитриевна, ст. преподаватель, Тюменский индустриальный университет, 625001, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, verochka1987@mail.ru

Чичиланова Яна Ивановна, студентка, Тюменский индустриальный университет, 625001, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, miss.tchi4ilanowa2014@yandex.ru

Authors Details

Vera D. Timokhovets, Senior Lecturer, Tyumen Industrial University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, verochka1987@mail.ru

Yana I. Chichilanova, Student, Tyumen Industrial University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia, miss.tchi4ilanowa2014@yandex.ru

УДК 624.138

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-161-174

С.А. КОСЕНКО, И.А. КОТОВА, С.С. АКИМОВ,
Сибирский государственный университет путей сообщения

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ ПОДБАЛЛАСТНЫХ СЛОЕВ ИЗ ГРУНТОБЕТОНА ПРИ ТЯЖЕЛОВЕСНОМ ДВИЖЕНИИ ПОЕЗДОВ*

Разработка способов создания прочного основания для укладки верхнего строения железнодорожного пути становится особенно актуальной в условиях расширения полигона тяжеловесного движения поездов.

Цель исследования – технико-экономическое обоснование применения метода холодной регенерации грунтов для усиления основной площадки земляного полотна.

Для выявления преимуществ данного метода созданы модели технологических процессов производства работ по созданию слоев грунтобетона различной толщины, определены основные технико-экономические показатели моделей, выполнен сравнительный анализ с аналогичными показателями наиболее используемых в настоящее время технологических вариантов усиления рабочей зоны земляного полотна: заменой слабого грунта и созданием защитного слоя из щебеночно-песчано-гравийной смеси, армированного объемной георешеткой.

В результате проведенных исследований определены: необходимое количество исполнителей, продолжительность работ, выработка, производительность и затраты труда, заработная плата, стоимость эксплуатации машин и механизмов, затраты на материалы и общая стоимость работ.

При анализе их значений для всех сравниваемых технологических вариантов сделан вывод об очевидном преимуществе метода холодной регенерации грунтов практически по всем показателям.

Ключевые слова: железнодорожный путь; земляное полотно; тяжеловесное движение поездов; защитный подбалластный слой; грунтобетон.

Для цитирования: Косенко С.А., Котова И.А., Акимов С.С. Технико-экономическое обоснование устройства защитных подбалластных слоев из грунтобетона при тяжеловесном движении поездов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 161–174. DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-161-174

S.A. KOSENKO, I.A. KOTOVA, S.S. AKIMOV,
Siberian State Transport University

FEASIBILITY STUDIES OF PROTECTIVE SUB-BALLAST SOIL-CEMENT LAYERS AT HEAVY-TRAIN TRAFFIC

The development of ways to create a solid base for laying the track structure becomes especially relevant in conditions of the heavy-train traffic. This work presents feasibility studies of using a cold regeneration soil method for strengthening the main subgrade site. The advantages

* Настоящее исследование выполнено в рамках целевого грантового проекта ОАО «Российские железные дороги» № 3704995 от 10.12.2019 г.: «Противодеформационное укрепление основной площадки железнодорожного земляного полотна методом холодной регенерации (ресайклинг) на участках обращения тяжеловесных поездов».

of this method are identified by the creation of models of production processes for soil-cement layers of various thickness. The main performance indicators are analyzed and compared with similar indicators of the most used engineering solutions for strengthening the subgrade working area: soft soil replacing and creation of a protective layer from a rubble-sand-gravel mixture reinforced with a geocell.

The obtained results allow determining the following parameters: the number of employees, length of employment, outputs, productivity, labor costs, wages, costs of machine and mechanism operation, materials and works.

Based on the results, a conclusion is made that there is an obvious advantage of the cold regeneration soil method for all parameters.

Keywords: railway; subgrade; heavy-train traffic; protective sub-ballast layer; soil-cement.

For citation: Kosenko S.A., Kotova I.A., Akimov S.S. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie ustroystva zashchitnykh podballastnykh sloev iz gruntobetona pri tyazhe- lovesnom dvizhenii poezdov [Feasibility studies of protective sub-ballast soil-cement layers at heavy-train traffic]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno- stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 161–174.

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-161-174

Введение

В условиях ежегодного увеличения грузоперевозок, повышения веса поезда и осевых нагрузок на железных дорогах ОАО «РЖД» [1] становится актуальным вопрос продления межремонтных сроков и жизненного цикла конструкций железнодорожного пути [2].

Существенное снижение межпоездных интервалов превращает в проблему вопрос предоставления «окон» для ремонтов и своевременного текущего содержания пути на участках особогрузонапряженных при тяжеловесном движении поездов [3], и на Восточном полигоне они составляют уже сейчас большую часть главных путей БАМа и Транссиба, и ежегодно их протяженность растет.

Эта задача комплексная и многофакторная. Является ежегодной темой практически всех НТС ОАО «РЖД». Целью ставится двукратное увеличение межремонтных сроков с 700 до 1400 млн т брутто. Для ее решения принимаются новые нормативные документы и идет планомерное совершенствование методов ведения путевого хозяйства [4], повышения качества и эксплуатационных характеристик рельсов [5], промежуточных рельсовых скреплений [6], шпального основания, балластного слоя, усиления основной площадки земляного полотна [7]. На стадии проектирования новых конструкций правильность выбранных решений осуществляется моделированием расчетами численными методами [8]. Необходимо также совершенствование технических и технологических методов содержания железнодорожного пути в исправном состоянии [9–10]. Тяжеловесные поезда в составе 90 вагонов с повышенной осевой нагрузкой 25 т/ось (245 кН/ось) оказывают дополнительное негативное воздействие на искусственные сооружения [11] и на высокие подходные пойменные насыпи [12], устойчивость которых необходимо дополнительно увеличивать, а также контролировать различными методами, особенно в суровых климатических условиях.

Для придания железнодорожному полотну равномерно-жесткого состояния в верхней части земляного полотна, особенно на участках тяжеловесного движения поездов, непосредственно под балластной призмой устраивается защитный слой, выполняющий распределительную, фильтрационную, разделительную, виброзащитную, теплоизоляционную функции.

Существуют и активно используются для усиления рабочей зоны земляного полотна железнодорожного пути различные варианты защитных слоев из щебеночно-песчано-гравийной смеси (ЩПГС), как с армированием геосинтетическими материалами, так и без них [13].

Какой защитный слой устраивать в каждом конкретном случае, решается после анализа состояния грунтов рабочей зоны земляного полотна на предмет их деформативности и с учетом основных эксплуатационных характеристик участков [14], таких как скорость движения поездов, грузонапряженность, средняя масса поезда, средняя осевая нагрузка, а также общая устойчивость земляного полотна.

В последние годы при усилении земляного полотна автомобильных дорог активно стал применяться метод холодной регенерации грунтов, который позволяет значительно увеличить несущую способность грунтов основной площадки [15]. На железных дорогах этот метод пока используется редко, в том числе из-за его малой изученности и недостаточной отработки технологии его устройства в условиях интенсивного движения поездов. Поэтому задача исследования возможности и эффективности применения грунтобетона в конструкциях защитных слоев является весьма актуальной.

За рубежом также активно и эффективно решают аналогичные задачи с учетом наличия стабилизирующих материалов [16], свойств грунтов [17], эксплуатационных условий [18] при максимальной технологичности [19], производительности, выработки с обязательным соблюдением мер безопасности [20]. Усиление земляного полотна считается приоритетной задачей [21].

Цель настоящей работы – технико-экономическое обоснование применения метода холодной регенерации грунтов для усиления основной площадки земляного полотна.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

– создание моделей технологических процессов производства работ по усилению основной площадки земляного полотна существующими методами и способом холодной регенерации грунтов;

– определение и сравнительный анализ технико-экономических показателей созданных моделей технологических вариантов создания защитных слоев.

Для исследования возможности устройства защитного слоя из грунтобетона по технико-экономическим показателям принята его оптимальная толщина от 20, 30 и 40 см. Такой диапазон обоснован результатами ранее выполненных расчетно-экспериментальных работ, а также технологических и эксплуатационных ограничений [22–24]. Толщина слоя грунтобетона меньше 20 см недостаточно эффективна, более 40 см избыточна [24]. Назначение конкретной толщины слоя зависит от величины осевых нагрузок и скоростей движения и веса тяжеловесных поездов [Там же].

В качестве альтернативных грунтобетону способов использовались следующие варианты создания защитного слоя:

- из ЩПГС с армированием объемной георешеткой;
- с заменой грунта с недостаточной несущей способностью на дренирующий грунт (ЩПГС).

В работе рассматривался только основной этап создания защитного слоя, т. к. остальной перечень работ (подготовительные работы, вырезка загрязненного балласта щебнеочистителями, балластировка пути новым щебеночным балластом, выправка и стабилизация пути, отделочные работы) одинаков для всех принятых к сравнению вариантов технологии.

Такое разделение работ возможно при их выполнении по технологии «закрытого перегона», при которой ремонтируемый участок одного из путей двухпутного перегона закрывается для движения поездов на длительный (до 10 дн.) срок, в течение которого работы по ремонту выполняются отдельными этапами фронтами 1000–3000 м.

