Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный
архитектурно-строительный университет

ВЕСТНИК

ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Том 21

№ 6 2019

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Издается с апреля 1999 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ

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

Решение Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от 17.06.2011 г.

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

Научное издание

ВЕСТНИК ТГАСУ № 6 – 2019

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

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

Редакторы Т.С. Володина, Г.Г. Семухина.
Переводчик М.В. Воробьева. Дизайн Е.И. Кардаш.
Технический редактор Н.В. Удлер.
Подписано в печать 24.12.2019. Формат 70×108/16. Гарнитура Таймс.
Уч.-изд. л. 15,62. Усл. печ. л. 18,55. Тираж 200 экз.
Зак. № 237.

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, 2019

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation

VESTNIK
TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO
ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA

JOURNAL
OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Volume 21

№ 6 2019

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

INFORMATION FOR AUTHORS AND READERS

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

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

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

Scientific Edition

VESTNIK TOMSKOGO GOSUDARSTVENNOGO ARKHITEKTURNO-STROITEL'NOGO UNIVERSITETA
JOURNAL OF CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE № 6 – 2019

Print ISSN 1607-1859 Online ISSN 2310-0044

The journal is registered by the Federal Agency on Press and Mass Communications of the Russian Federation PI N77-9483, 30 July, 2001.

Editors T.S. Volodina, G.G. Semukhina
Translator M.V. Vorob'eva. Design: E.I. Kardash
Technical editor N.V. Udler
Passed for printing: 24.12.2019. Paper size: 70×108/16. Typeface: Times New Roman
Published sheets: 15,62. Conventional printed sheets: 18,55. Print run: 200 copies
Order N 237.

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, 2019

С О Д Е Р Ж А Н И Е

АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

Поляков Е.Н., Дончук Т.В. Творческие работы Эктора Гимара начала XX столетия (ТГАСУ, г. Томск) 9
Стояк Ю.А., Романова Л.С. Особенности организации архитектурной среды города-завода Воткинска в XIX – начале XX в. (ТГАСУ, г. Томск) 30
Залесов В.Г., Мамедова Э.Э., Манонина Т.Н. Лагерный сад: архитектурно-планировочное формирование городского парка Томска в конце XIX в. (ТГАСУ, г. Томск) 42
Скрябин П.В. К методологии градостроительного планирования Юга Сибири (СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург) 59
Рядова М.Н. Применение ГИС-технологий для сохранения объектов ландшафтной архитектуры (СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург) 70
Скуднева М.В., Байдина А.А. Особенности формирования планировочной структуры города Бийска в XVIII – начале XX в. (НГАСУ, г. Новосибирск) 79

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Смоляго Г.А., Фролов Н.В. Современные подходы к расчету остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов с коррозионными повреждениями (БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород) 88
Коянкин А.А., Митасов В.М., Петухова И.Я., Цхай Т.А. Экспериментальные исследования влияния поэтапного возведения и загружения сборно-монолитного изгибаемого элемента на его напряжённо-деформированное состояние (СФУ, г. Красноярск, НГАСУ, г. Новосибирск) 101

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Скрипникова Н.К., Власов В.А., Семеновых М.А., Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В. Исследование возможности использования углеродсодержащего техногенного сырья при производстве керамических изделий (ТГАСУ, г. Томск) 115
Верещагин В.И., Могилевская Н.В., Сафонова Т.В. Спекание и прочность стеновой керамики и фаянса из композиций глинистого и диопсидсодержащего сырья (НИ ТПУ, г. Томск, СФУ, г. Красноярск, ИрНИТУ, г. Усолье-Сибирское) 122
Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Гафаров Р.Е., Семеновых М.А. Получение микросфер на основе материалов алюмосиликатной группы (ТГАСУ, г. Томск) 134
Куликова А.А., Демьяненко О.В., Сорокина Е.А., Копаница Н.О. Комплексные модифицирующие добавки для строительных смесей на цементной основе (ТГАСУ, г. Томск) 140

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Павлов М.В., Карпов Д.Ф. Исследование влияния различных факторов на тепловую мощность лучисто-конвективной системы отопления зимней теплицы (ВоГУ, г. Вологда) 149
Белоус А.Н., Дмитренко Е.А., Гончарова Я.Ю., Белоус О.Е. Снижение температурно-влажностного воздействия на железобетонные конструкции силосов для хранения цементного клинкера (ДонНАСА, г. Макеевка, ДНР) 162

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Вялкова Е.И., Глущенко Е.С., Шалабодов А.В., Шалабодов А.В., Осипова Е.Ю. Особенности проектирования локальных очистных сооружений (ТИУ, г. Тюмень, ТГАСУ, г. Томск) 174

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Таюкин Г.И., Фурсов В.В., Балюра М.В. Воздействие сезонного промерзания грунтов на фундаменты строящихся объектов (терминал хранения сжиженных углеводородов) (ТГАСУ, г. Томск) 186
Соколов М.В., Простов С.М., Герасимов О.В. Прогноз геомеханического состояния закрепляемого грунтового основания горнотехнического здания (КузГТУ, г. Кемерово) 199

ХРОНИКА. СОБЫТИЯ

К 90-летию Наума Петровича Абовского 211

C O N T E N T S

ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING

Polyakov E.N., Donchuk T.V. Hector Guimard's works at the beginning of the 20th century (Tomsk) 9

Stoyak Yu.A., Romanova L.S. Votkinsk city-plant architectural space in the 19th and early 20th centuries (Tomsk) 30

Zalesov V.G., Mamedova E.E., Manonina T.N. Lagerny Park: architecture and planning late in the 19th century (Tomsk) 42

Skryabin P.V. Methodology of regional planning of Southern Siberia (St.-Petersburg) 59

Rjadova M.N. Application of GIS technologies for conservation of landscape architecture objects (St.-Petersburg) 70

Skudneva M.V., Baydina A.A. Planning structure formation of Biysk in the 17–20th centuries (Novosibirsk) 79

BUILDING AND CONSTRUCTION

Smolyago G.A., Frolov N.V. Modern approaches to residual life calculation of flexural steel concrete elements with corrosion damage (Belgorod) 88

Koyankin A.A., Mitasov V.M., Petuhova I.Ya., Tshay T.A. Stress-strain state of prefabricated monolithic bending element at gradual installation and loading (Krasnoyarsk, Novosibirsk) 101

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Skripnikova N.K., Vlasov V.A., Semenovykh M.A., Volokitin G.G., Shekhovtsov V.V. Carbon-containing technogenic raw materials in ceramic product production (Tomsk) 115

Vereshchagin V.I., Mogilevskaya N.V., Safonova T.V. Sintering and durability of clay- and diopside-containing ceramic and faience wall materials (Tomsk, Krasnoyarsk, Usolye-Sibirskoye) 122

Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Gafarov R.E., Semenovykh M.A. Aluminosilicate microsphere production (Tomsk) 134

Kulikova A.A., Dem'yanenko O.V., Sorokina E.A., Kopanitsa N.O. Complex modifying additives for cement construction mixes (Tomsk) 140

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

Pavlov M.V., Karpov D.F. Influence of various factors on radiant and convection heating of greenhouse (Vologda).....149
Belous A.N., Dmitrenko E.A., Goncharova Ya.Yu., Belous O.E. Reduction of temperature-humid impact on reinforced concrete structures for storing cement clinker (Makeevka).....162

WATER SUPPLY, SEWERAGE, BUILDING SYSTEMS OF WATER RESOURCE PROTECTION

Vyalkova E.I., Glushchenko E.S., Shalabodov A.V., Shalabodov A.V., Osipova E.Yu. Local sewage treatment unit engineering (Tyumen, Tomsk).....174

BASES, FOUNDATIONS AND SUBSTRUCTURES

Tayukin G.I., Fursov V.V., Balura M.V. Seasonal soil freezing impact on foundations of buildings (liquefied hydrocarbon depot terminal) (Tomsk).....186
Sokolov M.V., Prostov S.M., Gerasimov O.V. Prediction of geomechanical state of stabilized soil foundation of mine engineering building (Kemerovo).....199

АРХИТЕКТУРА
И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 72.036 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-9-29

Е.Н. ПОЛЯКОВ, Т.В. ДОНЧУК,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

ТВОРЧЕСКИЕ РАБОТЫ ЭКТОРА ГИМАРА НАЧАЛА XX СТОЛЕТИЯ

Статья посвящена второму этапу архитектурно-дизайнерской деятельности Эктора (Гектора) Гимара (1867–1942), в течение которого окончательно сформировался его уникальный «стиль Гимар» (Le Style Guimar). В этот период (1900–1912 гг.) зодчий, следуя традициям «тотального дизайна», занимался не только проектированием жилых и общественных зданий, но и декоративным оформлением их фасадов и интерьеров, дизайном мебели, посуды, элементов технического оборудования. Им был составлен каталог металлических декоративных элементов для их серийного изготовления, опубликован набор рекламных открыток с изображениями его лучших произведений. Рассмотрены наиболее известные архитектурные проекты, выполненные в «стиле Гимар», – дом Jassede (ав. Де Версаль-Ланкре, 142, 1903 г.), отель Дерон-Левент (Виа де ла Реоньюн, 28, 1907 г.), Кастель-д'Оржеваль (деп. Эссон, 1904–1905 гг.), вилла La Surprise (деп. Cabourg, 1903–1907 гг.), Hôtel Guimard («Отель Гимар», 1909–1912 гг.), Hôtel Mezzara (ул. Жан-де-ла-Фонтейн, 60, 1910–1911 гг.).

Ключевые слова: Франция; Эктор Гимар; дизайнерские и архитектурные работы 1900–1912 гг.; Le Style Guimar.

Для цитирования: Поляков Е.Н., Дончук Т.В. Творческие работы Эктора Гимара начала XX столетия // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 9–29.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-9-29

E.N. POLYAKOV, T.V. DONCHUK,
Tomsk State University of Architecture and Building

HECTOR GUIMARD'S WORKS AT THE BEGINNING OF THE 20th CENTURY

The article is devoted to the second stage of architectural and design activity of Hector (Hector) Guimar (1867–1942), during which his unique style was finally formed. During the period from 1900 to 1912, following the traditions of «total design», the architect was engaged not only in the design of residential and public buildings, but also in the decorative design of their facades and interiors, furniture, tableware, elements of technical equipment. He compiled a catalog of metal decorative elements for their serial production, published a set of advertis-

© Поляков Е.Н., Дончук Т.В., 2019

ing cards of his best works. The most well-known architectural designs are made in Guimard's style, such as the house Jassede at Versailles (1903), Hotel Deron-Levent (1907), Castel d'Orgeval (1904–1905), Villa Surprise (1903-1907), Hôtel Guimard (1909–1912), Hôtel Mezzara (1910–1911).

Keywords: France; Hector Guimard; design and architectural works of 1900–1912; Le Style Guimar.

For citation: Polyakov E.N., Donchuk T.V. Tvorcheskie raboty Ektora Gimara nachala XX stoletiya [Hector Guimard's works at the beginning of the 20th century]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 9–29.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-9-29

Настоящая статья продолжает цикл работ, посвященных архитектурно-дизайнерскому наследию Гектора (Эктора) Жермена Гимара (1867–1942), создателя французской версии стиля модерн – Le Style Guimar (рис. 1).

Рис. 1. Эктор Гимар (1867–1942) (URL: https://images.collection.cooperhewitt.org; https://radikal.ru/lfp/i034.radikal.ru/0802/43/9a99ddd434f4. jpg/htm; https://architectsbyphotographers.files.wordpress.com/2014/01/guimard.jpg

Начальному этапу его творческой деятельности, охватившему конец XIX столетия, была посвящена наша предыдущая статья [1]. В ней было от-

мечено, что французской версии стиля модерн в нашей стране, вплоть до начала 80-х гг. прошлого столетия, практически не уделялось внимания. Краткую информацию о нем удалось найти лишь в интернете [2–10]. В этой и в последующих наших работах будет продолжено рассмотрение наиболее интересных эпизодов биографии и профессионального становления Эктора Гимара. Также будет выполнен обзор его наиболее значимых творческих произведений XX столетия, выполненных в его знаменитом «стиле Гимар».

В статье [1] нами было особо отмечено, что доходный дом Castel Beranger (1898–1900 гг.) продемонстрировал главный концептуальный принцип творчества французского зодчего – геометрические очертания конструкций и декоративных деталей во всех его зданиях неизменно выполнялись с символикой «удар бича», увиденным Эктором в «Доме Тасселя» (арх. В. Орта, Бельгия). Следует также отметить, что декоративные элементы, украсившие фасады и интерьеры Castel Beranger, изготавливались серийно. Практически все детали декора (оконные и дверные рамы, ограждения лестниц и балконов, камины, дымовые и вентиляционные трубы, мозаичные панно, рисунки витражей и обоев, дверные ручки) Э. Гимар разрабатывал лично, следуя принципу «тотального дизайна». Именно с этого проекта у начинающего архитектора появилось много заказов, которые он продолжал выполнять в «стиле Гимар», следуя идеалам гармонии и «непрерывного движения»: «В постройках Гимара изысканные изгибы линий, где даже в большой композиции не найти ни одного *угла,* как бы повторяют формы живой природы. Внимание к эстетике “живого” порождает фонари, напоминающие не то ландыши, не то головы кузнечиков; появляются необычные, как бы парящие в воздухе решетки; угловые окна, напоминающие о “сторожевых” проемах в средневековых стенах…» [8].

Следуя модернистским принципам «тотального дизайна», Эктор занимался не только архитектурными проектами, но и выполнял работы в области графического и интерьерного дизайна. Он разрабатывал эскизы мебели и инженерного оборудования для интерьеров всех запроектированных им зданий: «Его собственный стиль («стиль Гимар») характеризуется особой линией и игрой света и контрастов. Как автор проектов мебели он занимался одновременно и внутренней отделкой помещений, понимая их как части целостного художественного произведения, что приводило к появлению предметов внутреннего убранства необычной формы, некоторые из которых принадлежат к лучшим образцам французского ар нуво…» [2].

Оценив важность узнаваемости своего стиля, Гимар выпустил целую серию открыток с изображениями своих архитектурно-дизайнерских работ. Эти открытки стали своеобразными визитными карточками мастера и обеспечили Le Style Guimard широкую популярность (рис. 2).

Эктор Гимар также считается одним из основоположников «промышленной стандартизации». В 1907 г. был опубликован его каталог стандартных металлических элементов, используемых при проектировании зданий. А в 1920 г. Гимар разработал одну из первых линий массового производства мебели.

Приведем два наиболее ярких примера его дизайнерских работ. Это керамическая ваза Vase des Binelles (1903 г.) и бронзовая люстра, также выполненная в стиле модерн (1909–1910 гг.) (рис. 3).