Модели технологических процессов разрабатывались на длину фронта 1000 м пути.

Методы

Для решения поставленных задач были определены основные параметры моделей технологических процессов: объемы работ, затраты труда и продолжительность каждой технологической операции, составлены ведомости затрат труда по техническим нормам, построены графические модели производства работ (рис. 1–3).

Эффективность технологических процессов определяется с помощью ряда показателей [25], таких как трудоемкость, количество задействованных работников, выработка на единицу времени, производительность труда, заработная плата монтеров пути, участвующих в производстве работ, стоимость материалов, эксплуатации машин и механизмов, итоговая стоимость производства работ в соответствии с исполнительной калькуляцией.

Этот комплекс параметров был определен для созданных моделей технологических процессов.

Результаты

Результаты определения основных технико-экономических показателей представлены на рис. 4 и в таблице.

По большинству показателей (количество задействованных монтеров пути, продолжительность работ, выработка, производительность и затраты труда) использование грунтобетона в качестве защитного слоя является наиболее выгодным вариантом в диапазоне глубины холодной регенерации грунтов 20–40 см.

Стоимость работ по устройству защитного слоя при использовании грунтобетона соизмерима с аналогичным показателем для защитного слоя из ЩПГС с армированием объемной георешеткой. Разница в стоимости в сторону удорожания составляет даже для глубины регенерации 40 см 434 278,54 руб.

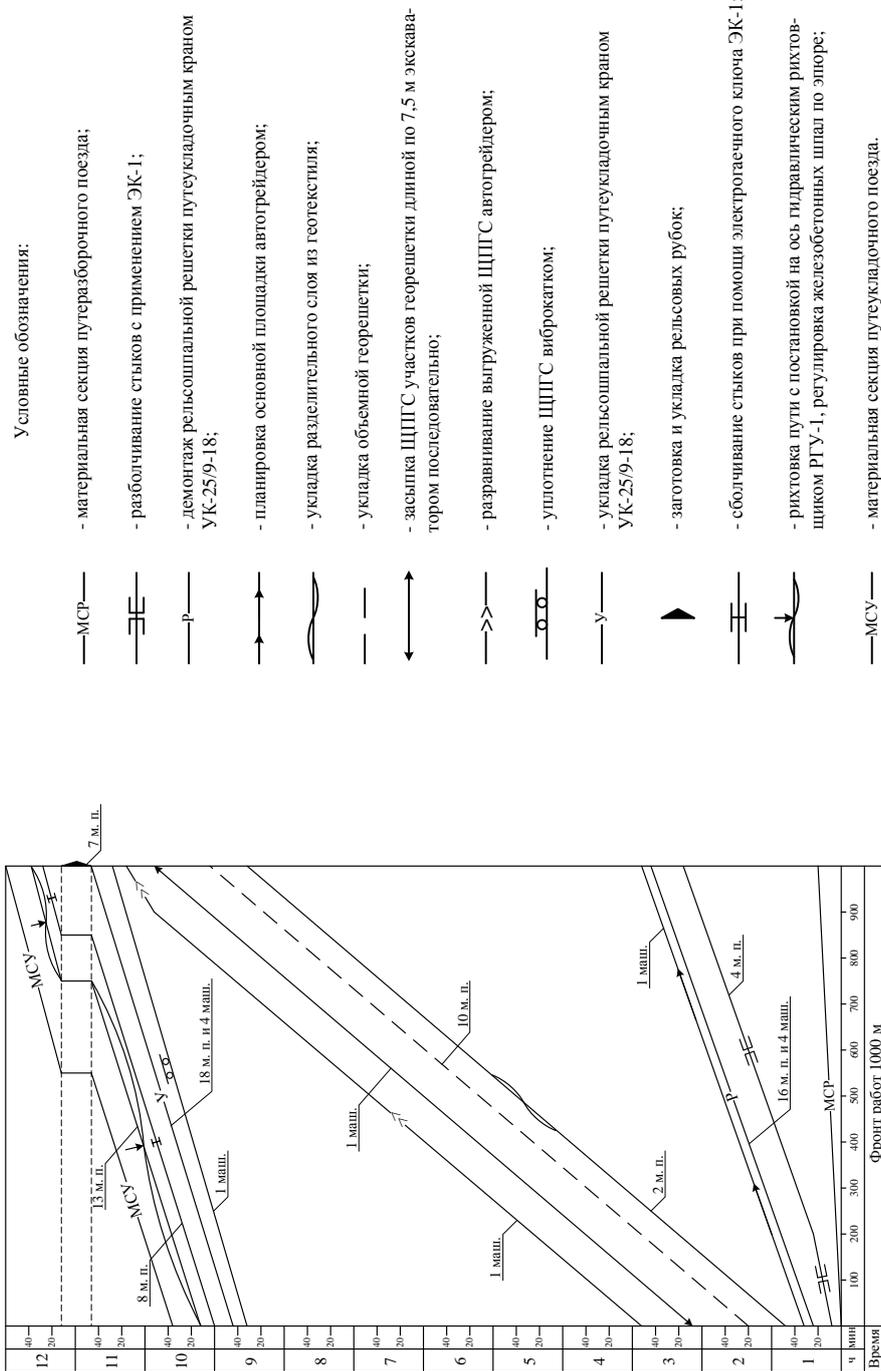


Рис. 1. График производства основных работ по замене рельсошпальной решетки и устройству защитного слоя из ЦППС с армированием объемной георешеткой

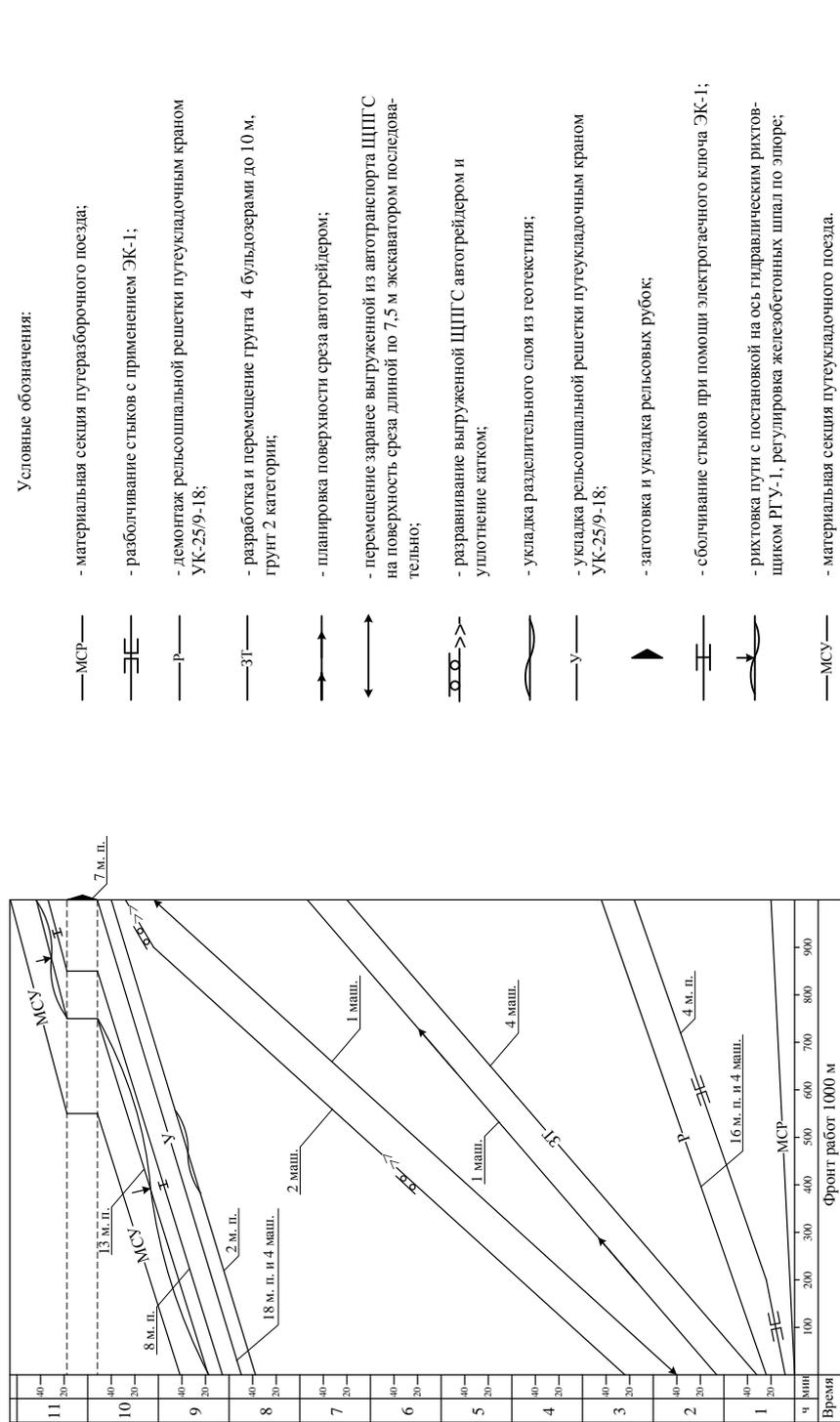


Рис. 2. График производства основных работ по замене рельсошпальной решетки и устройству защитного слоя с заменой грунта с недостаточной несущей способностью на дренирующий грунт (ЩПГС)

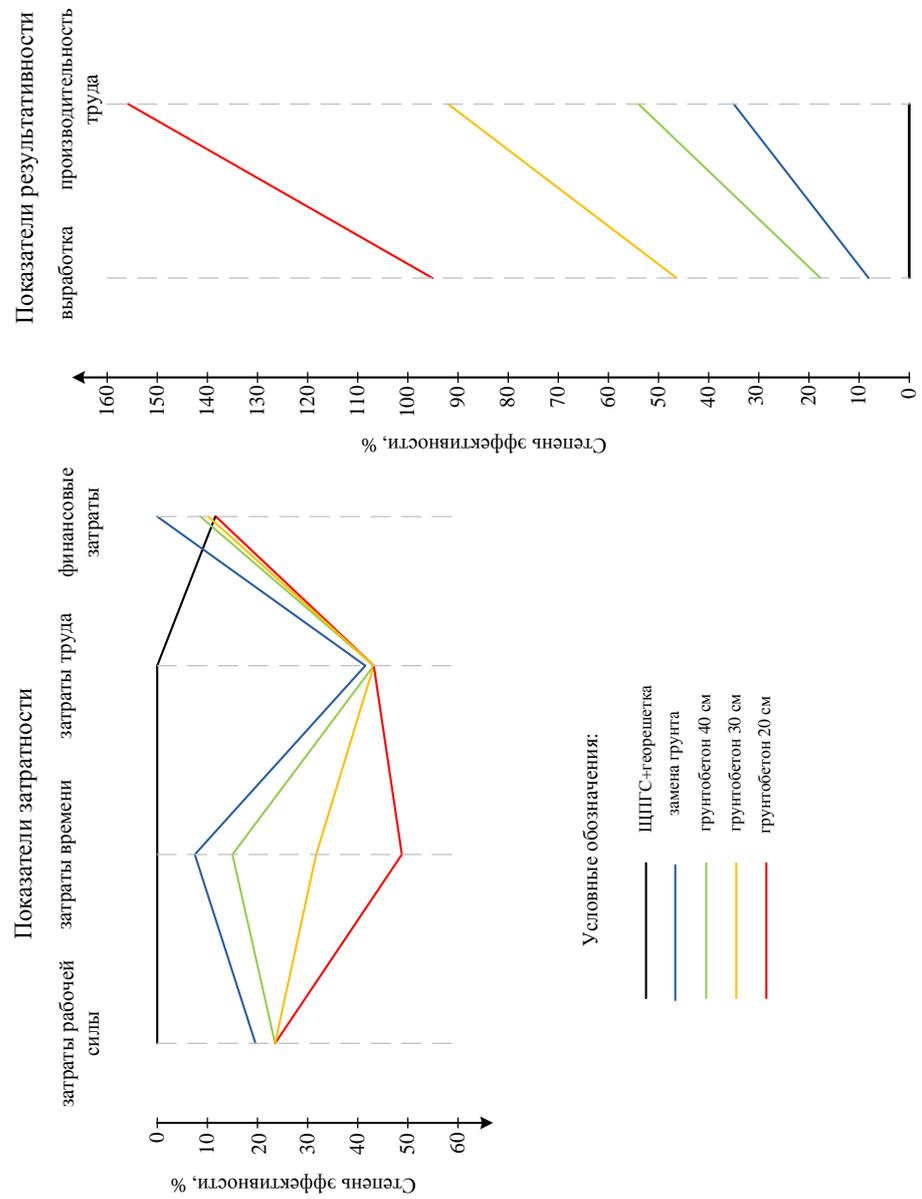


Рис. 4. Поле эффективности сравнимых вариантов технологий

Результаты расчета основных технико-экономических показателей технологических процессов

Технологический процесс устройства защитного слоя		Основные технико-экономические показатели					
Номер	с использованием	N , чел.	$t_{з.п.}$, ч	S , м/ч	P , м/чел.-ч	Затраты труда, чел.-ч	Итоговые затраты по калькуляции, руб.
1	ЩПГС, армированной объемной георешеткой	51	12	83,33	1,63	242,00	12 793 972,76
2	замены слабого грунта на дренирующий (ЩПГС)	41	11,1	90,09	2,20	141,53	14 468 142,06
3	грунтобетона на глубину:	39				137,44	
	20 см		6,15	162,60	4,17		12 778 251,61
	30 см		8,2	121,95	3,13		12 999 377,57
	40 см		10,2	98,04	2,51		13 228 251,30

Примечание. Буквами в таблице обозначены: N – количество задействованных в работах монтеров пути, $t_{з.п.}$ – продолжительность работ, S – выработка, P – производительность труда.

Стоимость же работ при небольшой глубине регенерации 20 см даже несколько ниже (на 15 721,15 руб.) стоимости работ по созданию защитного слоя, армированного георешеткой.

Увеличение глубины регенерации грунтов не приводит к существенному удорожанию ремонта. При увеличении толщины грунтобетонного слоя на 10 см стоимость устройства защитного слоя возрастает всего на 1,8 %.

Вариант устройства защитного слоя путем замены слабого грунта на дренирующий нельзя считать конкурентным из-за высокой стоимости работ.

В результате комплексного укрепления грунтов методом холодной регенерации существенно повышается модуль деформации и несущая способность основной площадки земляного полотна, что, в свою очередь, снизит образование, развитие и распространение пучинно-просадочных деформаций технической системы «земляное полотно – верхнее строение пути». Опыт ДВГУПС по стабилизации грунтов основной площадки земляного полотна железнодорожного пути укрепляющими минеральными композициями на Дальневосточной железной дороге показал, что прочность грунтов на сжатие увеличивается в 20 раз, снижаются пучинистые свойства грунтов [26]. Из исследований, выполненных Д.А. Разуваевым [27], было выявлено, что на участках дорог с наличием стабилизированных грунтов имеют меньшую влажность (до 8 %) не только стабилизированные грунты, но и грунты рабочей зоны земляного полотна. Выполненные коллективом авторов исследования в рамках гранта ОАО «РЖД» [24] показали, что наличие грунтобетонного слоя толщиной 0,2–0,4 м обеспечивает требуемые нормативные значения предельно допустимых напряжений по условию несущей способности $[\sigma_h] = 0,08$ МПа в уровне основной площадки земля-

ного полотна (рис. 5) [24]. Кроме того, наличие грунтобетонного слоя способствует снижению высоты морозного пучения. Например, слой грунтобетона толщиной 0,4 м снижает пучение на 27 % [24] и при этом повышает устойчивость насыпей на 6,5–7,4 % [24].

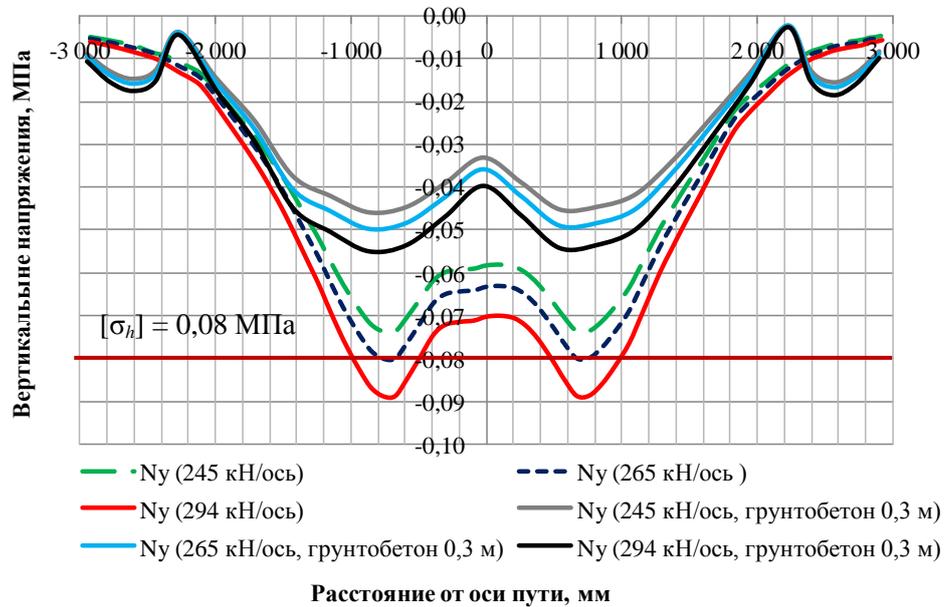


Рис. 5. Нормальные вертикальные напряжения в уровне основной площадки земляного полотна

Заключение

В результате исследований, выполненных в данной работе, созданы модели технологических процессов устройства защитного подбалластного слоя на участке тяжеловесного движения поездов.

Проведена оценка моделей технологических процессов, определены основные технико-экономические показатели, определена стоимость одного километра устройства защитного слоя. Проведено сравнение трех вариантов по основным показателям.

По большинству показателей использование грунтобетона в качестве защитного слоя является наиболее технико-экономически выгодным вариантом в диапазоне рациональной глубины холодной регенерации грунтов 20–40 см. Причем увеличение глубины регенерации грунтов с 0,2 до 0,4 м не приводит к существенному удорожанию ремонта.