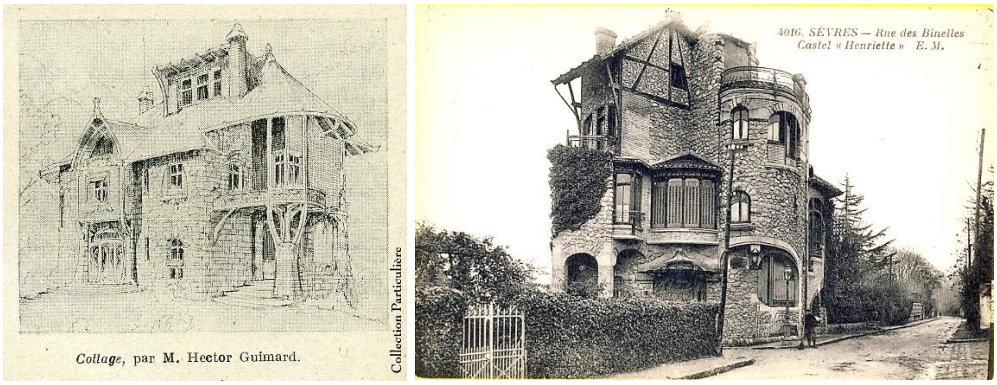


Рис. 2. Открытки с изображениями архитектурных произведений Э. Гимара (URL: http://www.hguimard.fr/wp-content/uploads/2015/05/g0012.png)

Рис. 3. Дизайнерские работы Эктора Гимара:
а – Vase des Binelles (1903 г.) [10] (URL: https: //collectionapi.metmuseum.org); *б* – люстра (1909–1910 гг., г. Париж, Музей Орсе) (URL:https: //a-la-belle. livejournal.com)

Монументальная Vase des Binelles имеет ярко выраженную «органическую» форму. Ее изящно изогнутые ручки, решенные в бельгийских традициях «удара бича», своим силуэтом напоминают чугунные решетки зданий и входных павильонов станций метро, выполненные в стиле Guimard. Особую оригинальность этой вазе придала ее облицовка: «Уникальная кристаллическая глазурь, изобретенная в конце XIX века, включает радужные кристаллические частицы, которые создают сверкающий эффект. Всего было изготовлено пять образцов этой модели…» [10].

Эскизы небольшой люстры (41×19 см) Э. Гимар сделал в 1909 г., а запатентовал их 18 августа 1910 г. В ее состав входит чеканная позолоченная бронза, цветное стекло, бисер, стеклянные трубки, латунь и медь. Сейчас эту люстру можно увидеть в парижском музее Орсе [3].

В своих дизайнерских работах Э. Гимар всегда стремился создавать довольно абстрактные фронтальные композиции, которые легко накладывались на керамическую панель (Maison Coilliot, 1896 г.), на обои (Castel Beranger, 1898 г.), на металлический лист (Castel Henriette, 1899 г.), на ткань (Hôtel Guimard, 1909 г.) или на цветное стекло (Hôtel Mezzara, 1910–1911 гг.) (рис. 4).

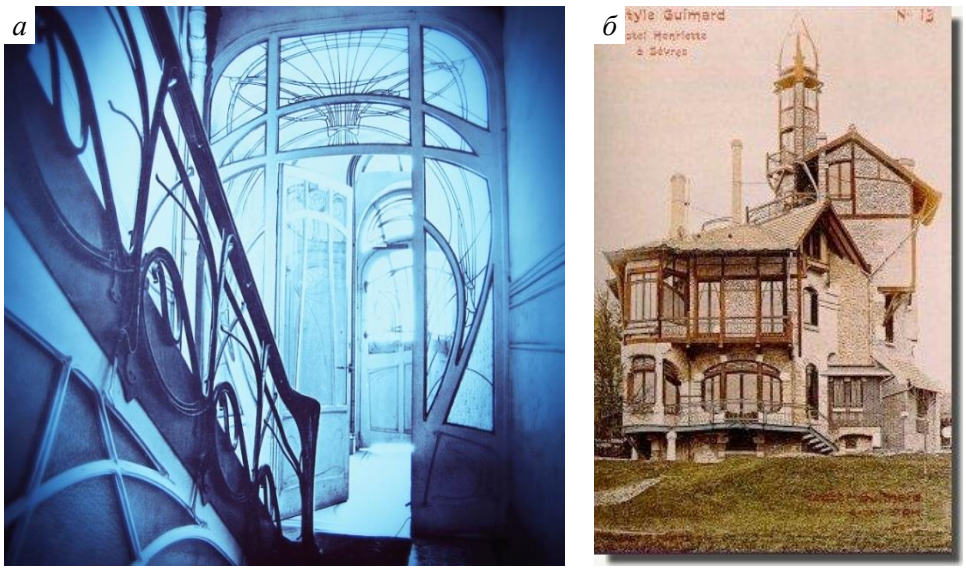


Рис. 4. Интерьер вестибюля Maison Coilliot (г. Лилль) (*а*) (URL: https://i.pinimg.com/736x/bd/22/2f/bd222f0083c3d8a1534ce5409483fe25--art-nouveau-architecture-planet-earth.jpg); Castel Henriette (1899 г.) (*б*) (URL: http://lartnouveau.com/artistes/guimard/documents/cpa_france/ cast_henr3.jpg)

В этот же период, помимо выполнения художественно-дизайнерских работ, Эктор Гимар продолжил свои «бионические» эксперименты в проектах жилых и общественных зданий. В некоторых проектах он ограничился лишь декоративными деталями, в других экспериментировал с самыми различными строительными материалами. В нескольких постройках он всерьез увлекся «бионическим» моделированием их конструктивной основы и организацией «свободного» их внутреннего пространства.

Например, в двукрылом многоквартирном ***доме Jassede на авеню Де Версаль – Ланкре, 142 (1903–1905 гг.)*** он оставил каменно-кирпичные стены совершенно гладкими, без привычных «модернистских» декораций. Однако по его эскизам были выполнены решетчатые ограждения балконов и оригинальные козырьки над окнами мансардного этажа, напоминающие женские капоры или чепцы XVIII–XIX вв. (рис. 5).

Рис. 5. Многоквартирный дом на авеню Де Версаль – Ланкре, 142 (1903–1905 гг.):
а – видовая точка; *б* – декоративные детали мансарды и балконов (URL: https://www.liveinternet.ru/users/4697721/post206671136/)

В проекте парижского ***отеля Дерон-Левент (виа де ла Реоньюн, 28, 1907 г.)*** его автор основательно поработал над формой оконных проемов и, в подражание брюссельскому Дому Тасселя (арх. В. Орта, 1892–1893 гг.), сделал «волнообразные» эркеры и балконы с темными решетками, изготовленными из кованого железа в лучших традициях «стиля Гимар»: «Долгие томные извивы и тонкие стебли идеально соответствовали новым технологиям металлообработки, в частности кованой стали, выступающей одновременно и как материал, и как элемент декора…» [5].

Каменные стены здания решены в серо-бежевых тонах. Окна расположены симметрично, однако все они отличаются по форме. Скромный декор карнизов и балконных решеток выполнен из темного кованого железа.

«Весь вопрос в том, чтобы отвести вещи ее надлежащее место: иной орнамент, расточаемый на фасаде, утомляет зрителя, но он же очаровал бы, если бы появлялся лишь в нескольких местах, наиболее для него естественных. В этом народы Востока были нашими учителями. Как бы богата ни была у них декорация, она никогда не нарушает впечатления, производимого массами, и всегда оставляет паузы, которые к тому же вполне обусловлены конструкцией. Эта декорация не только не утомляет, но, напротив, всегда желанна, потому что помещена в условиях, для нее выгодных»…» [10] (рис. 6).

Одним из самых ранних примеров открытого («свободного») пространства в западноевропейской архитектуре стала планировка особняка ***Кастель-д'Оржеваль (департамент Эссон, 1904–1905 гг.)***.

Особняк расположен в центре обширного приусадебного участка треугольной формы. Генеральный план образован радиальной сеткой основных

композиционных осей и кривыми дорожками, отдаленно напоминающими экзотические цветы или крылья бабочек (рис. 7).

Рис. 6. Отель Дерон-Левент (г. Париж, виа де ла Реоньюн, 28**,** 1907 г.) (URL: https://www.liveinternet.ru/users/4697721/post206671136/)

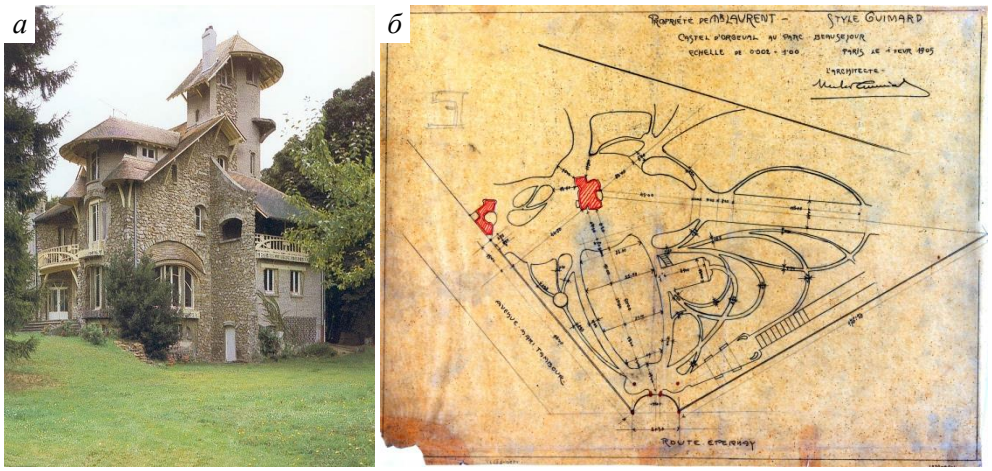


Рис. 7. Видовая точка (*а*); схема генерального плана усадьбы Кастель-д'Оржеваль (*б*) (URL: http://www.dido.ru/o/00/10/1017/1.jpg; https://images.collection.cooperhewitt.org/41367_d88d8016e8aeb49c_x.jpg)

Фасады особняка облицованы грубым природным камнем, оконные и дверные проемы имеют криволинейные обрамления. Зодчий применил здесь

многоярусную «восточную» кровлю и большие по площади дверные и оконные проемы. Все помещения этого необычного здания условно разделены стальными несущими стенами. Архитектор первым обратил внимание на большие стеклянные окна и подметил одни из ключевых принципов модерна: открытость здания, свободная планировка, огромные окна с льющимся внутрь естественным светом. Позже открытую или «свободную» планировку использовали в своих произведениях многие известные архитекторы: «Cas-tel d'Orgeval (1905) (демонстрирует) нам сильный асимметричный "свободный план", созданный за 25 лет до теории Корбюзье…» [6] (рис. 8, 9).

Рис. 8. Видовые точки Кастель-д'Оржеваль (URL: http://www.architime.ru/pictures/hector_guimard/8big.gif; https://ic.pics.livejournal.com/agritura/16089606/7590449/7590449_900.jpg)

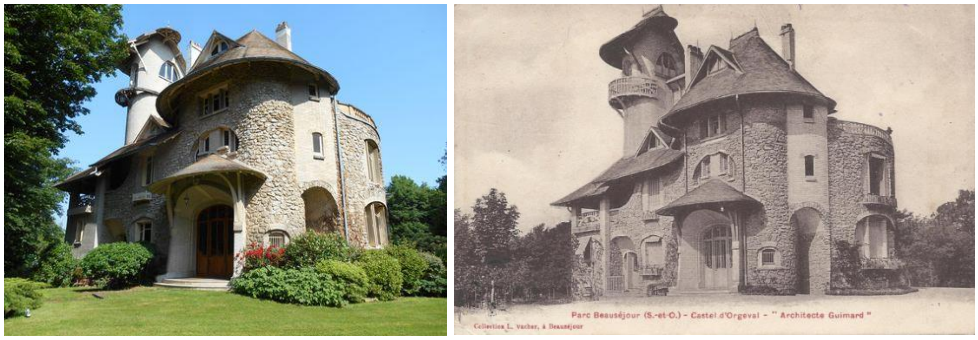


Рис. 9. Видовая точка, открытка с изображением Кастель-д'Оржеваль (URL: https://i.arts.in.ua/i/669/f_gektor-gimar-zamok-Orgeval1904_makovkin_ruslan_1333517663.jpg; http://www.hguimard.fr/wp-content/uploads/2014/06/g001-900x571.png)

Аналогичный архитектурный образ, напоминающий средневековый замок, был использован Э. Гимаром в ***вилле La Surprise («Сюрприз») (Нормандия, департамент Кабур, фр. Cabourg***, 1903–1907 гг.) (рис. 10).

В начале Второй мировой войны эта вилла была оккупирована немцами. На ее территории была установлена зенитная батарея, уничтоженная в 1944 г. В 1950 г. здание виллы было почти полностью разрушено.

Рис. 10. Вилла La Surpris (Нормандия, деп. Кабур, фр. Cabourg**,** 1903–1907 гг.) (URL: https://i.pinimg.com/736x/86/c7/50/86c750ad77195f01497427d24455e18e.jpg)

В 1909–1912 гг. Эктор Гимар строит ***Hôtel Guimard («Отель Гимар»)*** в качестве венчального подарка своей жене – дочери богатого американского банкира Э.Л. Оппенхайма (1841–1911), художнице Аделине Оппенхайм (псевдоним Addie) (1872–1960). На четвертом этаже дома были предусмотрены комнаты для занятий Аделины портретной живописью, для выставки и хранения ее картин (рис. 11).

а

б

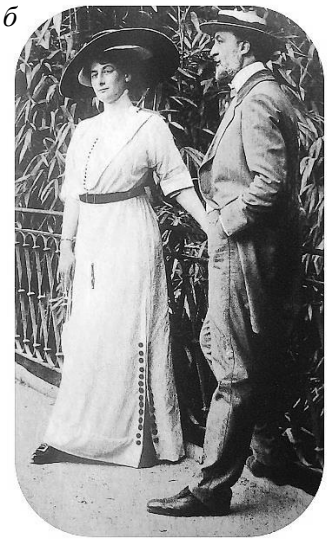


Рис. 11. Картина А. Оппенхайм «Ромео и Джульетта» (1900 г.), включенная в книгу «Женщины-художники мира 1905 года» (*а*); супружеская пара Гимар (1909 г.) (*б*) (URL: https://wiki2.org/en/Adeline_Oppenheim_Guimard)

Дом, в котором поселились супруги Гимар, занимает довольно неудобный участок земли треугольной формы на пересечении ул. Моцарта (Avenue Mozart) и завершающегося тупиком пер. Вилла Флора (Villa Flore) (XVI округ Парижа). Площадь участка не превышает 90 м^2. В этих стесненных условиях городской застройки архитекторы эпохи модерна были просто вынуждены обеспечивать оптимальные величины общей и жилой площадей за счет увеличения этажности здания. Поэтому «Отель Гимар» включает четыре этажа и мансарду.

Для удобства обслуживания клиентов и заказчиков приемный холл и рабочий кабинет хозяина размещались на первом этаже особняка, а его творческая мастерская и архив во избежание шума – на мансарде. Три средних этажа, со второго по четвертый, предназначались под нужды семьи. Гостиная и обеденный зал овальной формы располагались на втором этаже, спальные комнаты – на третьем, художественная мастерская Аделины, оснащенная огромным окном и галереей, – на четвертом этаже. С левой стороны холла располагалась лестничная клетка с лифтовой шахтой. Электрический лифт стал одной из главных новаций Hotel Guimard: «Это американское изобретение уже тогда активно использовалось в небоскребах США…» [9]. Эктор Гимар включил этот «предмет роскоши» в планировочную структуру своего сравнительно небольшого дома средней этажности, облегчив связь между этажами.

Небольшая площадь застройки позволила Э. Гимару не возводить несущих стен внутри здания. Всю нагрузку принял на себя треугольный контур наружных стен. Это дало возможность сделать внутреннюю планировку этажей «свободной». Оригинальной находкой автора являются также овальные («яйцеобразные») [6] очертания самых больших комнат (гостиной и обеденного зала на втором этаже, творческих мастерских и др.), оборудованных уникальными предметами мебели, органично вписавшимися в эти необычные комнаты. Разработкой дизайна мебели, как и фасадными декорациями, занимался хозяин особняка (рис. 12).

Фасады особняка традиционно выполнены из «парижского» серо-бежевого кирпича и камня. Эктор Гимар всегда старался строить свои дома так, чтобы их экстерьер продолжался соответствующим интерьером, а внешний вид дома и его «содержимое» находились в стилевой гармонии. Поэтому в облике «Отеля Гимар» прослеживаются элементы многих архитектурных стилей – французской готики, итальянского барокко, бельгийского модерна. Кроме того, Hotel Guimard ассоциируется с диким утесом или скалой. В этом видна параллель с каталонским Modernizme, творчеством Антонио Гауди (1852–1926), который, как и Гимар, считал, что «человеческий мир есть продолжение мира природы, потому архитектура должна в полной мере соответствовать ему». Следуя принципам «тотального дизайна», Эктор Гимар очень много времени посвящал декоративному оформлению фасадов своих зданий.