Стоимость работ по устройству защитного слоя при использовании грунтобетона незначительно отличается от аналогичного показателя для защитного слоя из ЩПГС с армированием объемной георешеткой. При глубине регенерации 20 см она ниже стоимости работ по созданию защитного слоя, армированного объемной георешеткой, на 0,2 %, при глубине регенерации 30 и 40 см – выше соответственно на 1,6 и 3,4 %.

В соответствии с результатами проведенного исследования метод холодной регенерации грунтов может быть рекомендован к использованию при усилении рабочей зоны земляного полотна на участках тяжеловесного движения поездов.

Таким образом, при меньшей стоимости и большей производительности стабилизация грунтов верхнего слоя земляного полотна методом холодной регенерации позволит значительно снизить отказы всех вышележащих элементов железнодорожного пути и продлить межремонтные периоды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лисицын А.И.* Перспективы развития конструкции верхнего строения пути и его элементов // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 10. С. 2–7.
2. *Косенко С.А. и др.* Оценка стоимости жизненного цикла верхнего строения пути для различных ремонтных схем и промежуточных скреплений // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 2 (53). С. 92–100.
3. *Kosenko S.A., Akimov S.S.* Design of track structure for corridors of heavy-train traffic // MATEC Web of Conferences. 2018. № 239. P. 1–12.
4. *Косенко С.А., Исмагулова С.О., Сулова Т.М.* Новая структура ведения путевого хозяйства на железных дорогах Казахстана // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2012. № 6. С. 39–41.
5. *Kosenko S.A., Akimov S.S.* Performance characteristics of differentially quenched rails // Magazine of Civil Engineering. 2017. № 7. P. 94–105.
6. *Севостьянов А.А., Величко Д.В.* Основные причины отказов рельсов в процессе эксплуатации // Транспорт Урала. 2017. № 2 (53). С. 51–54.
7. *Akimov S., Kosenko S., Bogdanovich S.* Stability of the Supporting Subgrade on the Tracks with Heavy Train Movement // Advances in Intelligent Systems and Computing : VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019. 2020. № 1116. P. 228–236.
8. *Косенко С.А., Исаенко Э.П.* Моделирование и расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций железнодорожного пути методом конечных элементов. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2017. 144 с.
9. *Патент № 2643324* Российской Федерация, МПК E01B 29/05. Способ замены зажатых уравнивающих рельсов и рельсов временного восстановления плети бесстыкового пути (варианты) : заявл. 02.09.16 : опубл. 31.01.18 / Шуругин А.С., Шаньгин Р.В., Косенко С.А., Акимов С.С., Старовойт Н.Н. ; заявитель и патентообладатель ОАО «Российские железные дороги». № 2016135672, Бюл. № 4. 7 с.
10. *Kosenko S, Akimov S., Surovin P.* Technology of rail replacement at end stresses // MATEC Web of Conferences. 2018. № 216. P. 1–8.
11. *Бондарь И.С., Квашинин М.Я., Косенко С.А.* Диагностика и мониторинг балочных пролетных строений железнодорожных мостов // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке. IX Международная научно-техническая конференция «Политранспортные системы». Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2017. С. 35–43.
12. *Квашинин М.Я., Косенко С.А., Бондарь И.С.* Вибродиагностика подходной насыпи железнодорожного моста // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2017. № 2 (41). С. 34–39.
13. *Котова И.А., Чижов А.В., Юдин О.Г., Вобликов А.А.* Оптимизация технологии устройства защитных слоев с применением объемной георешетки при модернизации железнодорожного пути // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2015. № 2. С. 32–38.
14. *Котова И.А., Чижов А.В., Юдин О.Г.* Сравнительный анализ технологических вариантов создания подбалластных защитных слоев при ремонтах железнодорожного пути // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке.

- IX Международная научно-техническая конференция «Политранспортные системы»: сборник статей. Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2017. С. 150–153.
15. Акимов С.С., Косенко С.А. Ресайклинг как альтернативный способ повышения прочности подбалластного основания железнодорожного пути // Наука, образование, кадры : материалы нац. конф. в рамках IX Междунар. Сиб. трансп. форума (Новосибирск, 22–25 мая 2019 г.). Новосибирск : Изд-во СГУПС, 2019. С. 204–212.
 16. Le T.H.M., Lee S.-H., Park D.-W. Evaluation on full-scale testbed performance of cement asphalt mortar for ballasted track stabilization // Construction and Building Materials. 2020. № 254. P. 119249.
 17. Shang Y., Xu L., Zhao Y., Huang Y., Ning-yi O.U. Experimental study on the dynamic features of cement-stabilized expansive soil as subgrade filling of heavy haul railway // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2017. V. 10. № 6. P. 136.
 18. Lazorenko G., Kasprzhitskii A., Khakiev Z., Yavna V. Dynamic behavior and stability of soil foundation in heavy haul railway tracks: A review. 2019. 205. 30 April. P. 111–136. DOI:10.1016/j.conbuildmat.2019.01.184
 19. Saygili A., Dayan M. Freeze-thaw behavior of lime stabilized clay reinforced with silica fume and synthetic fibers // Cold Regions Science and Technology. 2019. № 161. P. 107–114.
 20. Krysan V., Petrenko V., Tiutkin O., Andrieiev V. Improving the safety of railway subgrade when it is strengthened using soil-cement elements // MATEC Web of Conferences. 2019. № 294. P. 03006.
 21. Nie R., Leng W., Yang Q., Chen Y.F., Xu F. Comparison and evaluation of railway subgrade quality detection methods // Journal of Rail and Rapid Transit. 2016. № 232 (2). P. 356–368.
 22. Иванов П.В. Повышение несущей способности железнодорожного земляного полотна, воспринимающего вибродинамическую нагрузку, искусственным укреплением грунтов основной площадки : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иванов П.В. Санкт-Петербург, 1999. 189 с.
 23. Колос А.Ф. Противодинамическая стабилизация железнодорожного земляного полотна путем цементации грунтов основной площадки : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Колос А.Ф. Санкт-Петербург, 2000. 163 с.
 24. Акимов С.С., Исаков А.Л., Косенко С.А., Королев К.В., Кузнецов А.О., Гудкова И.Н., Котова И.А. Противодеформационное укрепление основной площадки железнодорожного земляного полотна методом холодной регенерации (ресайклинг) на участках обращения тяжеловесных поездов : отчет о НИР. Новосибирск, 2020. 289 с.
 25. Котова И.А., Чижев А.В., Юдин О.Г. Техничко-экономическое сравнение технологических вариантов устройства подбалластных защитных слоев с использованием объемной георешетки // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2017. № 1. С. 36–45.
 26. Полевиченко А.Г., Жданова С.М. Противодеформационные конструкции для стабилизации земляного полотна. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2005. 82 с.
 27. Разуваев Д.А. Совершенствование метода проектирования дорожных одежд при стабилизации рабочего слоя земляного полотна (на примере Новосибирской области) : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Разуваев Д.А. Новосибирск, 2013. 180 с.

REFERENCES

1. Lisitsyn A.I. Perspektivy razvitiya konstruksii verkhnego stroeniya puti i ego elementov [Development of track superstructure and its elements]. *Put' i putevoe khozyaistvo*. 2019. V. 10. Pp. 2–7. (rus)
2. Kosenko S.A., Akimov S.S., Bogdanovich S.V., et al. Otsenka stoimosti zhiznennogo tsikla verkhnego stroeniya puti dlya razlichnykh remontnykh skhem i promezhtochnykh skreplenii [Life cycle cost estimation of the permanent way for various repair schemes and intermediate fastenings]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2020. V. 53. No. 2. Pp. 92–100. (rus)
3. Kosenko S.A., Akimov S.S. Design of track structure for corridors of heavy-train traffic. *MATEC Web of Conferences*. 2018. V. 239. P. 05005.