Главный вход в отель, украшенный массивным каменным порталом с «растительными» барельефами, «стильной» металлической решеткой и адресным номером, был устроен со стороны ул. Моцарта (рис. 13).

Обращает на себя внимание длинный балкон-галерея на четвертом этаже, увенчанный двумя фонарями. Подобные фонари уже были апробированы Э. Гимаром в многоквартирном доме Jassede (г. Париж, авеню Де Версаль –

Ланкре, 142, 1903 г.), который был упомянут нами в предыдущей статье [1] (рис. 14). Совершенно иначе выглядела и конструкция оконной рамы художественной мастерской А. Оппенхайм на четвертом этаже (рис. 15).

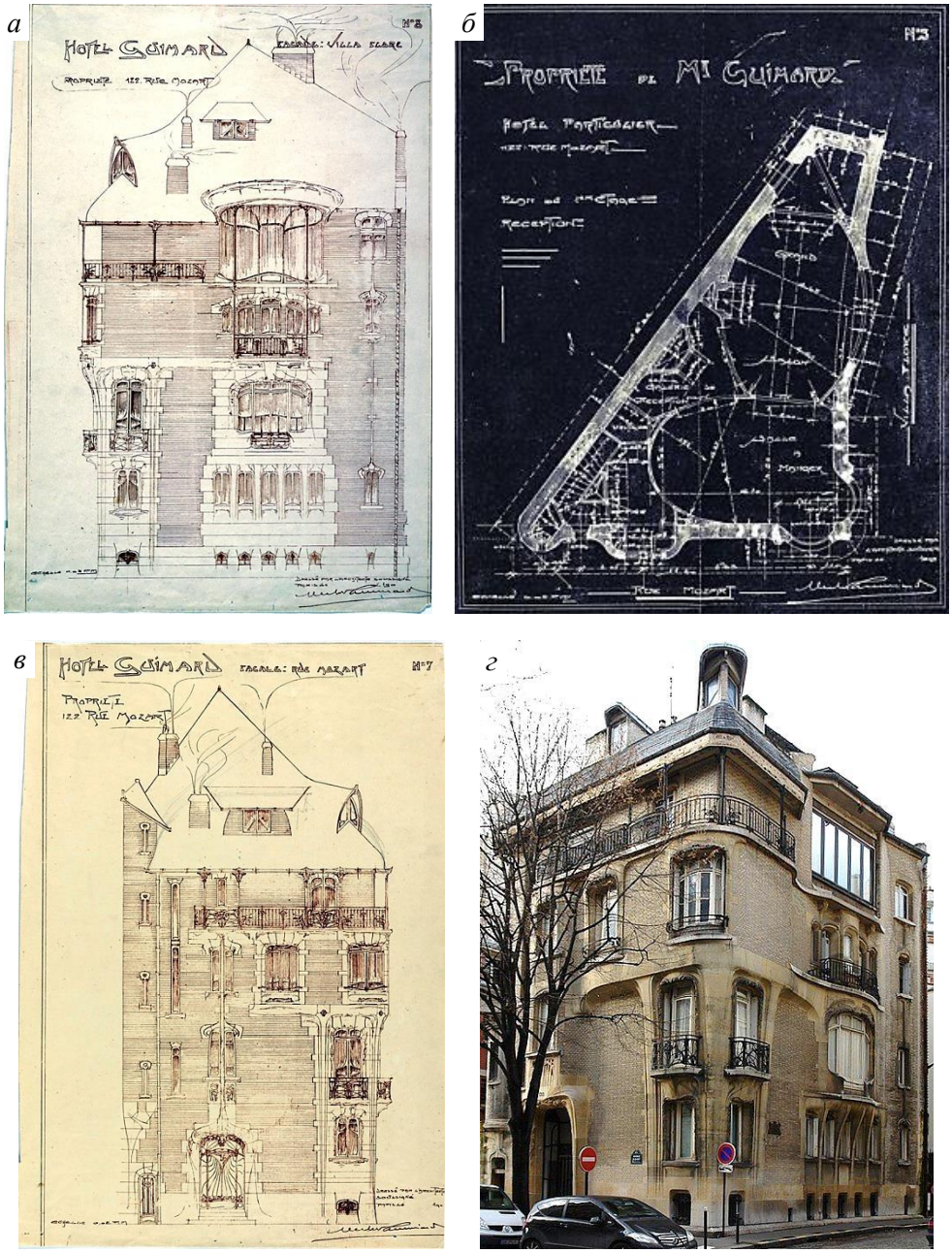


Рис. 12. Проект «Отеля Гимар» (Париж, 1909 г.) (URL: http://arch-house.ru/Biblioteka/mastera/ Gimar/index.html):
а, *в* – фасады по Avenue Mozart и пер. Villa Flore; *б* – план 2-го этажа [7]; *г* – видовая точка (Hector Guimard (French, 1867–1942) Hotel Guimard, 122 Ave. M)

Рис. 13. Главный вход в Hotel Guimard со стороны Avenue Mozart (URL: http://art.nouveau.world/hotel-guimard; https://deluxe-confidential.com/sources/uploads/2017/06/sizel-44018-338-450.jpg)

Рис. 14. Фонари на кровле «Отеля Гимар» (URL: https://live.staticflickr.com/4115/4818036621_35e6403c39_b.jpg)

а *б*

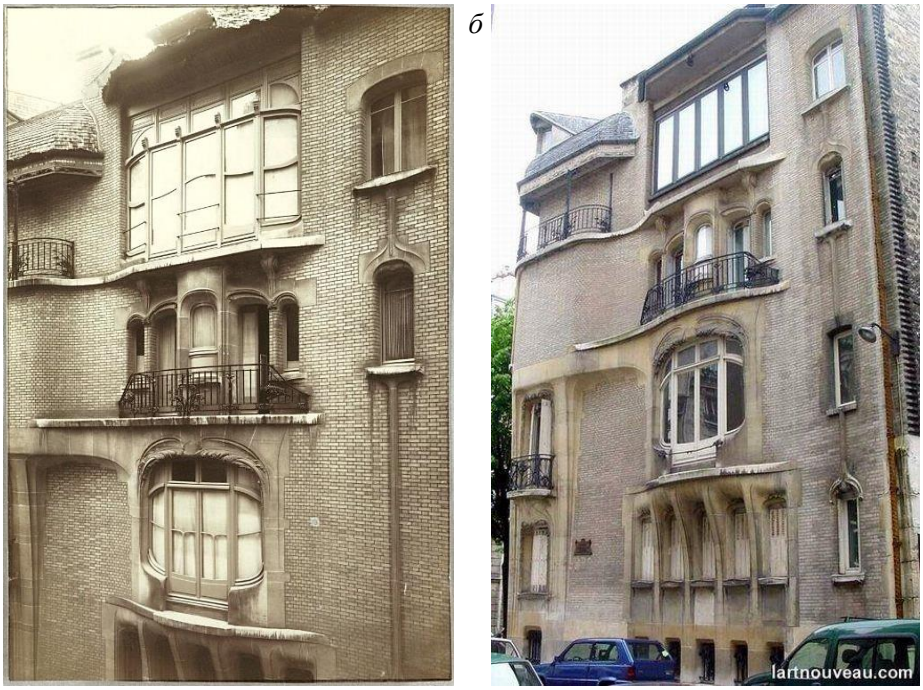


Рис. 15. Фотография начала XX в. (*а*) и современный вид фасада «Отеля Гимар» (*б*) (URL: https: //images.collection.cooperhewitt.org/118440_4726f570376c645b_x.jpg; https://i.pinimg. com/originals/cc/b7/b7/ccb7b778b9ebed82b80b4b71681c6552.jpg)

Не менее интересны «волнистые» силуэты эркеров и балконов, их опорных консолей, скульптурные обрамления оконных проемов и, конечно же, «стильные» металлические решетки (рис. 16).

Это один из наиболее значимых проектов, в котором в полной мере раскрылось стремление его автора к «тотальному дизайну» (*нем*. *Gesamtkunstwerk*): «Гимар конструировал не только интерьер, но и малейшие детали мебели и убранства, включая дверные ручки, перила, кронштейны для занавесей и т. д. И не случайно для мебели и мелких деревянных деталей в “Отеле Гимар” архитектор выбрал грушевое дерево: эта древесина следует всем изыскам его форм и его графики…» [8]. Даже стулья в столовой имеют переплетенные инициалы «О» и «Г» (рис. 17, 18).

В этом доме супруги Гимар жили до 1938 г., пока не были вынуждены в канун Второй мировой войны переехать в США. После смерти архитектора в 1942 г. Аделина решила передать дом и все его содержимое французскому государству, однако ее предложение было отклонено. «Отель Гимар» был превращен в доходный дом со съемными квартирами, а его оригинальные интерьеры были демонтированы. Меблировку обеденного зала сегодня можно увидеть в Парижском музее изящных искусств (б. Малый дворец, *фр*. Musée du Petit Palais); спальни – в Музее изобразительных искусств г. Лиона; рабочего кабинета Э. Гимара – в Musée de l'École de Nancy (г. Нанси). Часть предметов интерьера хранится в частном учебном заведении (колледже) Cooper Union и в Музее современного искусства (г. Нью-Йорк).

Рис. 16. Декоративные украшения фасадов «Отеля Гимар» (URL: https://i.pinimg.com/736x/5d/15/b2/5d15b2d3809030dfcda37bda124dac47--art-nouveau-architecture-mozart.jpg; https:// pastvu.com/_p/a/5/g/d/5gdj52nklg3rdtq6b8.jpg)

Рис. 17. Интерьеры «Отеля Гимар» (URL: http://art. nouveau.world/hotel-guimard) https://images.collection.cooperhewitt.org/140491_20541cca4ebed698_b.jpg): *а* – лестничная клетка; *б* – обеденный зал

Рис. 18. Обеденный зал «Отеля Гимар» (экспонат Musée du Petit Palais, г. Париж) (URL: https://wiki2.org/en/ Adeline_Oppenheim_Guimard)

Следует отметить, что Эктор Гимар обладал колоссальной творческой энергией и мог работать одновременно над несколькими проектами. Ярким примером тому служит ***Hôtel Mezzara***, построенный в ***1910–1911 гг. на улице Жан-де-ла-Фонтейн, 60*** (16-й округ Парижа).

Заказчиком здесь выступил текстильный промышленник и магнат Пол (Паоло) Меццара (Paul Mezzara, 1866–1918). Венецианец по происхождению, он, как Э. Гимар, в начале XX столетия являлся членом Общества художников-декораторов, в 1907 г. и в 1910–1911 гг. исполнял обязанности вице-президента этой организации. Вероятно, там они и познакомились. Свою деловую карьеру заказчик начинал в качестве художника-декоратора, затем – писателя и мецената. В своем творчестве он стал специализироваться в изготовлении ажурных вышивок и кружев, предназначенных для женской одежды и интерьеров. В конце концов он возглавил текстильный концерн Melville & Ziffer. Как нам кажется, в творчестве Э. Гимара художественно одаренного бизнесмена привлекло сходство принципов формообразования декоративных решеток «стиля Гимар» с «бионическими» по своей сути кружевами. Лучшей рекламы для своей продукции и для делового имиджа концерна нельзя было и пожелать (рис. 19).

Отель изначально предназначался для проведения выставок и распродажи кружевных тканей. Кроме того, заказчик намеревался экспонировать здесь произведения декоративно-прикладного искусства своего времени. Все помещения первого и второго этажей группировались вокруг центрального зала, освещаемого сверху зенитным фонарем. Именно здесь, в этом зале Пол Меццара выставлял художественно-дизайнерские работы и лучшие образцы текстильной продукции. Стены помещений были украшены произведениями Эдгара Брандта, Пола Фолло, Фрэнсиса Журдена, Гастона Ле Буржуа, Леона Джалло, Шарлотты Шушет-Гильере (рис. 20).

а *б*

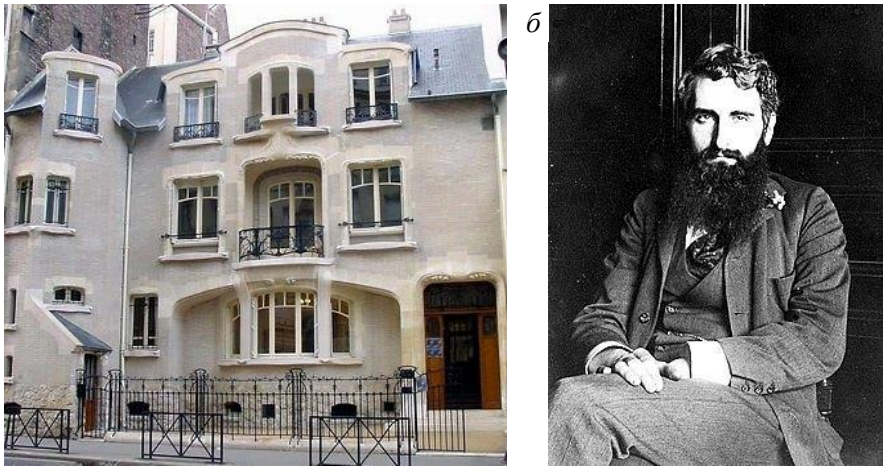


Рис. 19. Отель Mezzara (Париж, ул. Жан-де-ла-Фонтейн, 60, 1910–1011 гг.): *а* – главный фасад [4] (URL: https://babs71.livejournal.com/956922.html); *б* – заказчик – П. Меццара (1866–1918) (URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/52/Paris_Hotel_Mezzara02.jpg)

Рис. 20. Интерьер парадного холла Hôtel Mezzara (URL: https://i.pinimg.com/originals/ee/26/39/ee26394850b5ecb636605fe5573d73b0.jpg; http://aroundtheworld.phileas-fogg.net/art-nouveau/paris/mezzara5.jpg; http://www.elisabethlebot.com/wp-content/uploads/2017/12/Musee-Guimard2.jpg; https://pbs.twimg.com/media/DPfmDXWX0AATj_i.jpg)

В обеденном зале отеля сохранилась оригинальная мебель, выполненная по проектам Э. Гимара, – буфет, стол и стулья (рис. 21).

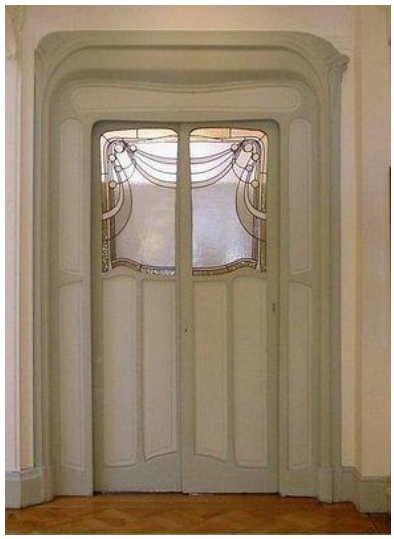
Рис. 21. Интерьер обеденного зала Hôtel Mezzara. Видовые точки (URL: http://www.elisabethlebot.com/wp-content/uploads/2017/12/Musee-Guimard4.jpg; https://i.pinimg.com/236x/47/39/7c/47397 c9d89650e3799e5959c8ed505cb--art-nouveau.jpg; http://www.lecercleguimard.fr/HG/wp-content/uploads/2015/10/Mezzara-Guimard-7_5_SAM.jpg)

Это один из самых успешных архитектурно-дизайнерских проектов Эктора Гимара. Двери, окна и кованые решетки балконов здесь украшены цветочными («флореальными») сюжетами, выполнены по его эскизам: «Слово Виолле ле Дюку: «Одно из качеств, создающих прелесть хорошей архитектуры, заключается в тесной связи между внутренней и наружной декорацией. Нужно, чтобы наружная декорация подготовляла зрителя, вызывала у него предчувствие того, что он найдет, войдя в здание. Сюрпризы – не дело архитектуры. Нужно еще, чтобы архитектор – автор здания – не обещал, например, на наружном фасаде больше, чем он в состоянии будет дать. Если на этом фа-

саде он расточил все декоративные возможности, что же ему останется показать внутри здания? В этом отношении мы снова можем поучиться у людей Востока. Наружный вид их зданий относительно прост, и лишь по мере того как проникаешь во внутренние части здания, развертывается роскошь и изящество. Это, так сказать, кокетливость высокой пробы, которая неизменно очаровывает. Они умеют предусмотреть переходы, постепенно подготовить взор к заключительному великолепию, так что никогда не испытываешь желания вернуться назад…» [10] (рис. 22, 23).