4. Kosenko S.A., Ismagulova S.O., Suslova T.M. Novaya struktura vedeniya putevogo khozyaistva na zheleznykh dorogakh Kazakhstana [New structure of track facilities management on Kazakhstan railways]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta*. 2012. V. 6. Pp. 39–41. (rus)
5. Kosenko S.A., Akimov S.S. Performance characteristics of differentially quenched rails. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. V. 7. Pp. 94–105.
6. Sevost'yanov A.A., Velichko D.V. Osnovnye prichiny otkazov rel'sov v protsesse ekspluatatsii [Main causes of rail breakdowns in the operation process]. *Transport Urala*. 2017. V. 53. No. 2. Pp. 51–54. (rus)
7. Akimov S., Kosenko S., Bogdanovich S. Stability of the supporting subgrade on the tracks with heavy train movement. *Advances in Intelligent Systems and Computing: VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia 2019*. 2020. V. 1116. Pp. 228–236.
8. Kosenko S.A., Isaenko E.P. Modelirovanie i raschety napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstruktivnykh zheleznodorozhnogo puti metodom konechnykh elementov [Stress-strain state modeling and analysis of railway track structures using finite element method]. Novosibirsk, 2017. 144 p. (rus)
9. Shurugin A.S., Shan'gin R.V., Kosenko S.A., Akimov S.S., Starovoi N.N. Sposob zameny zashchitnykh uravnitel'nykh rel'sov i rel'sov vremennogo vosstanovleniya pleti besstykovogo puti (varianty) [Replacement of clamped buffer rails and rails for temporary reconstruction of continuous welded rail track length]. Patent Russ. Fed. N 2643324. 2018. 7 p. (rus)
10. Kosenko S., Akimov S., Surovin P. Technology of rail replacement at end stresses. *MATEC Web of Conferences*. 2018. V. 216. P. 01002.
11. Bondar' I.S., Kvashnin M.Ya., Kosenko S.A. Diagnostika i monitoring balochnykh proletnykh stroenii zheleznodorozhnykh mostov [Diagnostics and monitoring of girder spans of railway bridges]. Nauchnye problemy realizatsii transportnykh projektov v Sibiri i na Dal'nem Vostoke. IX Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Politransportnye sistemy" (*Proc. 9th Int. Sci. Conf. 'Multitransport Systems'*). Novosibirsk, 2017. Pp. 35–43. (rus)
12. Kvashnin M.Ya., Kosenko S.A., Bondar' I.S. Vibrodiagnostika podkhodnoi nasypy zheleznodorozhnogo mosta [Vibrodiagnostics of the railway bridge approach embankment]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2017. V. 41. No. 2. Pp. 34–39. (rus)
13. Kotova I.A., Chizhov A.V., Yudin O.G., Voblikov A.A. Optimizatsiya tekhnologii ustroystva zashchitnykh sloev s primeneniem ob'emnoi georeshetki pri modernizatsii zheleznodorozhnogo puti [Optimization of protective layer construction using geocell for railway modernization]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2015. No. 2. Pp. 32–38. (rus)
14. Kotova I.A., Chizhov A.V., Yudin O.G. Sravnitel'nyi analiz tekhnologicheskikh variantov sozdaniya podballastnykh zashchitnykh sloev pri remontakh zheleznodorozhnogo puti. [Comparative analysis of technological options for creating subballast protective layers during railway track repairs]. Nauchnye problemy realizatsii transportnykh projektov v Sibiri i na Dal'nem Vostoke. IX Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Politransportnye sistemy" (*Proc. 9th Int. Sci. Conf. 'Multitransport Systems'*). Novosibirsk, 2017. Pp. 150–153. (rus)
15. Akimov, S.S., Kosenko S.A. Resaikling kak al'ternativnyi sposob povysheniya prochnosti podballastnogo osnovaniya zheleznodorozhnogo puti [Recycling as an alternative method of increasing the strength ballast foundation of the railway track]. Nauka, obrazovanie, kadry : materialy nats. konf. v ramkakh IX Mezhdunar. Sib. transp. foruma (*Proc. National Sci. Conf. 'Science, Education, Personnel'*). Novosibirsk, 2019. Pp. 204–212. (rus)
16. Le T.H.M., Lee S.-H., Park D.-W. Evaluation on full-scale testbed performance of cement asphalt mortar for ballasted track stabilization. *Construction and Building Materials*. 2020. V. 254. P. 119249.
17. Shang Y., Xu L., Zhao Y., Huang Y., Ning-yi Ou. Experimental study on the dynamic features of cement-stabilized expansive soil as subgrade filling of heavy haul railway. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2017. V 10. No. 6. Pp. 136.
18. Lazorenko G., Kasprzhitskii A., Khakiev Z., Yavna V. Dynamic behavior and stability of soil foundation in heavy haul railway tracks: A review. *Construction and Building Materials*. 2019. V. 205. Pp. 111–136.

19. Saygili A., Dayan M. Freeze-thaw behavior of lime stabilized clay reinforced with silica fume and synthetic fibers. *Cold Regions Science and Technology*. 2019. V. 161, Pp. 107–114.
20. Krysan V., Petrenko V., Tiutkin O., Andrieiev V. Improving the safety of railway subgrade when it is strengthened using soil-cement elements. *MATEC Web of Conferences*. 2019. V. 294. P. 03006.
21. Nie R., Leng W., Yang Q., Chen Y.F., Xu F. Comparison and evaluation of railway subgrade quality detection methods. *Journal of Rail and Rapid Transit*. 2016. V. 232. No. 2. Pp. 356–368.
22. Ivanov P.V. Povyshenie nesushchei sposobnosti zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna, vosprinimayushchego vibrodinamicheskuyu nagruzku, iskusstvennym ukreplenie gruntov osnovnoi ploshchadki: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Artificial reinforcement of the main site soils to improve the bearing capacity of the railroad bed under vibrodynamic load. PhD Thesis]. Saint-Petersburg, 1999. 189 p. (rus)
23. Kolos A.F. Protivodinamicheskaya stabilizatsiya zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna putem tsementatsii gruntov osnovnoi ploshchadki [Anti-dynamic stabilization of railway subgrade by cementing the main site soils]. Saint-Petersburg, 2000. 163 p. (rus)
24. Akimov S.S., Isakov A.L., Kosenko S.A., Korolev K.V., Kuznetsov A.O., Gudkova I.N., Kotova I.A. Protivodeformatsionnoe ukreplenie osnovnoi ploshchadki zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna metodom kholodnoi regeneratsii (resaikling) na uchastkakh obrashcheniya tyazhelovesnykh poezdov [Anti-deformation strengthening of railway subgrade surface using cold regeneration (recycling) in heavy train traffic]. Novosibirsk, 2020. 289 p. (rus)
25. Kotova I.A., Chizhov A.V., Yudin O.G. Tekhniko-ekonomicheskoe sravnenie tekhnologicheskikh variantov ustroystva podballastnykh zashchitnykh sloev s ispol'zovaniem ob'emnoi georeshetki [Feasibility studies of creating sub-ballast protective layers using three-dimensional geocell]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2017. No. 1. Pp. 36–45. (rus)
26. Plevichenko A.G., Zhdanova S.M. Protivodeformatsionnye konstruksii dlya stabilizatsii zemlyanogo polotna [Anti-deformation design for subgrade stabilization]. Khabarovsk, 2005. 82 p. (rus)
27. Razuvaev D.A. Sovershenstvovanie metoda proektirovaniya dorozhnykh odezhd pri stabilizatsii rabochego sloya zemlyanogo polotna (na primere Novosibirskoi oblasti) [Improvement of road surface design technique in stabilizing the roadbed layer (the Novosibirsk case studies)]. Novosibirsk, 2013. 180 p. (rus)

Сведения об авторах

Косенко Сергей Алексеевич, докт. техн. наук, профессор, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, kosenko.s.a@mail.ru

Котова Ирина Александровна, канд. техн. наук, доцент, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, kotovaia@mail.ru

Акимов Сергей Сергеевич, аспирант, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, ak_s_s@mail.ru

Authors Details

Sergei A. Kosenko, DSc, Professor, Siberian State Transport University, 191, Dusi Koval'chuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, kosenko.s.a@mail.ru

Irina A. Kotova, PhD, A/Professor, Siberian State Transport University, 191, Dusi Koval'chuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, kotovaia@mail.ru

Sergei S. Akimov, Research Assistant, Siberian State Transport University, 191, Dusi Koval'chuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, ak_s_s@mail.ru

УДК 625.7:519.6

DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-175-183

П.А. ЕЛУГАЧЕВ¹, Э.А. ЭШАРОВ¹, Б.М. ШУМИЛОВ¹, А.Ж. КУДУЕВ²,
¹Томский государственный архитектурно-строительный университет,
²Ошский государственный университет

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПОВЕРХНОСТЯМИ КОРОБЧАТОГО СЕЧЕНИЯ

В проектировании автомобильных дорог важнейшим является получение оптимальной поверхности дороги (проезжая часть – левая и правая сторона, обочины – левая и правая, откосы – левый и правый и т. д.) по ряду критериев (порой таких критериев сотни), например по уклону, по абсолютной отметке, по отметке относительно уровня грунтовых вод, по расстоянию от верха водопропускной трубы и др. В большинстве САПР (систем автоматизированного проектирования) цифровая модель проекта строится за счет использования триангуляции Делоне.

В статье рассматривается новый математический аппарат пространственного трассирования автомобильных дорог на основе коробчатых поверхностей, образуемых движением незамкнутого многогранника. Предлагаемый подход к решению задачи оптимизации проектирования автомобильных дорог состоит в переходе к математическому моделированию автомобильных дорог на основе коробчатых поверхностей, образуемых движением незамкнутого гладкосклеенного криволинейного многогранника, в рамках технологии информационного моделирования (BIM моделирования).

Ключевые слова: пространственное моделирование; автомобильные дороги; коробчатое сечение; обработка данных.

Для цитирования: Елугачев П.А., Эшаров Э.А., Шумилов Б.М., Кудуев А.Ж. Пространственное моделирование автомобильных дорог поверхностями коробчатого сечения // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 175–183.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-175-183

P.A. ELUGACHEV¹, E.A. ESHAROV¹, B.M. SHUMILOV¹, A.Zh. KUDUEV²,
¹Tomsk State University of Architecture and Building,
²Osh State University

3D MODELING OF BOX-SECTION ROAD SURFACE

In road design, it is most important to obtain an optimum road surface (left and right traffic ways, left and right road sides, left and right slopes, etc.) using a number of criteria (sometimes hundreds of criteria), which include a slope, absolute elevation, elevation relative to the groundwater level, distance from the top of pipe-culvert, and others. In most computer-aided design systems, a digital model of the project is built by using a Delone triangulation.