а

б



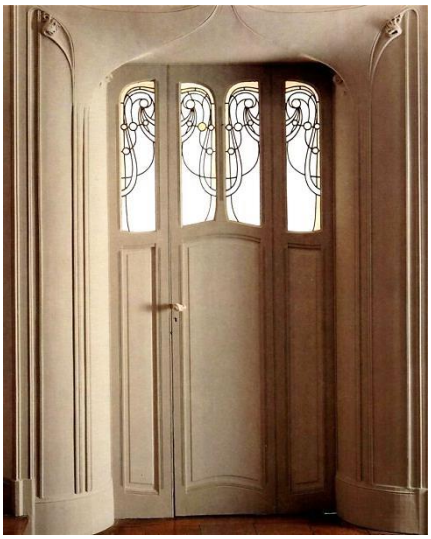


Рис. 22. Оконный и дверной проемы отеля Mezzara:
а – декоративные решетки [4] (URL: https://babs71.livejournal.com/956922.html);
б – двери (URL: http://interior.lv/wp-content/uploads/2016/09/Guimard-014.jpg)

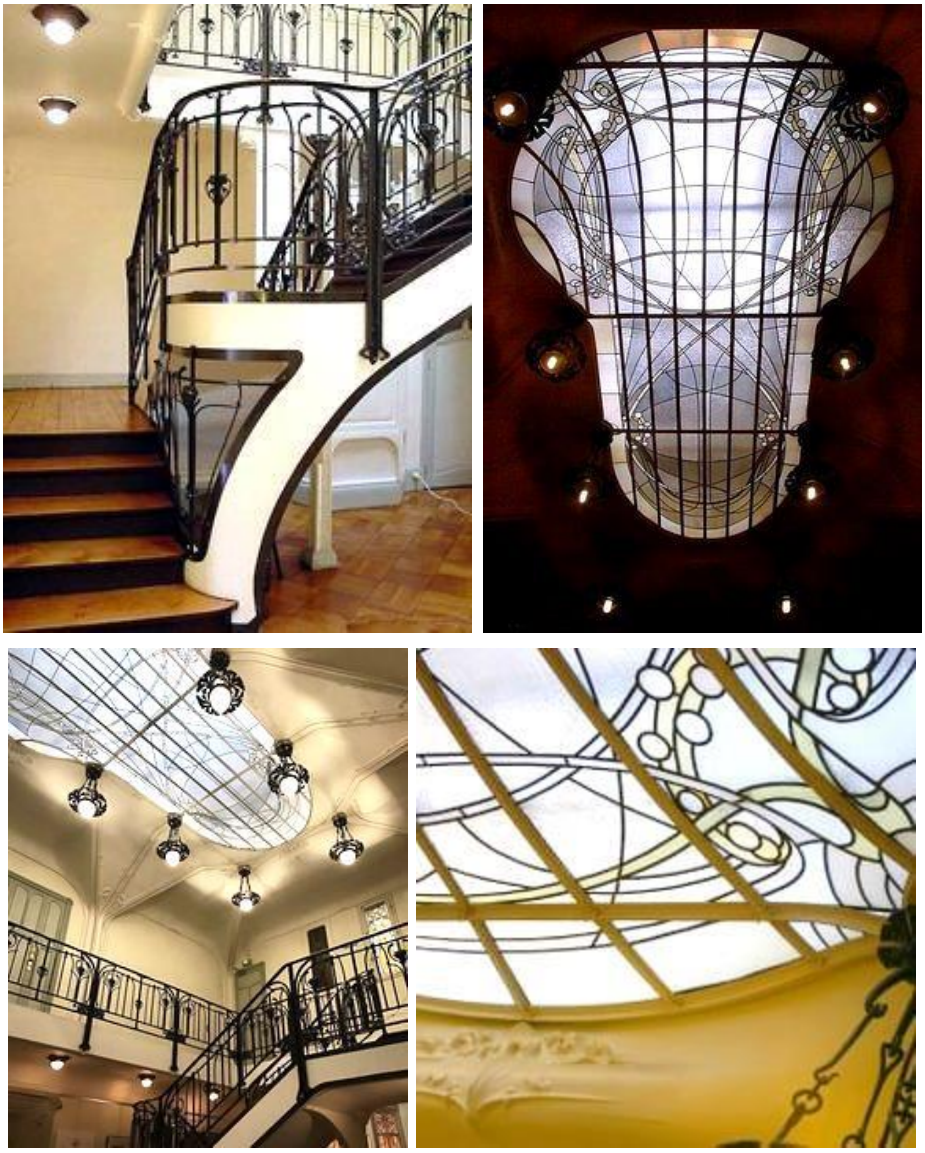


Рис. 23. Отель Mezzara (Париж, ул. Жан-де-ла-Фонтейн, 60, 1910–1011 гг.). Декоративные элементы (лестничная клетка, потолочный витраж) (URL: https://s3-media1.fl. yelpcdn.com/bphoto/gJOUzo20LfMeDAaB1z10xQ/ls.jpg)

Правительственным указом от 15 сентября 1994 г. отель Mezzara был внесен в список исторических памятников. В 2005–2006 гг. он был окончательно восстановлен и открыт для публики. Здесь регулярно проходили выставки и собрания членов ассоциации «Круг Гимара», а в сентябре 2015 г. был организован музей Э. Гимара и научно-исследовательский центр по изучению стиля модерн.

Завершая исследование, можно сделать ряд выводов, касающихся второго этапа архитектурно-дизайнерской деятельности Эктора Гимара (1900–1912 гг.).

1. Установлено, что практический опыт, обретенный Э. Гимаром в процессе работы над Castel Béranger (1894–1898 гг.), фасадом административного здания компании Coilliot в г. Лилле (1898–1900 гг.) и входа павильонов станций Парижского метрополитена (1898–1912 гг.), помог ему в формировании своего неповторимого «стиля Гимар» (Le Style Guimar). Этот стиль постоянно совершенствовался не только в архитектурных проектах, но и в дизайнерских работах (оформление фасадов и интерьеров зданий, их оборудования, полиграфические издания рекламного характера). В этих работах Э. Гимар максимально раскрыл свой талант архитектора и «тотального» дизайнера.

2. Отмечено, что, помимо выполнения художественно-дизайнерских работ, в этот период Эктор Гимар продолжил свои «бионические» эксперименты в проектах жилых и общественных зданий. В некоторых проектах он ограничился лишь декоративными деталями, в других экспериментировал с самыми различными строительными материалами – многоквартирный дом Jassede на авеню Де Версаль – Ланкре, 142 (1903–1905 гг.), отель Дерон-Левент (Виа де ла Реоньюн, 28, 1907 г.). В нескольких постройках он всерьез увлекся «бионическим» моделированием их конструктивной основы и организацией «свободного» внутреннего пространства – Кастель-д'Оржеваль (деп. Эссон, 1904–1905 гг.), вилла La Surprise (деп. Cabourg, 1903–1907 гг.).

3. Можно предположить, что завершающим этапом в формировании модернистского «стиля Гимар» стали Hôtel Guimard («Отель Гимар», 1909–1912 гг.), Hôtel Mezzara (ул. Жан-де-ла-Фонтейн, 60, 1910–1911 гг.). Именно в этих проектах, выполненных параллельно в течение трех лет, архитектор достиг пика своей житейской и творческой зрелости. Не исключено, что этот творческий подъем был стимулирован женитьбой Э. Гимара на американской художнице А. Оппенхайм. Hôtel Guimard стал не только семейным очагом, но и творческой мастерской супругов, в которой они стремились максимально реализовать свой творческий потенциал. Однако осуществить это желание оказалось непросто.

4. Анализ самых различных публикаций, посвященных истории модерна, показал, что в канун Первой мировой войны этот дорогостоящий «буржуазный» стиль утратил былую популярность и «был отправлен в небытие». Избегая общественной критики и не желая лишаться заказов, Э. Гимар был вынужден значительно упростить декоративную составляющую своих проектов. Теперь он старался делать свои здания менее заметными в уже сложившейся застройке французской столицы. Этому завершающему этапу в творческой биографии Эктора Гимара будет посвящена наша следующая статья.

Библиографический список

1. *Поляков Е.Н., Дончук Т.В.* Становление французской версии стиля модерн в ранних работах Эктора Гимара // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 5. С. 9–35. URL : https://doi.org/10.31675/1607-1859-2019-21-5-9-35
2. *Гимар Гектор* (1867–1942). URL : http://www.build-online.ru
3. *Люстра в стиле модерн* по эскизу Эктора Гимара. URL : https://a-la-belle.livejournal.com.
4. *Париж*. Дома Эктора Гимара. URL : https://babs71.livejournal. com/956922.html
5. *Французская архитектура XIX–XX вв.* URL : http://web-kapiche.ru/899-francuzskaya-arhitektura.html

6. *Эктор (Гектор) Гимар*. URL : http://arch-house.ru/Biblioteka/ mastera/Gimar/index.html
7. *Эктор (Гектор) Гимар*: архитектор, дизайнер, стиль модерн (Ар-нуво). URL : http://arch-house.ru/Biblioteka/mastera/ Gimar/index.html
8. *Эктор Гимар и его архитектурные фантазии*. URL : http://trv-science.ru/2015/06/30/ hector-guimard-i-ego-arkhitekturnye-fantazii/
9. *Эктор Гима́р* (Лион, 10 марта 1867 – Нью-Йорк 20 мая 1942). Главный представитель искусства Nouveau во Франции. URL : http:// media-knowledge.ru
10. *Vase des Binelles*, 1903. URL : https://www. metmuseum.org/ art/ collection/search/500002

REFERENCES

1. *Polyakov E.N., Donchuk T.V.* Stanovlenie frantsuzskoi versii stilya modern v rannikh rabotakh Ektora Gimara [Formation of french Art Nouveau style in early works of Hector Guimard]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 5. Pp. 9–35. (rus)
2. Gimar Gektor (1867–1942) [Guimard Hector (1867–1942)]. Available: www.build-online.ru (rus)
3. Liustra v stile modern po eskizy Ektora Gimara [Art Nouveau chandelier based on the sketch by Hector Guimard]. Available: https://a-la-belle.livejournal.com
4. Parizh. Doma Ektora Gimara [Paris. The House Of Hector Guimard]. Available: https://babs71. livejournal. com/956922.html (rus)
5. Frantsuzskaia arhitektura XIX–XX veka [French architecture of the XIX–XX century]. Available: http://web-kapiche.ru/899-francuzskaya-arhitektura.html (rus)
6. Ektor (Gektor) Gimar [Ector (Hector) Guimard]. Available: http://arch-house.ru/Biblioteka/ mastera/Gimar/index.html (rus)
7. Ektor (Gektor) Gimar: arhitektor, dizainer, stil modern (Ar nuvo) [Ector (Hector) Guimard: architect, designer, modernist style (Art Nouveau)]. Available: http://arch-house.ru/Biblioteka/ mastera/Gimar/index.html (rus)
8. Ektor Gimar i ego arhitekturnye fantazii [Hector Guimard and his architectural fantasies]. Available: http://trv-science.ru/2015/06/30/hector-guimard-i-ego-arkhitekturnye-fantazii/ (rus)
9. Ektor Gimar (Lion, 10 marta 1867 – Niu-Iork, 20 maia 1942). Glavny predstavitel iskusstva Nouveau vo Frantsii [Hector Guimard (Lyon, March 10, 1867 – New York, May 20, 1942). The main representative of art Nouveau in France]. Available: http://media-knowledge.ru (rus)
10. Vase des Binelles, 1903. Available: www.metmuseum.org/art/collection/search/500002

Сведения об авторах

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

Дончук Татьяна Владимировна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, kapitel-nsk@mail.ru

Authors Details

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

Tat`yana V. Donchuk, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, kapitel-nsk@mail.ru

УДК 72.035.5 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-30-41

Ю.А. СТОЯК, Л.С. РОМАНОВА,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ ГОРОДА-ЗАВОДА ВОТКИНСКА В XIX – НАЧАЛЕ XX В.

В статье освещается роль архитектурной среды в формировании и сохранении архитектурно-художественного своеобразия уральского города-завода Воткинска, связанного с именем русского композитора П.И. Чайковского. Авторы раскрывают значение заводских и городских органов управления в планировании архитектурной среды этого старинного города. Проанализированы основные элементы благоустройства и озеленения, заложенные на разных этапах становления и развития города, а также малые архитектурные формы, дана характеристика их современного состояния. Современное состояние архитектурной среды Воткинска позволяет сделать вывод о необходимости проведения тщательного предпроектного анализа, предшествующего проектированию благоустройства на территории исторического города.

Ключевые слова: архитектурно-художественное своеобразие; целостное восприятие города; малые архитектурные формы; озеленение; плотина; предпроектный анализ.

Для цитирования: Стояк Ю.А., Романова Л.С. Особенности организации архитектурной среды города-завода Воткинска в XIX – начале XX в. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 30–41.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-30-41

Yu.A. STOYAK, L.S. ROMANOVA,
Tomsk State University of Architecture and Building

VOTKINSK CITY-PLANT ARCHITECTURAL SPACE IN THE 19th AND EARLY 20th CENTURIES

The article is devoted to the architectural space role in the formation and preservation of the architectural and artistic identity of Votkinsk city-plant associated with the name of the Russian composer P. I. Tchaikovsky. The authors show the importance of factory and city government in beautification of this ancient city. The main elements of architectural space and gardening at different stages of the formation and development of the city are analyzed as well as small architectural forms and their current status. The analysis of the Votkinsk improvement allows us to conclude that it is necessary to conduct a thorough pre-design analysis prior to the urban development.

Keywords: architectural and artistic identity; perception integrity; small architectural forms; planting of greenery; barrage; predesign analysis.

For citation: Stoyak Yu.A., Romanova L.S. Blagoustroistvo goroda-zavoda Votkinska v XIX – Nachale XX v. [Votkinsk city-plant architectural space in the 19th and early 20th centuries]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 30–41.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-30-41

© Стояк Ю.А., Романова Л.С., 2019

Город-завод Воткинск, возникший в конце XVIII в. и в настоящее время являющийся моногородом, в значительной степени сохранил заложенные при строительстве градостроительные особенности. Центральная часть города, представленная в основной массе исторической застройкой XIX – начала XX в., в настоящее время подвергается значительным трансформациям, связанным с необходимостью его дальнейшего развития. Однако такие изменения в абсолютном большинстве случайны и не имеют концептуальной составляющей, оставляя в стороне важные этические вопросы проектирования в исторической среде. В научных исследованиях, посвященных этой тематике, совершенно справедливо большое внимание уделяется принципам проектирования зданий и сооружений и в меньшей степени – вопросам благоустройства. Тем не менее тенденции осознанного обращения к «духу города», к сформировавшимся веками его аутентичным особенностям начинают все активнее проникать в общественную жизнь. Данная работа посвящена исследованию исторического облика архитектурно-пространственной среды Воткинска, планирование которой в XIX в. являлось важной составляющей административно-хозяйственной деятельности, что вытекало из особенностей уклада жизни города-завода.

Управление городов-заводов уделяло особое внимание благоустройству заводской территории. Несмотря на некоторое отставание во внедрении различных видов благоустройства (в частности, отсутствие водопровода и канализации), в целом заводские поселения выглядели довольно опрятно [1]. Управители завода заботились о внешнем облике поселения, обязывая мастеровых благоустраивать территории вокруг своих участков. Приказом Воткинской заводской управы благочиния 1819 г. жителям города предписывалось следить за сухостью улиц, устраивать каналы, укрепляя их булыжником или дерном, устраивать небольшие и одинаковые мостики для переходов. Другим указом за 1842 г. запрещалось поддерживать поправками ветхое жилье. Этим же указом надлежало возвести набережную от плотины к заводскому госпиталю, для чего требовалось снести несколько жилых домов.

В первые годы существования завода жители пользовались родниковой водой, а также рыли колодцы на своих огородах. Позднее после истощения местных колодцев стали устраивать общественные, а в конце XIX в. в районы Зареку и Конанок был проведен самотечный водопровод в деревянных желобах [2].

Наиболее благоустроенным местом в Воткинске, как и в других городах-заводах, была плотина. Этот признак стал одной из отличительных особенностей городов-заводов. Ансамбль заводских фабрик органично вписывался в архитектуру города, а плотина, как основной градообразующий элемент, играла роль общественного центра и места народных гуляний. Плотина Воткинского завода была одной из самых больших на Урале и совершенной по техническому устройству. Главные сливные прорезы плотины были акцентированы павильоном, регулирующим сброс воды, напротив которого на небольшом искусственном выступе была устроена Иордань, а затем установлен памятник-якорь. Особенно тщательно благоустройством плотины занимался И.П. Чайковский, отец композитора П.И. Чайковского, служивший начальником завода в 1837–1848 гг. Спустя почти полстолетия общий вид плотины оставался неизменным. «Плотина пруда на расстоянии 400 сажень огорожена

чугунными решетками и окопана канавами, которые вымощены бутовым камнем и отделены от плотины чугунными же тумбами; к стороне фабричных зданий между канаваю и решеткою вымощен тротуар, а к стороне пруда за канавою и решеткою устроен бульвар. Бульвар обсажен по обеим сторонам липами, и аллея бульвара тянется вдоль берега заводского пруда и плотины на 300 сажен длины. По средине бульвара к стороне пруда построен памятник в память посещения Воткинского завода в 1837 году Государем Императором Александром Николаевичем»[1]. Липовые аллеи служили одновременно ветровой защитой. На бульваре были разбиты цветники. Однако остальная территория набережной, как правило, не была благоустроена, здесь сохранялись естественные берега пруда. Известно, что уже к 1837 г. на заводе была устроена иллюминация[2] (рис. 1, *а*).

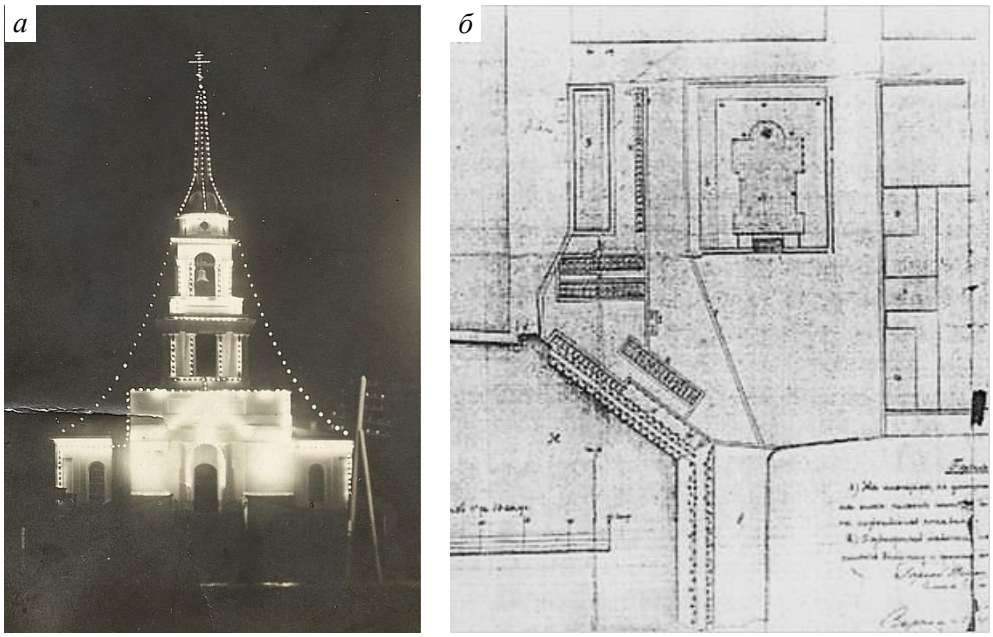


Рис. 1. Иллюминация на Воткинском заводе. Фото начала XX в. (*а*) (МАУ «Музей истории и культуры г. Воткинска». Отдел фото. Арх. № 51-НВ); план Торговой площади Воткинского завода и примыкающих к ней подвижных лавочек и мясного ряда. 1893 г. (*б*) (ЦГА УР. Ф. 212. Оп. 1. Д. 9862. Л. 48)

Система зеленых насаждений города включала в себя небольшие парки вокруг общественных зданий (госпиталей, церквей, училищ). Кроме того, сады устраивались частными лицами, как, например, парк «Отрада», устроенный в 1820-х гг. инженером Л. Отрадой, Богатыревский сад или парк при Богадельне А.И. Созыкина, в котором стараниями местного краеведа В.Ф. Берд-

[1] Феклистов В. Воткинский казенный завод // Вятские губернские ведомости. 1883. № 80. 5 окт. С. 4.
[2] Бердников В.Ф. Посещение Наследником Цесаревичем Александром Николаевичем (бывшим впоследствии Царем Освободителем) Воткинскаго завода в 1837 году // Известия Сарапульского земскаго музея. Вып. 2-й. Сарапул: Типография Н.Е. Ончукова, 1912. С. 1–12.

никова были собраны редкие виды растений. Особое значение имел сад при усадьбе горного начальника. Для его обустройства приглашались специалисты. И.П. Чайковский в своем письме к жене от 15 апреля 1837 г. описывал чудесное состояние усадебного парка: в нем были цветущие растения, выращивались овощи и фрукты, были устроены беседки [3]. Благоустроенные парки Воткинска создавались обеспеченными людьми, нередко принадлежавшими к купеческому сословию.

1837 г. – год начала работы на Воткинском заводе И.П. Чайковского – совпал с посещением завода наследником Цесаревичем Александром Николаевичем. В.Ф. Бердниковым в Известиях Сарапульского земского музея дается подробное описание этого события, и в том числе народные гуляния по случаю праздника, организованные в любимом заводчанами месте – парке «Отрада»: «Это роща, представляющая из себя ныне некоторый оазис, лежащий вблизи завода на юго-западе, возле Сарапульскаго тракта. В то время «Отрада» в летнее время была самым любимым местом для разных семейных развлечений заводскаго начальства. В роще был устроен довольно обширный павильон с хорами для оркестра. В павильоне не редко устраивались танцевальные вечера, концерты и, вероятно, любительские спектакли, так как зал павильона был довольно вместительный. При павильоне была устроена кухня, колодезь и погреб. На довольно обширной площадке пред павильоном в особенно торжественные случаи устраивались фейерверки… Вот на последнейто площадке, покрытой зеленой муравой, и был устроен народный праздник, о котором так долго помнили жители Воткинскаго завода. Вероятно, в день народнаго праздника и дворянский павильон не остался пустым»[3]. Однако уже к 1855 г. это место оказалось заброшено[4].

Рубеж XIX–XX вв. стал периодом увеличения значимости благоустройства в городах России. Началась повсеместная электрификация городов. Общественные парки, размещавшиеся ранее на окраинах, смещаются в пространство города, растет их количество [4]. В конце XIX в. в противоположной парку «Отрада» части города мастеровым Воткинского завода Дмитрием Яковлевичем Богатыревым было приобретено несколько усадеб (общей площадью около 1 га), где он высадил фруктовые и декоративные деревья и кустарники. Это место получило в народе название «Богатыревский сад». Известно, что в саду была устроена летняя эстрада, а сам сад сдавался в аренду приезжим гастролерам. После революции на его месте был устроен Детский парк [5, 6].

На устройство приусадебных участков мастеровых оказали влияние примеры высшего сословия. Довольно часто в их огородах выращивались элитные овощи и фруктовые деревья. Особенностью таких участков также стало устройство липовых и березовых аллей, цветущих палисадников. Среди традиционных лип можно было наблюдать включение редких для городской территории растений (ель, лиственница) [7]. В некоторых усадьбах исторического ядра го-

[3] Бердников В.Ф. Посещение Наследником Цесаревичем Александром Николаевичем (бывшим впоследствии Царем Освободителем) Воткинскаго завода в 1837 году // Известия Сарапульского земскаго музея. Вып. 2-й. Сарапул: Типография Н.Е. Ончукова, 1912. С. 5

[4] Блинов М. Историко-статистическое известие о Камско-Воткинском заводе и тамошних вотяках // Журнал Министерства внутренних дел. Ч. 11. Отделение III. 1855. С. 11.

рода сохранились фрагменты этих парков. Таким образом, Воткинск в XIX в. утопал в зелени. Зеленые насаждения находились не только на территории поселения, но и окружали его со всех сторон, поскольку вырубка леса для промышленных целей разрешалась не ближе 10–15 верст от поселения [1].

Все заботы по благоустройству города брал на себя завод. Инженеры и служащие занимались садоводством, заботились о воспроизведении вырубленных для нужд завода лесов [7]. На должном уровне старались поддерживать общественные центры, где устраивалось мощение улиц и освещение. Элементами благоустройства города становились также изделия художественного металла, производившегося в частных кузницах мастеровыми завода (решетки, ограды, колонны и т. д). Однако в целом общее состояние благоустройства не всегда положительно оценивалось современниками. «...Уличные мосты в жительстве заводском, а особенно в заречной части, столь худы, что с большею опасностью должно чрез них проезжать» [8]. Довольно часто проблемы возникали на торговой площади, которые пытались решить путем создания урегулированного плана торговых строений[5] (рис. 1, *б*). Нахождение значительной части застройки завода в болотистой местности по низменным берегам р. Вотки ставило ее в невыгодные санитарно-гигиенические условия. В 1880-х гг. Сарапульское земское собрание выделило средства на прорытие канав и дренажирование местности[6].

Во второй половине XIX в. значительную роль в облике городов начинает играть визуальная реклама торговых и общественных заведений. Вывески размещались, как правило, на уровне глаз прогуливающихся жителей. Чаще всего они представляли собой ленты надписей с названием магазинов и контор (рис. 2).

Рис. 2. Базарная площадь (совр. ул. И.П. Шувалова) в Воткинском заводе, фото начала XX в. (URL: http://votmuseum.ru/)

[5] ЦГА УР. Ф. 212. Оп. 1. Д. 9862. Л. 48.

[6] Мислављский И. Воткинский завод – его прошлое и современное состояние // Вятские губернские ведомости. 1890. № 69. 29 авг. С. 4.

Малые архитектурные формы являлись неотъемлемой частью облика заводских поселений. Большую роль среди них играли различные караульни, сторожки, полицейские будки, возводившиеся на плотинах и предзаводских площадях. На чертеже В.Н. Петенкина, датируемом приблизительно 1842 г.[7], изображен ряд таких строений для Камско-Воткинского завода: будка при шлагбаумах Пермском и Сарапульском; будка на берегу пруда «близ дома Начальника»; сторожка для записи привозимого зимой угля; будка на плотине между сливных мостов; сторожка при выдаче провианта и для записи ярлыков; а также пять будок, располагавшихся при угольной площади, на сливных мостах, при металлических магазинах, в угольном и лесном запасном дворах (рис. 3). Полицейская будка на этом чертеже располагалась на берегу пруда у ул. Господской (совр. ул. Чайковского). К 1990 г. она была воссоздана в комплексе с ансамблем строений для чиновников. Будка представляет собой небольшой шестиугольный в плане объем, сужающийся кверху и перекрытый куполом. Верхняя часть стен имеет второй свет в виде полуциркульных окон, в нижней рустованной части устроены небольшие прямоугольные окошки. Центральный вход, расположенный на одной из граней, завершается сандриком. По данным на 1860 г. в Воткинском заводе было 3 полицейских будки [9].

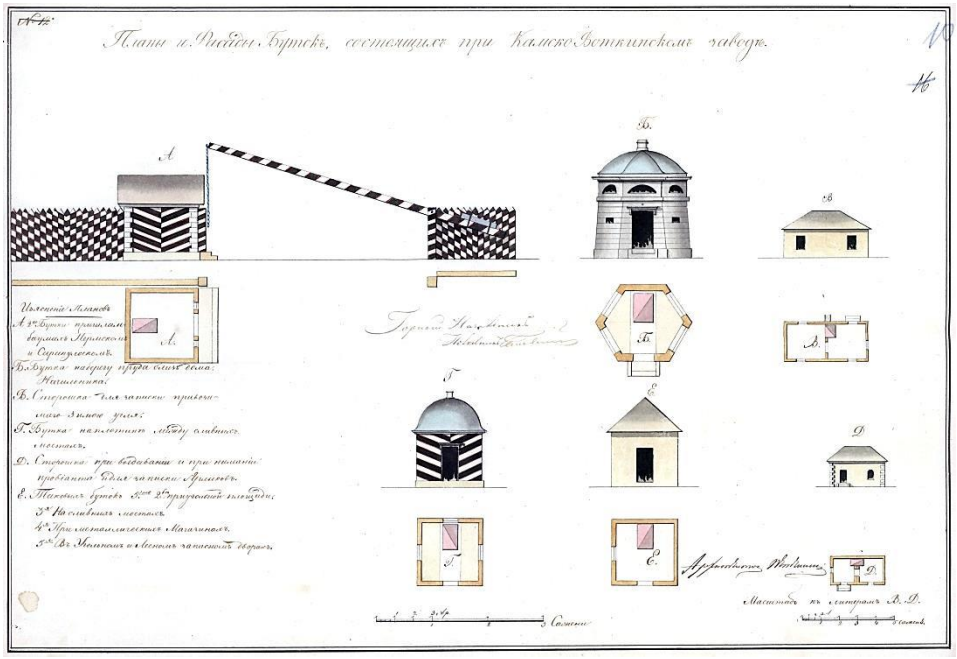


Рис. 3. Планы и фасады будок, состоящих при Камско-Воткинском заводе. 1842 г. Архитектор В.Н. Петенкин (ЦГА УР. Ф. 212. Оп. 1. Д. 3534. Л. 16) (URL: http://gasur.ru/databases/govreestr_detail.php?ID=5722)

В первой половине XIX в. в Воткинском заводе имелась башня с часами, что было характерно и для других городов-заводов [10]. В настоящее время све-

[7] ЦГА УР. Ф.212. Оп. 1. Д. 3534. Л. 16.

дений о ее внешнем облике не выявлено. Вместе с площадями активно благоустраивались плотины. В.Ф. Бердниковым в Известиях Сарапульского земского музея за 1912 г. описывается посещение Камско-Воткинского завода наследником престола (будущим Александром II) в 1837 г. В этот период начальником завода служил И.П. Чайковский. Во время осмотра заводских фабрик Александр Николаевич поучаствовал в ковке якоря, предназначенного для Черноморского адмиралтейства. Якорь было решено оставить на заводе в качестве памятника. Однако это привело к разногласиям между морским и горным ведомствами, считавшими якорь своей собственностью. Разрешением этого спора стал указ Императора, предписывавший оставить данный якорь на Воткинском заводе и изготовить новый для Черноморского адмиралтейства. Памятник было решено установить на лучшей части плотины – вблизи главного прореза. Вследствие ремонта плотины памятник какое-то время стоял на территории завода между фабриками и был установлен на положенном месте в 1850 г.