This paper deals with a new mathematical apparatus for spatial setting out of box-section roads in the form of a nonclosed polyhedron. The proposed approach to optimizing the road design utilizes the building information modeling for box-section roads in the form of a moving unclosed smooth curvilinear polyhedron.

Keywords: 3D modeling; automobile roads; box section; data processing.

For citation: Elugachev P.A., Esharov E.A., Shumilov B.M., Kuduev A.Zh. Prostranstvennoe modelirovanie avtomobil'nykh dorog poverkhnostyami korobchatogo

secheniya [3D modeling of box-section road surface]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2021. V. 23. No. 1. Pp. 175–183.
DOI: 10.31675/1607-1859-2021-23-1-175-183

Введение

В проектировании ремонтов и капитальных ремонтов автомобильных дорог средствами систем автоматизированного проектирования важнейшей процедурой является получение оптимальной (существующей и проектной) поверхности дороги (проезжая часть, обочины, откосы и т. д.) по ряду критериев (порой таких критериев сотни), например по уклону, по абсолютной отметке, по отметке относительно уровня грунтовых вод, по расстоянию от верха водопропускной трубы и др. В большинстве САПР (систем автоматизированного проектирования) цифровая модель проекта строится за счет использования триангуляции Делоне (рис. 1).

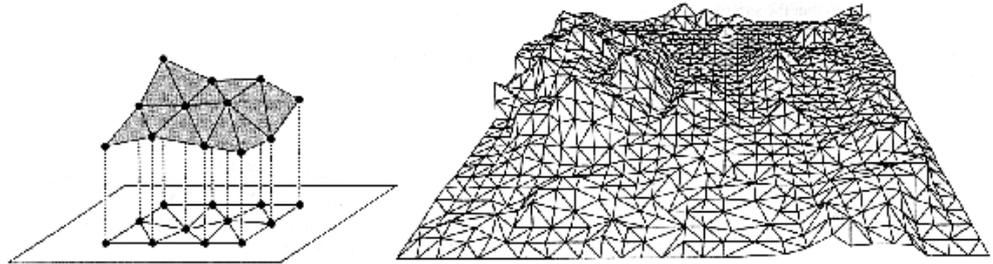


Рис. 1. Форма поверхности, представленная цифровой моделью рельефа с использованием триангуляции Делоне

Данный математический аппарат достаточно хорошо (математически точно) восстанавливает рельеф местности, а также модель участка существующей дороги и прилегающей территории, но использование его в оптимизации для целей ремонта и капитального ремонта приводит к избыточному изменению продольной и поперечной ровности, т. е. исключает возможности оптимизации по критериям (минимум перемещения грунта с сохранением средней линии, нормативного уклона, ширины и т. д.). Отсутствие возможности в современных САПР создавать оптимальную проектную поверхность по перечисленным критериям при ремонтах и капитальных ремонтах увеличивает трудоемкость разработки проектной документации и в конечном счете повышает стоимость ремонтов [1, 2].

Если представить в пространственном виде полигональный ход трассы, имеющей несколько углов поворота в плане и в профиле, то такая комбинация может быть описана сочетанием ряда элементарных плоскостей, лежащих под определенным углом друг к другу. И нередко полигон, располагающийся в плане, не связан с полигоном в профиле (рис. 2, а).

Трудности восстановления проектной модели автомобильных дорог при ремонтах и капитальных ремонтахкратно возрастают при условии раздельного формирования опорных кривых, формирующих сложные поверхности

(осевая линия дороги, бровки – левая и правая и т. д.). По факту – это гладко сопряженные пространственные кривые высокого порядка [3] (рис. 2, б).

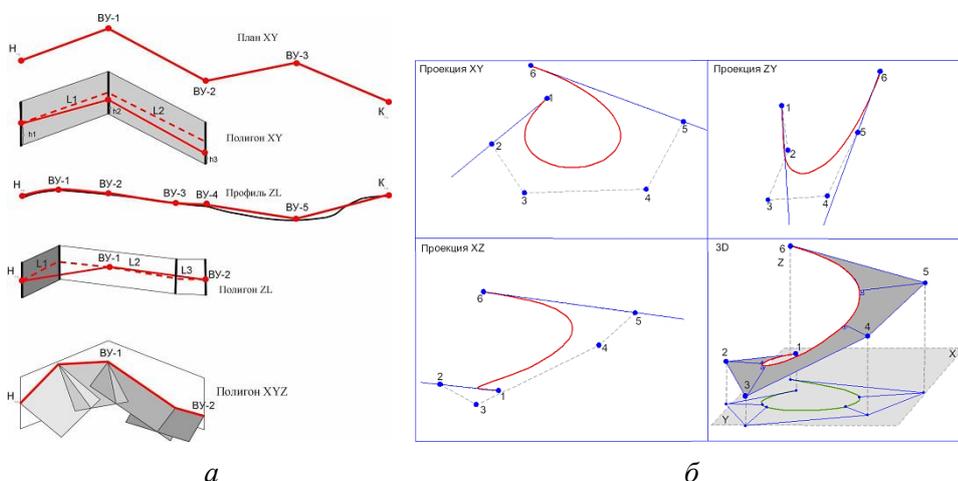


Рис. 2. Трасса, представленная в виде разложения на полигоны, в плане и профиле (а); криволинейный элемент опорной кривой поверхности автомобильной дороги в проекциях и 3D-изображении (б)

Существующие традиционные методы проектирования автомобильных дорог основаны на принципе структурных (ведущих) линий, образованных за счет их отложения от осевой линии или линии трассы.

Проектировщику приходится «вручную» искать наиболее экономичный вариант, изменяя при этом структурные линии в традиционных проекциях (план, профиль, поперечник), подбирая оптимальный объем земляных работ или слоев дорожной одежды. Это рутинная и трудоемкая задача, которая в современных системах практически не поддается автоматизации (рис. 3). Хотя при проектировании нового строительства автомобильных дорог эта задача хорошо решена, и оптимизация проводится по критериям нормативных требований (величина радиуса кривых в плане и профиле, видимость, условия ландшафтного проектирования и сочетания кривых в пространстве) в зависимости от категории дороги.

Еще одной важной задачей при проектировании ремонта и капитального ремонта является поиск положения трассы с учетом результирующих объемов работ с приведением их к единице длины участка. При этом в отдельных САПР, таких как InRoads/Road в рамках технологии BIM проектирования, эта задача решена частично, объем работ известен при поиске решений, однако критерии по оптимизации постоянно должен принимать проектировщик, что создает дополнительную трудоемкость и увеличивает сроки проектирования. В большинстве САПР объем строительных материалов рассчитывается только после составления проектной ведомости в результате расчета разности поверхностей ЦММ и ЦМП, построенных на основе триангуляции. При этом в существующей технологии ряд эмпирических свойств и физических параметров дороги не могут быть описаны алгоритмически, а значит, и быть учте-

ны в модели, например, такие как центробежное ускорение автомобиля, пространственная видимость и др., которые не напрямую влияют на выработку проектного решения, хотя важны для транспортно-эксплуатационных качеств ремонтируемого участка дороги.

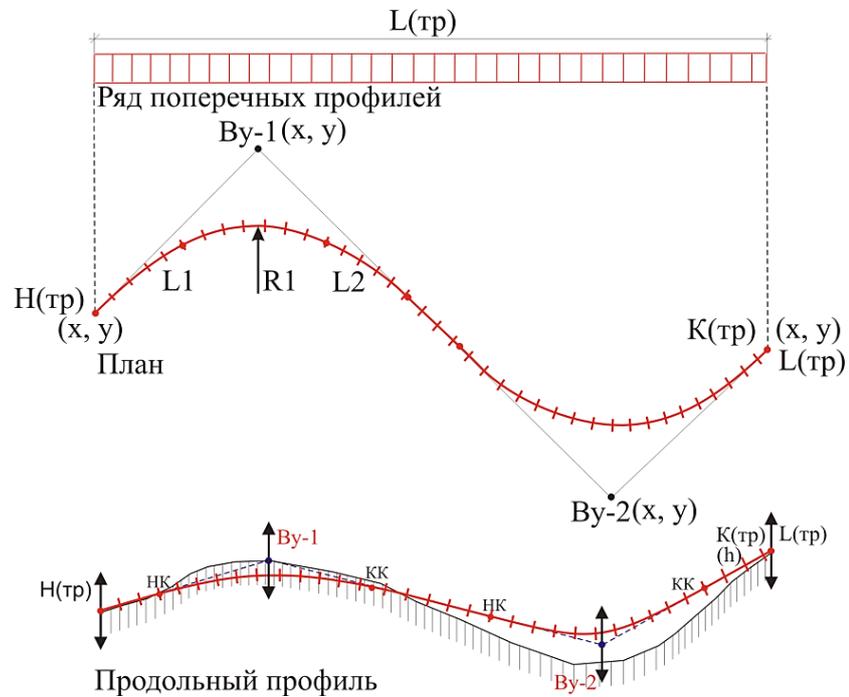


Рис. 3. Проектная линия трассы автомобильной дороги в плане (сверху) и в профиле (снизу)

Постановка задачи

Предлагаемый подход к решению задачи оптимизации проектирования ремонтов автомобильных дорог состоит в переходе к математическому моделированию автомобильных дорог на основе коробчатых поверхностей, образуемых движением незамкнутого гладкосклеенного криволинейного многогранника.