Настоящим произведением искусства стал постамент для памятника, спроектированный управителем завода Романовым: «...Якорь опирался на чугунный пьедестал (как и ныне), обвешанный по штоку цепными канатами, окруженный весьма изящною чугунною решеткою, разделенною на несколько частей колоннами также чугунными, на которых возседали двуглавые орлы с распущенными крыльями. На двух противоположных сторонах пьедестала гласят следующие надписи, состоящие из вызолоченных букв: Его Императорское Высочество Государь Цесаревич, Наследник Всероссийского Престола, Великий Князь Александр Николаевич удостоил ковать своими руками сей якорь в Троицкой якорной фабрике при посещении своем Камско-Воткинскаго завода 22 мая 1837 года. На самом же якоре между лапами с одной стороны высечена надпись: Его Императорское Высочество Государь Наследник Всероссийского Престола Великий Князь Александр Николаевич удостоил ковать своими руками якорь весом в 167 пуд. 22 мая 1837 года; а с другой – Делан при горном начальнике подполковнике Чайковском, управителе завода майоре Романове и комиссионере адмиралтейскаго ведомства 12 класса Алексееве»[8]. Памятник простоял на плотине до 1930 г. и был переплавлен в 1932 г. В 1959 г. в честь 200-летнего юбилея Воткинского завода на плотине установили новый памятник-якорь, в память о легендарном «царском якоре» [11]. Постамент памятника не соответствовал историческому и был частично реконструирован в 2015 г. к 175-летию П.И. Чайковского (рис. 4).

Неотделимым элементом благоустройства парковых зон Камско-Воткинского завода в первой половине XIX в. были различные беседки. Три деревянные беседки были построены в 1830-х гг. в саду при доме горного начальника: зимняя беседка, летняя беседка и детский домик. Все они были воссозданы в составе мемориально-архитектурного комплекса Музей-усадьба П.И. Чайковского (рис. 5, *а – в*). Зимняя беседка представляла собой небольшой одноэтажный прямоугольный в плане объем с двумя ярусами окон – прямоугольными и полуциркульными над ним. Над центральным входом бы-

[8] Бердников В.Ф. Посещение Наследником Цесаревичем Александром Николаевичем (бывшим впоследствии Царем Освободителем) Воткинскаго завода в 1837 году // Известия Сарапульского земскаго музея. Вып. 2-й. Сарапул: Типография Н.Е. Ончукова, 1912. С. 1–12.

ла устроена полуциркульная фрамуга. Двускатная крыша образовывала треугольный фронтон на главном фасаде. Фасады обшиты. Летняя беседка была двухэтажной, прямоугольной в плане. Первый этаж имел обшивку, по центру главного фасада организован вход. Второй этаж представлял собой открытую веранду, перекрытую двускатной крышей на колоннах. В архитектурном решении этой беседки был использован упрощенный дорический ордер, над колоннами без энтазиса был устроен триглифно-метопный фриз, карнизы фронтона декорированы модульонами. В качестве ограждения между колоннами располагалась балюстрада. Третья беседка, детская, была совершенно простой, в виде открытого домика с шатровой крышей.

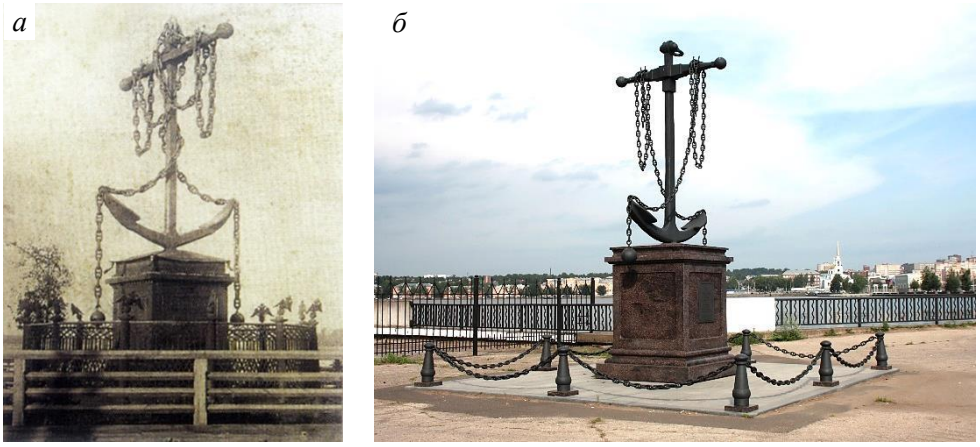


Рис. 4. Памятник-якорь на плотине, фото конца XIX – начала XX в. (*а*) (Воткинский завод вчера, сегодня, всегда / под ред. С.М. Проскурина. Ижевск: ГУП УР «Ижевский полиграфический комбинат», 2009. 200 с.); восстановленный памятник-якорь (1959 г.) (*б*), фото Ю.А. Стояк, 2015 г.

В парке «Отрада» на юго-западной окраине завода был устроен павильон с хорами для оркестра. По описанию Бердникова, в довольно вместительном павильоне нередко проходили концерты, любительские спектакли, танцевальные вечера, а на площадке перед павильоном в особенно торжественные случаи устраивались фейерверки. При павильоне имелась кухня, колодец и погреб[9]. Как видно из чертежа В.Н. Петенкина[10], небольшая беседка также была устроена при Усть-Реченской пристани завода (рис. 5, *г*). Это был прямоугольный в плане объем, огражденный колоннадой с двойными колоннами. Во второй половине XIX в. небольшие беседки иногда устраивались на приусадебных участках жилых домов.

Архитектурно-художественный облик Воткинска конца XIX – начала XX в. невозможно представить без традиционных усадебных ворот, кирпичных и деревянных, имевших свои особенности (рис. 6).

[9] Бердников В.Ф. Посещение Наследником Цесаревичем Александром Николаевичем (бывшим впоследствии Царем Освободителем) Воткинскаго завода в 1837 году // Известия Сарапульского земскаго музея. Вып. 2-й. Сарапул: Типография Н.Е. Ончукова, 1912. С. 1–12.
[10] ЦГА УР. Ф. 212. Оп. 1. Д. 3534. Л. 16.

Рис. 5. Воссозданные беседки Дома-музея П.И. Чайковского:
а – летняя двухэтажная беседка, фото Ю.А. Стояк, 2015 г.; *б* – зимняя беседка; *в* – летняя одноэтажная беседка; *г* – беседка Усть-Реченской пристани Камско-Воткинского завода. 1842 г. Архитектор В.Н. Петенкин (ЦГА УР. Ф. 212. Оп. 1. Д. 3534. Л. 16 об (URL: http://gasur.ru/databases/govreestr_detail.php?ID=5723&sphrase_id=13632)

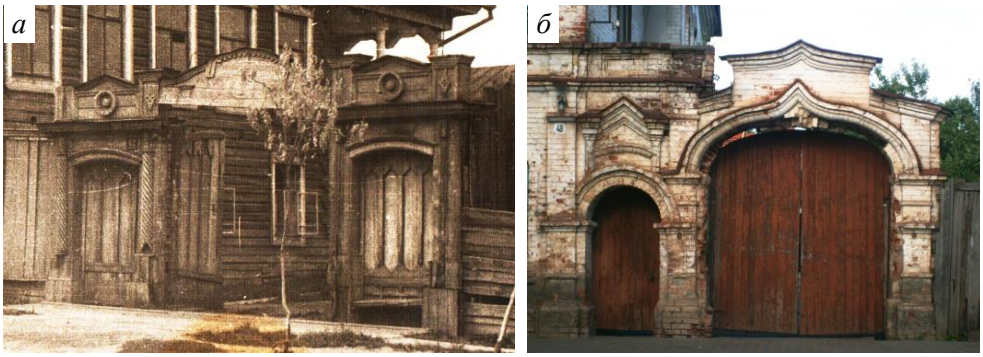


Рис. 6. Несохранившиеся ворота усадьбы по ул. Ленина, 16, в г. Воткинске, фото начала XX в. (*а*) (URL: http://votmuseum.ru/); кирпичные ворота усадебной застройки XIX – начала XX в. в г. Воткинске по ул. 1-е Мая, 48 (*б*), фото Ю.А. Стояк, 2008 г.

И те, и другие ворота, как правило, включали калитку и проезд. Полотна ворот, как кирпичных, так и деревянных, были щитовыми с накладными фигурными филенками. Своеобразный абрис этих декоративных элементов можно наблюдать практически повсеместно на всех сохранившихся воротах. Деревянные ворота завершались прямым карнизом, декорированным резными подзорами и солярными знаками. Над карнизом возвышались выступы опорных столбов. Сами столбы прямоугольного сечения украшались пилястрами и круглыми солярными знаками. Кирпичные ворота в основном имели проездную трехцентровую арку с килевидным архивольтом и завершались фигурным аттиком. Калитка устраивалась ниже по высоте с собственным аттиком аналогично проездной арке. Опорные столбы ворот декорировались пилястрами. Иногда в них устраивалось кольцо коновязи. Сложные в декоративном отношении деревянные ворота к настоящему времени в Воткинске не сохранились, однако на исторической фотографии жилого дома по ул. Ленина, 16, запечатлены ворота с двумя калитками и проездной аркой, декорированные витыми колонками и резными элементами (рис. 6, *а*). Крыльца и ограждения палисадников домов мастеровых нередко включали кованые элементы, изготовленные местными мастерами. Это были решетки ограждения, кронштейны, ручки, ящики для писем и т. д. В оформлении подзоров карнизов, водосточных труб и дымников использовалось просечное железо.

Анализ градостроительного развития Воткинска и его архитектурных особенностей отражен в исследованиях авторов, которые могут быть использованы при проектировании в историческом центре Воткинска [13, 14].

В настоящее время система исторических зеленых насаждений Воткинска значительно нарушена. Большинство существовавших ранее парков либо утрачено, либо находится в заброшенном или частично нарушенном виде. Например, от госпитального парка, находившегося на месте современного ДК «Юбилейный», сохранилась всего лишь одна лиственница, возраст которой оценивается приблизительно в 200 лет. Попытки восстановления исторической среды и озеленения были предприняты лишь в отношении музея-усадьбы П.И. Чайковского. В течение реставрационно-восстановительных работ (1985–1990 гг.) на территории усадьбы был воссоздан сад Чайковских с теплицей, где и сегодня продолжается разведение редких растений. В целом же благоустройство города нуждается в реконструкции. К настоящему времени повсеместно наблюдается стихийная растительность, пустыри, устаревшее покрытие дорожно-тропиночной сети. Несоответствие современных элементов благоустройства исторической среде пагубно отражается на архитектурно-художественном облике города-завода Воткинска.

Проблемы благоустройства малых исторических городов рассматривались исследователями советского периода, но до сих пор не потеряли своей актуальности [12]. Среди наиболее значительных проблем, в частности, приводились следующие: низкий уровень благоустройства уличной сети; бессистемное и чрезмерное озеленение на главных улицах; отсутствие единства в монументально-декоративном оформлении; отсутствие пешеходных зон в структуре города; наличие пустырей и развалин на территориях, не освоенных после сноса ветхих зданий; наличие неиспользуемых элементов естественного ландшафта –

захламленных и неблагоустроенных оврагов и др.; неорганизованность и захламленность территории побережья в местах раскрытия некоторых улиц на природное окружение; выход на побережье невыразительных промышленных объектов и инженерных сооружений; обеднение силуэта, панорамы города вследствие утраты исторических архитектурных доминант; случайное размещение вблизи памятников архитектуры современных малых форм и элементов инженерного благоустройства, разрушающих сложившиеся образные характеристики исторической среды. В этот список можно добавить особенно актуальное для нашего времени злоупотребление некачественной и неуместной рекламой, зачастую полностью скрывающей фасады исторических объектов.

В 2015 г. в Воткинске был реализован проект благоустройства набережной заводского пруда. Однако, выполненный в краткие сроки, он не вполне учитывает специфику исторического города. Вместе с тем особенностью любого малого города остается определяющее значение архитектурного облика центральной улицы и набережной (как главного фасада города-завода), на которой расположены практически все значимые в градостроительном и архитектурном плане объекты, и которая таким образом является выразителем индивидуальности города в целом, что возвращает к необходимости тщательного предпроектного анализа перед началом любых проектных работ. При проектировании благоустройства в историческом городе, кроме обязательного градостроительного и социологического анализа ситуации, должны проводиться историко-архивные исследования, направленные на выявление уникальных особенностей каждого конкретного города и места в системе города, которые могут найти отражение в общей концепции проекта и характере элементов. Такой подход, распространенный при проектировании благоустройства за рубежом и в ряде российских городов, способствует сохранению их архитектурно-художественного своеобразия.

Библиографический список

1. *Лотарева Р.М.* Города-заводы России, XVIII – первая половина XIX века. Екатеринбург : Сократ, 2011. 288 с.
2. *Нельзин А.В.* Родословная Нельзиных – мастеровых Воткинского завода. Записки по истории горного города. Воткинск : Самиздат, 2005. 307 с.
3. *Скачкова А.П.* Природа забыла о времени // Воткинские вести. 1999. № 153. 22 ноября. С. 10.
4. *Кириченко Е.И.* Русская архитектура 1830–1910-х годов. Москва : Искусство, 1978. 400 с.
5. *Скачкова А.П.* Дорожили честным именем // Воткинские вести. 2000. № 48. 15 апреля. С. 10.
6. *Городской информационный портал Воткинск Online*. URL : http://votkinskonline.ru/
7. *Чинькова Л.А., Комлева И.В.* Воткинск. Любимый город. Ижевск : Издательский дом «Парацельс», 2005. 108 с.
8. *Васина Т.А.* Камско-Воткинский завод в региональной печати второй половины XIX в.: общественно-культурная среда промышленного центра (по материалам «Вятских губернских ведомостей») // Вестник ВятГГУ. Серия «История и юридические науки». 2012. № 4 (5). С. 16–22.
9. *Горбачева С.В., Никонова Е.П.* Воткинск. Документы и материалы. 1758–1998. Ижевск : Удмуртия, 1999. С. 77–78.
10. *Традиции, преемственность, стабильность*. Воткинский завод – 255 лет / под ред. С.М. Проскурина. Ижевск : Изд-во Е.А. Коханова, 2014. 199 с.

11. *По родному краю*: Исторические и культурные достопримечательности Удмуртии / под ред. Е.Ф. Шумилова. Устинов : Удмуртия, 1987. 200 с.
12. *Коробова Г.В.* Повышение эстетических качеств пространственной среды центров малых городов средствами архитектурно-ландшафтного благоустройства // Архитектура. Районная планировка. Градостроительство. 1987. Вып. 10. 52 с.

REFERENCES

1. *Lotareva R.M.* Goroda-zavody Rossii, XVIII – pervaya polovina XIX veka: monografiya [Industrial cities of Russia in the 18–19th centuries]. Ekaterinburg: Sokrat, 2011. 288 p. (rus)
2. *Nel'zinyh A.V.* Rodoslovnaya Nel'zinyh – masterovyh Votkinskogo zavoda. Zapiski po istorii gornogo goroda [Pedigree of the Nelzins, artisans of the Votkinsk factory. Notes on the history of mining cities]. Votkinsk, 2005. (rus)
3. *Skachkova A.P.* Priroda zabyla o vremeni [Nature forgot about the time]. *Votkinskie vedomosti*. 1999. No. 153. P. 10. (rus)
4. *Kirichenko E.I.* Russkaya arhitektura 1830–1910-h godov [Russian architecture of the 1830–1910s]. Moscow: Iskusstvo, 1978. 400 p. (rus)
5. *Skachkova A.P.* Dorozhili chestnym imenem [Treasured an honest name]. *Votkinskie vesti*. 2000. No. 48. P. 10. (rus)
6. Gorodskoy informatcionny portal Votkinsk Online [Votkinsk Online]. Available: http://votkinskonline.ru/ (rus)
7. *Chinkova L.A., Komleva I.V.* Votkinsk. Lyubimyi gorod [Votkinsk is a favorite city]. Izhevsk: Partsel's, 2005. 108 p. (rus)
8. *Vasina T.A.* Kamsko-Votkinskii zavod v regional'noi pechati vtoroi poloviny XIX v.: obshchestvenno-kul'turnaya sreda promyshlennogo tsentra (po materialam «Vyatskikh gubernskikh vedomostei») [Kama-Votkinsk plant in the regional press of the 19th century: socio-cultural environment of the industrial center (based on materials from the Vyatka Provincial Gazette)]. *Vestnik VyatGGU. Ser. Istoriya i yuridicheskie nauki*. 2012. No. 4 (5). Pp. 16–22. (rus)
9. *Gorbacheva S.V.* Votkinsk. Dokumenty i materialy. 1758–1998 [Votkinsk: documents and materials. 1758–1998]. Izhevsk: Udmurtiya, 1999. 354 p. (rus)
10. *Proskurin S.M., Ed.* Tradicyi, preemstvennost, stabilnost. Votkinsky zavod – 225 let [Traditions, continuity, stability. 225 years to Votkinsk plant]. Izhevsk: E.A. Kohanov izd., 2014. 199 p. (rus)
11. *Shumilov E.F., Ed.* Po rodnomu krayu: istoricheskiye i kulturnye dostoprimechatelnosty Udmurtii [In the native land: historical and cultural sights of Udmurtia]. Ustinov: Udmurtiya, 1987. 200 p. (rus)
12. *Korobova G.V.* Povysheniye esteticheskyh kachestv prosranstvennoy sredy centrov malyh gorodov sredstvami architekturno-landshaftnogo blagoustroystva [Architectural and landscape improvement of spatial environment of small-city centers]. *Arkhitektura. Raionnaya planirovka. Gradostroitel'stvo*. 1987. No. 10. 52 p. (rus)

Сведения об авторах

Стояк Юлия Александровна, канд. архитектуры, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, yulia.stoyak@yandex.ru

Романова Лариса Степановна, канд. архитектуры, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, lara235@yandex.ru

Authors Details

Yuliya S. Stoyak, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, yulia.stoyak@yandex.ru

Larisa S. Romanova, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, lara235@yandex.ru

УДК 712.23 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-42-58

В.Г. ЗАЛЕСОВ, Э.Э. МАМЕДОВА, Т.Н. МАНОНИНА,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

ЛАГЕРНЫЙ САД: АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ГОРОДСКОГО ПАРКА ТОМСКА В КОНЦЕ XIX В.

В статье в хронологической последовательности на новом иконографическом и текстовом материале рассматривается начальный этап архитектурно-планировочного формирования в конце XIX в. городской парковой зоны Томска – Лагерного сада. Территория начала благоустраиваться и озеленяться во второй половине 1870-х гг. благодаря деятельности томского губернского воинского начальника полковника (позже генерала) Ф.А. Нарского. Рассматривается его вклад в благоустройство и озеленение летних военных лагерей, которые к концу XIX в. стали доступным для горожан парком. На основе архивных документов графически реконструирована архитектурно-планировочная структура собственно военного лагеря и его парковой части.

Ключевые слова: Лагерный сад; военные лагеря; генерал Ф.А. Нарский; озелененное пространство; благоустройство; городская среда; городской парк; Томск.

Для цитирования: Залесов В.Г., Мамедова Э.Э., Манонина Т.Н. Лагерный сад: архитектурно-планировочное формирование городского парка Томска в конце XIX в. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 42–58.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-42-58

V.G. ZALESOV, E.E. MAMEDOVA, T.N. MANONINA,
Tomsk State University of Architecture and Building

LAGERNY PARK: ARCHITECTURE AND PLANNING LATE IN THE 19th CENTURY

The article considers the initial stage of architectural and planning development of the Lagerny Park late in the 19th century using new iconographic and textual material. The territory began to be landscaped in the second half of the 1870s, through to the activities of F.A. Narsky, the Tomsk provincial military chief colonel. His contribution to the improvement and landscaping of summer military camps is considered herein. On the basis of archival documents, the architectural and planning structure of the military camp is graphically reconstructed.

Keywords: Lagerny Park; military camp; F.A. Narsky; green space; landscaping, city park; urban environment; Tomsk.

For citation: Zalesov V.G., Mamedova E.E., Manonina T.N. Lagernyi sad: arkhitekturno-planirovochnoe formirovanie gorodskogo parka Tomska v kontse XIX v. [Lagerny Park: architecture and planning late in the 19th century]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 42–58.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-42-58

В последние годы значительно возросло внимание общества к городским публичным и общедоступным пространствам, к уровню их благоустрой-

© Залесов В.Г., Мамедова Э.Э., Манонина Т.Н., 2019

ства и озеленения. Потребность социума в таких территориях определила создание государственной программы, направленной на формирование комфортной городской среды[1]. В настоящее время муниципалитетами российских городов разрабатываются масштабные программы по обустройству общественных пространств. Благоустройство улиц, площадей, дворов, пешеходных зон имеет первостепенное значение для формирования социальных общественных территорий. Здесь, на наш взгляд, особого отношения требуют те городские озеленённые участки земли, которые сложились исторически, благодаря культурным и социальным предпосылкам. Одной из таких территорий является парк «Лагерный сад» в Томске.

Обзор современной литературы показал, что, несмотря на появившиеся в последнее время публикации, общая и полная картина формирования и развития озеленённых пространств Томска в XIX–XX вв. далека до детальной проработки и имеет множество «белых пятен». Публикации А.Г. Караваевой [1], Э.К. Майданюка [2], Э.Э. Мамедовой [3], Т.Н. Манониной [4], В.А. Морякиной [5], В.Г. Залесова [6], О.В. Гефнер [7] освещают лишь отдельные аспекты озеленения и благоустройства города, рассматривая сады, парки и скверы Томска в контексте специфических исследовательских задач. Недостаточно внимания уделено крупнейшей парковой зоне Томска – Лагерному саду, истории его благоустройства и озеленения в конце XIX – начале XX в.

Новые привлечённые иконографические и текстовые материалы, почерпнутые из архивных источников, литературных публикаций и периодической печати, позволяют значительно расширить современное представление о начальном этапе формирования крупнейшего парка города, его архитектурно-планировочной организации.

Достоверно неизвестно, когда была выделена земля и выстроены военные казармы на берегу р. Томи. К слову сказать, об этом не имела представления даже Томская городская дума, которая на своем заседании от 19 августа 1885 г., где был поднят вопрос о плате за землю, занимаемую лагерями, констатировала: «Неизвестно когда и по какому распоряжению на берегу р. Томи занято было место для военного лагеря»[2].

В краеведческой литературе распространено мнение, что уже в начале XIX в. здесь размещались «летние квартиры» местного гарнизона[3]. На верхней террасе склона были установлены деревянные казармы (возможно, лагерь первоначально был палаточным), построены гарнизонный цейхгауз (военный склад) и другие необходимые сооружения, а также был разбит огород. По утверждению исследователей, филологов Томского государственного университета, именно от военных лагерей местного гарнизона и произошло историческое название топонима – Лагерный сад[4].

Публикации местной периодической печати, а также воспоминания современников позволяют нам утверждать, что в конце 50-х гг. XIX в. военные

[1] Федеральный проект «Формирование комфортной городской среды». Срок начала и окончания проекта: 01.10.2018–31.12.2024. URL: http://www.minstroyrf.ru/tra-des/go rodskaya-sreda/ strategicheskoe-napravlenie-razvitiya-zhkkh-i-gorodskaya-sreda/ (дата обращения: 10.09.2019).
[2] Сибирский вестник. 1885. 22 августа. № 15.
[3] Славнин В.Д. Томск сокровенный. Томск, 1991. С. 25.
[4] История названий томских улиц. Томск, 2012. С. 145.

летние лагеря уже достаточно длительное время существовали на берегу Томи. Горожане охотно посещали их, чтобы «послушать музыку и погулять». Приведем эти свидетельства. Зимой 1858 г. в газете «Томские губернские ведомости» под псевдонимом «За Ангарский Сибиряк»[5] публикуется серия краеведческих статей под общим названием «Очерки г. Томска». Во втором номере газеты автор, которым являлся чиновник, советник Томской казённой палаты Н.И. Виноградский, дважды упоминает летние военные лагеря, расположенные на юге города: «По верхней елани, минуя тюремный замок, виднеют ***воинские лагери*** (выделено нами. – *авт*.), расположенные на крутом берегу Томи, откуда прекрасный вид, открывающий в отдалении каменную церковь в зелени, на Басандайке – даче Поповых»[6]. На следующей странице газеты находим другое упоминание: «Если взять крайние точки измерения длины города, то от порохового погреба на Иркутском тракте до ***военных лагерей*** (выделено нами. – *авт*.) на берегу р. Томи, будет протяжения по прямой линии 5 вёрст 75 саж. (5,5 км. – *авт*.)»[7].

Другой журналист губернской газеты, скрывшийся за псевдонимом «О.П.»[8] в статье «Окрестности г. Томска», также опубликованной в 1858 г., отмечает летние военные лагеря следующим образом: «Народных гуляний за городом не бывает, и публика довольствуется общественной рощей, в самом городе расположенной, или прогулкой ***в лагерь*** (выделено нами. – *авт*.) во время вступления туда квартирующего в Томске батальона войск Сибирского отдельного корпуса»[9].

В воспоминаниях ещё одного жителя Томска, сына вышеназванного советника Виноградского, также есть упоминание о солдатских лагерях. Во второй половине 1850-х гг. Володя Виноградский (1848–1899) учился в Томской гимназии (1–5 классы). Он следующим образом описывал южную часть окрестностей города: «…дорога дальше шла к перевозу через реку Томь на Московский тракт. Невдалеке находились ***солдатские лагери*** (выделено нами. – *авт*.), занимающие высокий берег Томи. Сюда часто ездили горожане послушать музыку и погулять в окрестных лесочках лагеря»[10]. Здесь однозначно речь идет не о парке как культивированном озеленении, а лишь об «окрестных лесочках». Более правильно было бы сказать – о естественном лесе, расположенном, по всей видимости, в восточной части от участка казарм, поскольку территория Лагерного сада практически не имела растител-

---

[5] Псевдонимы «За Ангарский сибиряк», «Н.В.» принадлежали советнику Томской казенной палаты, литератору, историку и одному из первых томских краеведов Николаю Ильичу Виноградскому (1814 (?) – 1859) (Шевцов В.В. «Томские губернские ведомости» (1857–1917) в социокультурном и информационном пространстве Сибири. Томск, 2012. С. 63).

[6] Виноградский Н.И. Очерки г. Томска // Томские губернские ведомости. 1858. 10 января. № 2. Часть неофициальная. С. 10.

[7] Там же. С. 11.

[8] Псевдоним «О.П.» принадлежал советнику Томского губернского правления Олимпану Гавриловичу Павлову, который визировал допуск в тираж газеты «Томские губернские ведомости» в конце 50-х гг. XIX в. (Шевцов В.В. «Томские губернские ведомости» … С. 63).

[9] Павлов О.Г. Окрестности г. Томска // Томские губернские ведомости. 1858. 14 февраля. № 7. Часть неофициальная. С. 50.

[10] Виноградский В.Н. Записки В.Н. Виноградского // Русская старина. Т. 167. Санкт-Петербург, 1916. С. 441–454.

ности (об этом мы скажем ниже по последовательности изложения материала). В данном воспоминании впервые говорится о музыке, музыкальных оркестровых программах, которые исполнялись для приходящих горожан.

Первое графическое изображение военных лагерей встречается на плане Томска начала 1860-х гг. На этом плане, составленном инженер-подпоручиком В.К. Фадеевым, изображена южная часть города. В «объяснениях» к нему под № 18 как «существующие ныне казенные и общественные здания» показан «военный лагерь»[11] (рис. 1).

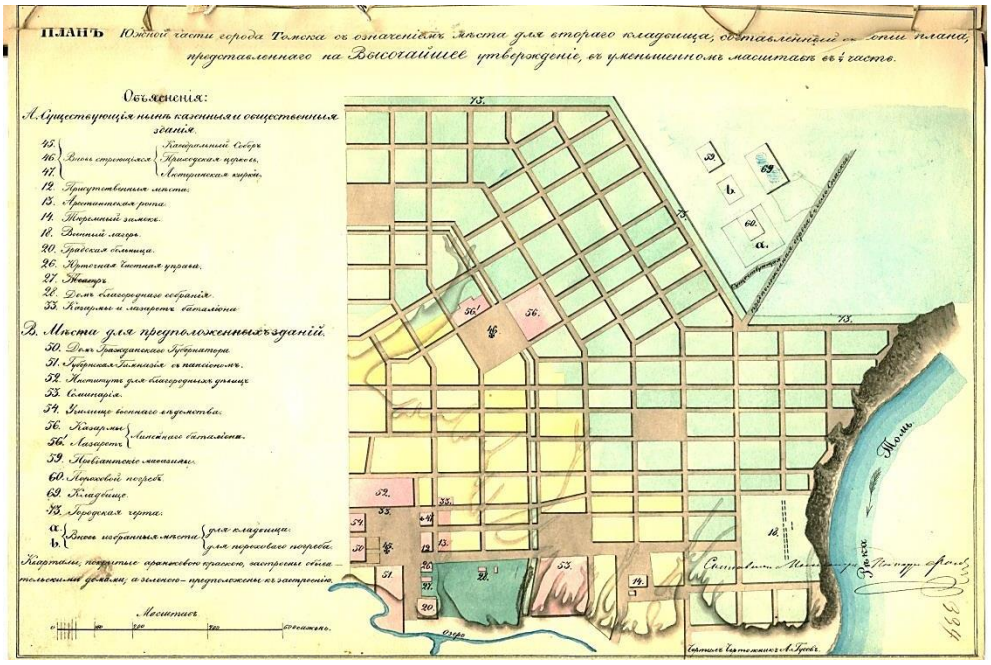


Рис. 1. План южной части г. Томска. Составлен инженер-подпоручиком В.К. Фадеевым. Начало 1860-х гг. Из фондов ГАТО

Более подробная экспликация этой территории имеется на плане Томска 1872 г.[12] На нем участок летнего расположения войск показан как местность, находящаяся за городской чертой. Из существующих строений на плане были обозначены: «военный лагерь» (№ 27) и «дом при верхнем перевозе» (№ 52). С восточной и западной сторон от лагерей изображены территории магометанских кладбищ (№ 57) (рис. 2). Планом предусматривалось строительство новых сооружений, таких как «провиантские магазины» (№ 65) и «пороховой погреб» (№ 66). В западной стороне от лагеря был выделен квартал с зелёными полосками, который, вероятнее всего, фиксировал существующие сельскохозяйственные угодья военного ведомства – поле и огород. С восточной стороны на плане были обозначены предполагаемые к постройке «кирпичные сараи» (№ 73) и существующая дорога в с. Спасское. Лишь частично на этой загородной территории

[11] ГАТО. Ф. 6. Оп. 1. Д. 1059. Л. 334.
[12] ТОКМ. 10739/67.

чертёжником были прорисованы зелёные насаждения, которые, впрочем, в картографии того времени обозначались с большой долей условности.