В качестве математического аппарата для решения задачи рассмотрим геометрию многогранных коробчатых криволинейных поверхностей на базовой циклической поверхности. Для этого в окружность произвольного радиуса можно вписать равносторонний многоугольник. В окружность вписывается хорда с углом 2φ , $\varphi = \pi/K$, где K – целое число, равное числу сторон равностороннего многоугольника. Повторяя хорду K -е количество раз путем поворота на угол 2φ , получаем замкнутый равносторонний многоугольник. Перемещая многоугольник вместе с образующей окружностью циклической поверхности [4–6] вдоль направляющей кривой, можно получить криволинейную многогранную коробчатую поверхность переменного поперечного сечения.

Изменяя параметр циклической поверхности, можно выделить некоторые подклассы коробчатых поверхностей:

- а) с постоянным поперечным сечением;
- б) с изменяемым поперечным сечением, образованные за счёт поступательного переноса образующей окружности с постоянным радиусом;
- в) прямолинейные поверхности переноса, образованные по прямой линии;
- г) плоскопараллельные с изменяющимся радиусом окружности и одновременно параллельными некоторой плоскости;
- д) конусного типа с линейным изменением радиуса образующей окружности и прямой линией, пролегающей через их центры;
- е) нормальные, образованные окружностями, лежащими в нормальных плоскостях линии центров;
- ж) коробчатые, образованные равноугольными многоугольниками в плоскостях пучка [7];
- з) закрученные, образованные равноугольными многоугольниками, вращающимися в образующей окружности при ее движении вдоль линии центров.

Векторное уравнение базовой циклической поверхности имеет вид [4]:

$$\rho(u, v) = r(u) + R_i(u) e(u, v), \quad (1)$$

где $\rho(u, v)$ – радиус-вектор циклической поверхности; $r(u)$ – радиус-вектор линии центров образующих окружностей циклической поверхности; $e(u, v) = e_0(u) \cos(v) + g_0(u) \sin(v)$ – вектор-функция окружности единичного радиуса в плоскости образующей окружности; $e_0(u), g_0(u)$ – ортогональные единичные векторы в плоскости образующей окружности; $R_i(u)$ – функция изменения радиуса образующих окружностей.

Положение плоскости образующей окружности при движении вдоль линии центров определяется вектором единичной нормали $n(u)$. Векторы $e_0(u), g_0(u), n(u)$ могут быть привязаны к треугольнику Френе линии центров – τ, ν, β направляющей кривой базовой циклической поверхности [4].

Для получения векторного уравнения k -й грани коробчатой поверхности в уравнении (1) необходимо уравнение образующей окружности (второе слагаемое уравнения (1)) заменить уравнением k -й хорды равноугольного многоугольника. Вектор нормали k -й хорды определяется вектором (рис. 4, а)

$$e_k = e(u, v_k) = e(u, 2k\varphi), \quad \varphi = \frac{\pi}{K}, \quad k = 0, 1, \dots, K - 1. \quad (2)$$

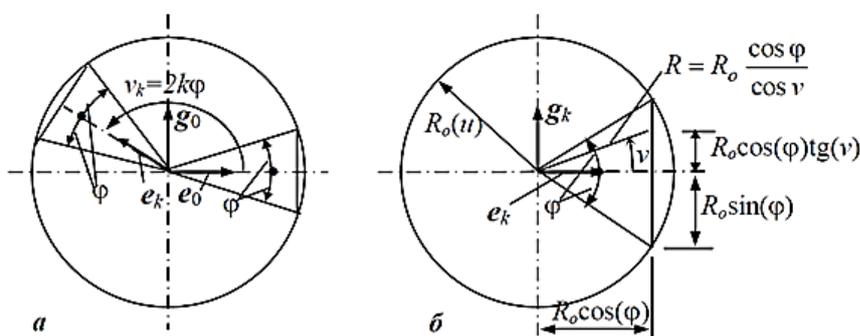


Рис. 4. Геометрические пояснения к выводу векторного уравнения коробчатой поверхности

В соответствии с рис. 4, \vec{b} векторное уравнение k -й хорды в полярной системе координат получим в виде

$$r_k(u, v) = R_k(u) \cos(\varphi) [e_k + g_k \operatorname{tg}(v)] = R(u, v) e(u, v, k), \quad -\varphi \leq v \leq \varphi, \quad (3)$$

где

$$R(u, v) = R_0(u) \frac{\cos(\varphi)}{\cos(v)}; \quad g_k = g(u, v_k) = g(u, 2k\varphi) = -e_0 \sin(2k\varphi) + g_0 \cos(2k\varphi);$$

$$e(u, v, k) = e_k(u) \cos(v) + g_k(u) \sin(v) = e_0(u) \cos(v + 2k\varphi) + g_0(u) \sin(v + 2k\varphi).$$

Тогда получаем векторное уравнение k -й грани коробчатой поверхности

$$\rho_k(u, v) = r(u) + r_k(u, v) = r(u) + R(u, v) e(u, v, k). \quad (4)$$

Уравнение (4) является уравнением поверхности с системой плоских координатных линий, где $r(u)$ – векторное уравнение направляющей кривой; $R(u, v)$ – уравнение плоской координатной линии в полярной системе координат в плоскости с нормалью в плоскости $n(u)$. Геометрия этого класса рассмотрена в работах [8, 9].

Для получения конкретных формул в работе [4] задаются: уравнение линии центров базовой циклической поверхности $r(u)$, закон изменения радиуса образующей окружности $R(u)$, функция нормали плоскости образующей окружности $n(u)$, функции ортогональной системы прямоугольных координат в плоскости образующей окружности $e_0(u)$, $g_0(u)$. Полученные векторные уравнения [10] использовались для построения поверхностей в системе Mathcad. В частности, на рис. 5 представлены криволинейные коробчатые многогранные поверхности с различным числом граней, с образующими постоянного и переменного радиуса, в том числе закрученные коробчатые поверхности. Здесь за линию центров образующих окружностей принимается синусоида $x = u$, $y = a \sin(u)$ для $a = 0,75$, $u = 0 - 2\pi$. Отметим, что в статье [11] рассматриваются аналогичные поверхности с системой плоских образующих кривых в нормальной плоскости направляющей кривой, что позволяет использовать полученные векторные уравнения с целью математического моделирования поверхности автомобильной дороги.

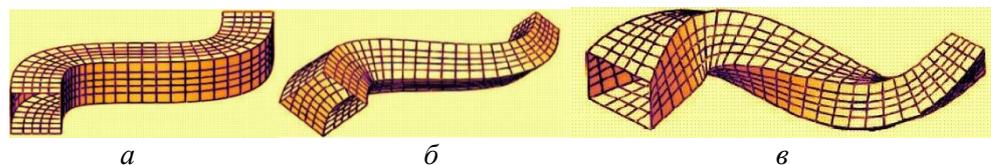


Рис. 5. Поверхности постоянного сечения (а); радиус образующей окружности базовой поверхности меняется линейно (б); представлены закрученные коробчатые поверхности с параметрами поверхностей, аналогичными поверхностям б (в)

Заключение

В работах [12, 13] был подробно исследован математический аппарат пространственного моделирования трасс автомобильных дорог, установлена

связь между эмпирическими данными, полученными в ходе многолетних наблюдений за пространственным сочетанием кривых в плане и профиле при проектировании автомобильных дорог, и понятием зрительной ясности и плавности ведущих линий (кромки, бровки), их влиянием на психоэмоциональное состояние водителей, видимость, правильное распознавание направления движения (особенно при высоких скоростях движения) и в конечном счете на безопасность.

Установлена связь между традиционными понятиями – зрительной ясностью и плавностью трассы автомобильной дороги и математическим свойством – кручением пространственной кривой Безье 5-й степени. Построены графики зависимости сочетания кривых в плане и продольном профиле с установлением идеального сочетания (плоские кривые) и допустимыми отклонениями (пространственные кривые).

Представлены рекомендации по трассированию автомобильных дорог средствами автоматизированного проектирования с использованием составных кривых Безье 5-й степени, позволяющие исключить провалы пространственной видимости, зрительную ясность и плавность вновь проектируемых автомобильных дорог. Данные рекомендации являются обобщением хорошо известных требований ландшафтного проектирования на основе аппарата плоских кривых [14, 15]. Однако при моделировании ремонтов и капитальных ремонтов данный математический аппарат приводит к увеличению сметной стоимости строительства автомобильных дорог.

В результате проведенного исследования, представленного в настоящей статье, предлагается использование нового математического аппарата – пространственного моделирования трасс автомобильных дорог при ремонтах и капитальных ремонтах на основе коробчатых поверхностей, образуемых движением незамкнутого многогранника. Данная математическая модель может использоваться в технологии информационного моделирования (ВІМ моделирования) автомобильных дорог.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Скворцов А.В.* Триангуляция Делоне и её применение. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002. 128 с.
2. *Скворцов А.В.* Построение сверхбольшой триангуляции // Известия вузов. Физика. 2002. № 6. С. 22–25.
3. *Бойков В.Н., Шумилов Б.М.* Сплаины в трассировании автомобильных дорог. Томск : Изд-во ГУ Том. ЦНТИ, 2001. 164 с.
4. *Иванов В.Н.* Геометрия циклических поверхностей // Сборник научных трудов аспирантов инженерного факультета. Вып. VIII. Москва : РУДН, 1971. С. 137–142.
5. *Ivanov V.N.* The problems of the geometry and the architectural design of shells based on cyclic surfaces // Spatial structures in new and renovation projects of buildings and construction; theory, investigation, design, erection : Proceedings international congress ICSS-98, June 22–26, 1998, Moscow, Russia. V. 2. Moscow : CSRCR, 1998. С. 539–546.
6. *Иванов В.Н.* Циклические поверхности (геометрия, классификация и конструирование оболочек) // Архитектура оболочек и прочностной расчет тонкостенных строительных и машиностроительных конструкций сложной формы : труды Международной научной конференции, Москва, 4–8 июня 2001 г. Москва : Изд-во РУДН. С. 127–134.
7. *Иванов В.Н.* Геометрия и конструирование оболочек на основе поверхностей с системой координатных линий в плоскостях пучка // Пространственные конструкции зданий и со-

- оружений. Вып. 9 / Сборник научных трудов МОО «Пространственные конструкции». Москва : Девятка ПРИНТ, 2004. С. 26–35.
8. *Иванов В.Н.* Некоторые вопросы теории поверхностей с семейством плоских координатных линий // Расчет оболочек строительных конструкций. Москва : РУДН, 1977. С. 37–48.
 9. *Иванов В.Н.* Некоторые проблемы геометрии поверхностей с системой плоских координатных линий // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2010. № 3. С. 6–15.
 10. *Иванов В.Н.* Векторные уравнения при построении поверхностей в системе «MathCad» // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2005. № 2 (12). С. 90–92.
 11. *Багоудинова А.Г., Золотонос Я.Д., Мустакимова С.А.* Геометрическое моделирование сложных поверхностей пружинно-витых каналов теплообменных устройств // Известия КГАСУ. Серия: Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение. 2011. № 4 (18). С. 182–185.
 12. *Елугачёв П.А.* Пространственное трассирование автомобильных дорог кривыми Безье : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва : МАДИ, 2007. 218 с.
 13. *Бойков В.Н.* Теоретические основы и практические методы автоматизированного трассирования реконструируемых автомобильных дорог : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Москва : МАДИ, 1999. 379 с.
 14. *Бойков В.Н., Елугачёв М.А., Елугачёв П.А.* Применение кривых Безье при трассировании автомобильных дорог // НИТ в Дорожной отрасли. 2005. № 3. С. 17–20.
 15. *Бойков В.Н., Елугачев П.А., Крысин П.С.* Актуальность метода пространственного трассирования автомобильных дорог // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2006. № 1. С. 145–149.

REFERENCES

1. *Skvortsov A.V.* Triangulyatsiya Delone i ee primeneniye [Delaunay triangulation and its application]. Tomsk: TSUAB, 2002. 128 p. (rus)
2. *Skvortsov A.V.* Postroeniye sverkhbol'shoi triangulyatsii [Construction of an extra large triangulation]. *Izvestiya vuzov. Fizika*. 2002. No. 6. Pp. 22–25. (rus)
3. *Boikov V.N., Shumilov B.M.* Splainy v trassirovaniy avtomobil'nykh dorog [Splines in routing of automobile roads]. Tomsk, 2001. 164 p. (rus)
4. *Ivanov V.N.* Geometriya tsiklicheskih poverkhnostei [Geometry of cyclic surfaces]. In: *Sbornik nauchnykh trudov aspirantov inzhenernogo fakul'teta (Coll. Papers of Research Assistants of Engineering Faculty)*. Moscow, 1971. No. 8. Pp. 137–142. (rus)
5. *Ivanov V.N.* The problems of the geometry and the architectural design of shells based on cyclic surfaces. In: *Proc. Int. Congr. 'Spatial Structures in New and Renovation Projects of Buildings and Construction; Theory, Investigation, Design, Erection'*, June 22–26, Moscow, 1998. V. 2. Pp. 539–546.
6. *Ivanov V.N.* Tsiklicheskie poverkhnosti (geometriya, klassifikatsiya i konstruirovaniye obolochek) [Cyclic surfaces (geometry, classification and design of shells)]. In: *Arkhitektura obolochek i prochnostnoi raschet tonkostennykh stroitel'nykh i mashinostroitel'nykh konstruktssii slozhnoi formy trudy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Proc. Sci. Conf. 'Architecture of Shells and Strength Analysis of Thin-Walled Buildings and Engineering Structures of Complex Shape')*. Moscow, 2001. Pp. 127–134. (rus)
7. *Ivanov V.N.* Geometriya i konstruirovaniye obolochek na osnove poverkhnostei s sistemoy koordinatnykh linii v ploskostyakh puchka [Geometry and design of shells based on surfaces with coordinate lines in beam planes]. In: *Sbornik nauchnykh trudov "Prostranstvennyye konstruktssii" (Coll. Papers 'Spatial Structures')*. Moscow: Devyatka PRINT, 2004. No. 9. Pp. 26–35. (rus)
8. *Ivanov V.N.* Nekotorye voprosy teorii poverkhnostei s semeistvom ploskikh koordinatnykh linii [Issues of theory of surfaces with a family of plane coordinate lines]. In: *Raschet obolochek stroitel'nykh konstruktssii*. Moscow: RUDN, 1977. Pp. 37–48. (rus)

9. *Ivanov V.N.* Nekotorye problemy geometrii poverkhnosti s sistemoi ploskikh koordinatnykh linii [Problems of surface geometry with a system of plane coordinate lines]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksii i sooruzhenii*. 2010. No. 3. Pp. 6–15. (rus)
10. *Ivanov V.N.* Vektornye uravneniya pri postroenii poverkhnosti v sisteme MathCad [Vector equations in surface construction in MathCad]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*. 2005. No. 2 (12). Pp. 90–92. (rus)
11. *Bagoutdinova A.G., Zolotonosov Ya.D., Mustakimova S.A.* Geometricheskoe modelirovanie slozhnykh poverkhnosti pruzhinno-vitykh kanalov teploobmennyykh ustroystv [Geometric modeling of complex surfaces of spring-twisted channels of heat exchange devices]. *Izvestiya KGASU. Seriya: Teplosnabzhenie, ventilyatsiya, konditsionirovanie vozdukha, gazosnabzhenie i osveshchenie*. 2011. No. 4 (18). Pp. 182–185. (rus)
12. *Elugachev P.A.* Prostranstvennoe trassirovanie avtomobil'nykh dorog krivymi Bez'e: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Road spatial routing using Bezier curves. PhD Thesis]. Moscow: MADI, 2007. 218 p. (rus)
13. *Boikov V.N.* Teoreticheskie osnovy i prakticheskie metody avtomatizirovannogo trassirovaniya rekonstruiemykh avtomobil'nykh dorog: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni doktora tekhnicheskikh nauk [Theoretical foundations and practical methods of road automated routing. DSc Thesis]. Moscow: MADI, 1999. 379 p. (rus)
14. *Boikov V.N., Elugachev M.A., Elugachev P.A.* Primenenie krivykh Bez'e pri trassirovanii avtomobil'nykh dorog [Road lay-out using Bezier curves]. *NiT v Dorozhnoi otrasli*. 2005. No. 3. Pp. 17–20. (rus)
15. *Boikov V.N., Elugachev P.A., Krysin P.S.* Aktual'nost' metoda prostranstvennogo trassirovaniya avtomobil'nykh dorog [Relevance of road spatial lay-out]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2006. No. 1. Pp. 145–149. (rus)

Сведения об авторах

Elugachev Pavel Aleksandrovich, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, nauka@tsuab.ru

Esharov Elzarbek Asanovich, канд. физ.-мат. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, elzare78@mail.ru

Shumilov Boris Mikhailovich, докт. физ.-мат. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

Kuduev Altynbek Zhililbekovich, канд. техн. наук, доцент, Ошский государственный университет, 722000, Кыргызская Республика, г. Ош, ул. Ленина, 331.

Authors Details

Pavel A. Elugachev, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2 Solyanaya Sq., Tomsk, 634003, Russia, nauka@tsuab.ru

Elzarbek A. Esharov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2 Solyanaya Sq., Tomsk, 634003, Russia, elzare78@mail.ru

Boris M. Shumilov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2 Solyanaya Sq., Tomsk, 634003, Russia.

Altynbek Zh. Kuduev, PhD, A/Professor, Osh State University, 331, Lenin Str., 722000, Osh, Kyrgyz Republic.