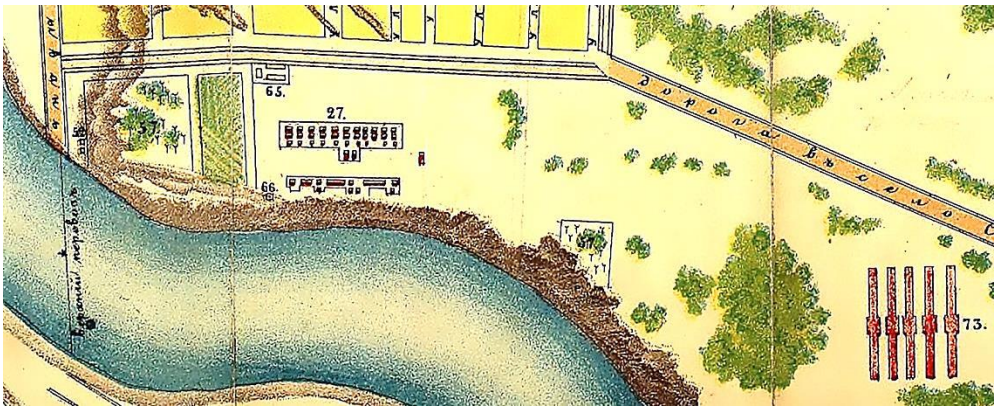


Рис. 2. Фрагмент плана 1872 г. южной части г. Томска. Из фондов ТОКМ

Строения лагерей показаны достаточно схематично. Тем не менее по их изображению можно судить о планировочной организации военного поселения. Лагерь состоял из двух территорий – северной и южной, где в регулярном порядке располагались здания. На северном участке прорисовано три длинных линии строений, южный участок имеет две линии построек. Между этими участками, в центре лагеря, показано пространство, свободное от застройки и растительности.

В 1873–1874 гг. городское управление Томска провело межевание губернской столицы. Землемером Н.А. Дягилевым вскоре был составлен новый проект городского плана, который был утверждён только в 1883 г. По этому проекту южная территория Томска до р. Томи вошла в состав городских земель. В городской думе неоднократно поднимался вопрос о плате за аренду земли, занимаемой военным ведомством[13]. Управе было дано поручение определить общую площадь, закреплённую за летними лагерями, что и было сделано в 1877 г. городским архитектором В.В. Хабаровым и городским землемером Н.А. Дягилевым. «План лагерей Томского местного батальона, снятый инструментально с натуры», на наш взгляд, – это наиболее точное графическое изображение военных лагерей. По чертежу видно, что была сделана топографическая сьёмка, которая производилась для подсчета площади занимаемой городской территории.

Вокруг лагерей показаны запланированные к застройке прямоугольные городские кварталы. Один из них был предназначен для строительства зданий капитальных казарм, другие назначались «для обывательской застройки». В центре чертежа достаточно детально прорисован военный лагерь, занимающий прямоугольную территорию, которая с южной стороны примыкала к бровке горы над р. Томью. С северной стороны лагерей располагалась прямоугольная в плане площадь-плац (рис. 3).

[13] Свод постановлений Томской городской думы с 1874 по 1881 год. Томск, 1901. С. 403–404, 600.

Рис. 3. «План лагерей Томского местного батальона, снятый инструментально с натуры», составленный городским архитектором В.В. Хабаровым и городским землемером Н.А. Дягилевым, 1877 г. Из фондов ГАТО

На этом плане впервые отмечена зелёная зона в центре лагерной территории. На северной территории лагеря в две линии застройки показаны регулярно расположенные прямоугольные в плане строения: солдатские деревянные казармы – бараки. Первая линия северной застройки дополнена квадратным в плане строением правее центра, которое можно идентифицировать как дежурную беседку, или караульную двухъярусную вышку. На третьей линии застройки этой части лагерей располагались офицерские казармы. Старые фотографии, изображающие лагерь с северной стороны, подтверждают эти предположения (рис. 4, 5).

Центральная часть территории лагеря составляла собственно сад с вкраплением общественных зданий. Известно, что в лагере были построены здания офицерского собрания и библиотеки, а также отдельно расположенный в центре территории дом начальника батальона с канцелярией (рис. 6).

На чертеже показаны два участка озеленения. Квадратный в плане западный участок содержит здание Н-образной (трудно различимо. – *авт.*) конфигурации в плане. По всей видимости, это общественное здание: либо офицерская столовая, либо здесь размещалась лагерная походная церковь, которая была пожертвована батальону около 1880 г. супругой богатого томского купца-мецената Ф.Е. Цибульской[14].

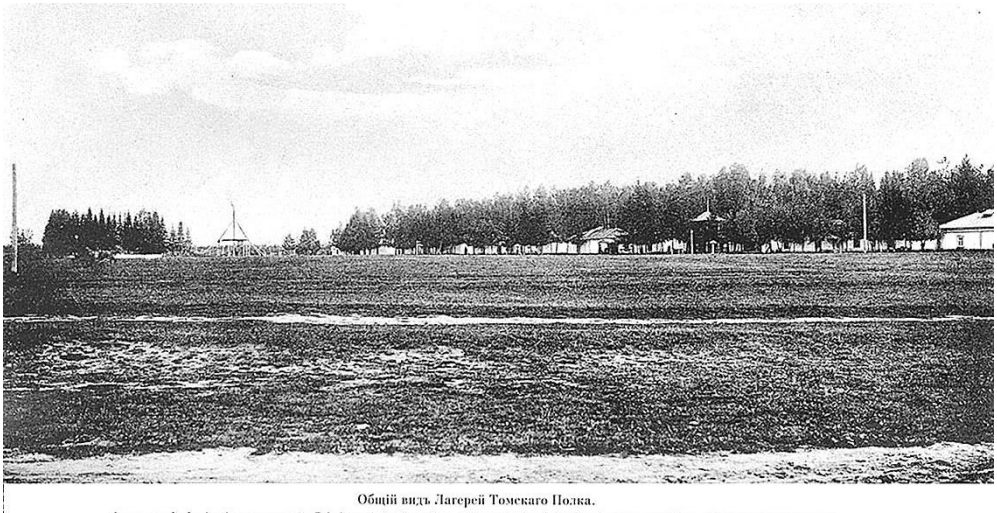
В центральной части плана показана прямоугольная территория сада, которая по узкой аллее выходит к югу и, расширяясь полукругом, подступает

[14] Сибирский вестник. 1893. 29 июня. № 74.

к бровке р. Томи. Выход от регулярного парка к южной территории, к реке, по аллее был выполнен как элемент ландшафтного сценария. Вероятнее всего, на бровке речного склона в качестве восьмигранника было обозначено строение, которое являлось двухъярусной беседкой-ротондой, изображённой на одной из фотографий конца XIX в. (рис. 7).

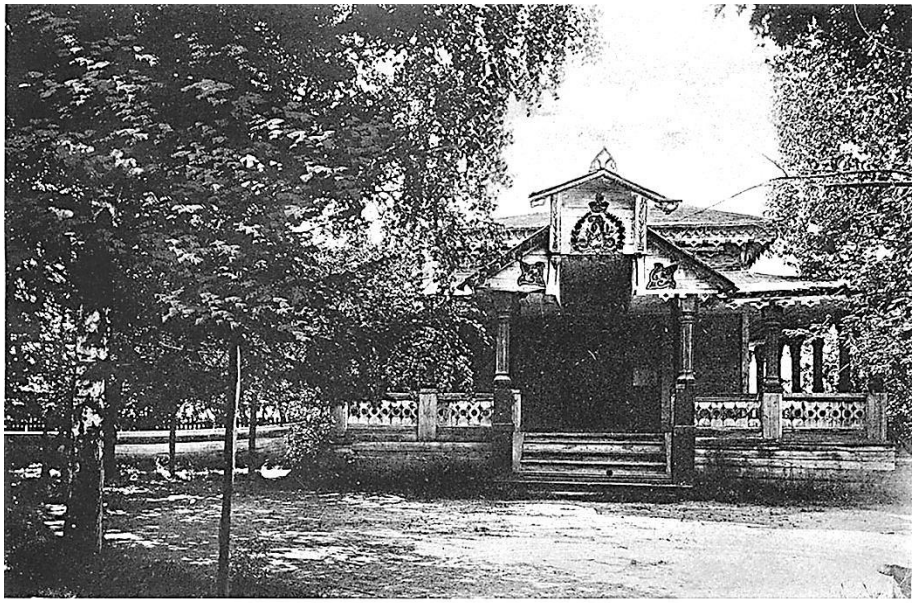
Лагери Томск. полка Дежурн. бесѣдка.
Les camps du Régiment de Tomsk. Le Kiosque de Serviѐe. — Tomsk'sche Regiments-Lager. Dienst-Kiosk.

Рис. 4. Общий вид на казармы с дежурной беседкой военных лагерей Томского полка с северной стороны. Фотография из альбома «Виды Томска», 1910 г.



Общій видъ Лагерей Томскаго Полка.
La vue générale des camps du Régiment de Tomsk. — Gesamt-Ansicht des Lagers des Tomsk'schen Regimentes.

Рис. 5. Общий вид на казармы военных лагерей Томского полка с северной стороны. Фотография из альбома «Виды Томска», 1910 г.



Лагери Томск. полка Здание библіотеки.
Les camps du Régiment de Tomsk. Le bâtiment de la bibliothèque. — Tomsk'sche Regiments-Lager. Bibliothek-Gebäude.

Рис. 6. Здание библиотеки и военного собрания летних лагерей Томского полка. Фотография из альбома «Виды Томска», 1910 г.

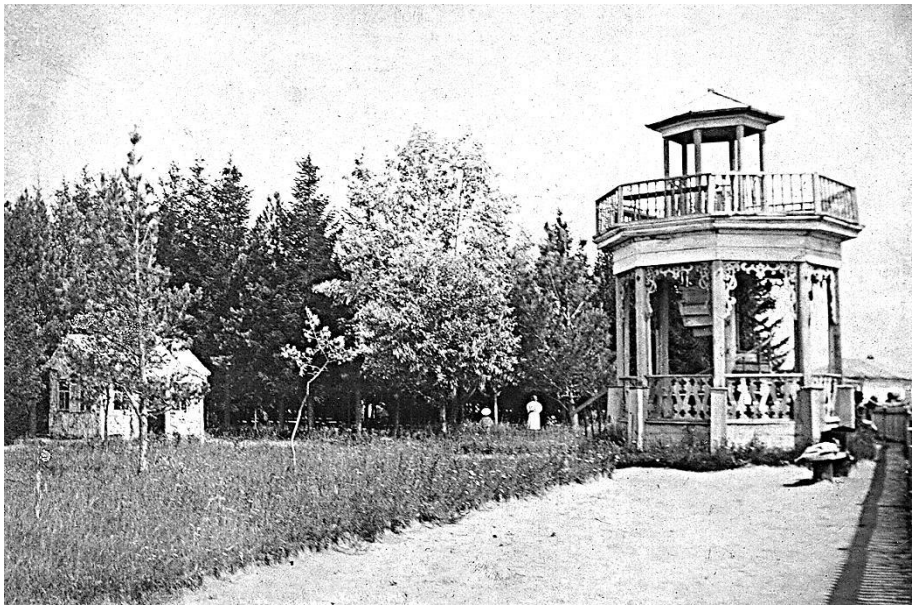


Рис. 7. Беседка-ротонда Лагерного сада, 1899 г. Фотография из фондов ТОКМ

Застройка южной части лагерей, примыкающая к обрывистому берегу реки, в своей первой линии, вероятно, представляла различные вспомогательные строения (прачечная, баня, пекарня, мастерские, складские и пр.). Поми-

мо названных сооружений, в восточной части плана показаны «*место для стрельбы*» – полигон для огневой подготовки и «*место для гимнастики*», о котором мы скажем ниже.

Известно, что по просьбе Ф.А. Нарского в 1879 г. на территорию летних лагерей были перевезены «драгоценные для жителей Томска памятники» – лодка и павильон, которые сохранились от посещения города членов царского дома Романовых[15]. Первая реликвия была связана с пребыванием в 1868 г. великого князя Владимира Романова – третьего сына императора Александра II. На специально построенной лодке томские купцы переправили его через р. Томь в город. Лодка впоследствии хранилась в отдельном деревянном здании, которое со временем обветшало. Ф.А. Нарский обязался обеспечить сохранность этого плавучего средства на территории лагерей. Такое же обязательство военный начальник взял над деревянным павильоном, в котором томское общество принимало четвёртого сына императора великого князя Алексея Романова. Он посещал Томск в 1873 г. Ф.А. Нарский предложил «за свой счёт» привести реликвии в тот вид, какой они имели при встрече августейших особ. Томское общество дало разрешение на перемещение реликвий и от лица городского головы З.М. Цибульского выразило ему признательность. Где на территории военных лагерей размещались эти «томские реликвии», нам достоверно установить не удалось.

План 1886 г., изображающий военные лагеря, уточняет планировку парка, где отчётливо видна регулярная парковая часть и дополнительное озеленение в зоне хозяйственных построек[16] (рис. 8).

Рис. 8. Выкопировка из плана г. Томска 1883 г. Составлена землемером Дроздовским в апреле 1886 г. Из фондов ГАТО

[15] Свод постановлений Томского городской думы с 1874 по 1881 г. Томск, 1901. С. 694.
[16] ГАТО. Ф. 233. Оп. 2. Д. 721. Л. 15.

Дальнейшее изложение темы требует небольшого пояснения. Дело в том, что территория современного Лагерного сада на середину XIX в. (возможно, и ранее) практически не имела древесной растительности. Старые фотографии и литературные источники свидетельствуют об этом. Военные лагеря, как сообщалось в газете «Сибирский вестник», были выстроены на практически «голой» земле, «на совершенно открытом месте»[17] (рис. 9).

В процессе исследования из разных источников было установлено, что, во-первых, именно с середины 1870-х гг. началось активное озеленение и благоустройство территории летних лагерей Томского губернского батальона; во-вторых, такой деятельностью на рубеже 1870–1880-х гг. инициативно занялось томское губернское военное начальство под командованием полковника, а впоследствии генерал-майора Ф.А. Нарского (1826 г. – после 1905 г.) [6].

Рис. 9. Общий вид на берег р. Томи с западной стороны. Ледоход на Томи. Фотография из фондов ТОКМ, начало XX в.

Одним из первых отзывов о начинаниях Ф.А. Нарского по благоустройству и озеленению территории были впечатления устроителя Томского университета В.М. Флоринского. Приехав в Томск в мае 1880 г., он посетил военные летние лагеря и дал следующее их описание: «Под словом “лагери” здесь разумеют десяток домиков барачной системы, выстроенных за городом на высоком и крутом берегу р. Томи, для летнего пребывания солдат местного батальона. Домики разбросаны по **луговой равнине** (выделено нами. – *авт.*) в половину квадратной версты (около 0,6 км^2. – *авт.*); здесь же находятся бараки для офицеров и общая офицерская столовая, она же и клуб. Между постройками и рекой недавно разбит руками солдат довольно обширный садик

[17] Картамышев В.П. [Щукин]. Чем мы живы // Сибирский вестник. 1886. 6 июля. № 53.

с дорожками и беседками, обнесённый деревянною решёткою. Сюда по вечерам приезжают городские жители, чтобы подышать чистым воздухом, а по праздникам послушать военную музыку и солдатские песни. По этому случаю офицерская столовая одновременно играет роль загородного клуба»[18].

Обратил внимание В.М. Флоринский и на сад. Приведём его отзыв: «Сам по себе он (сад. – *авт*.) не представлял ничего особенного. Дорожки очень узки и по местам грязны; деревья посажены слишком густо, потому, несмотря на свою незначительную высоту (сад недавно разбит), они настолько затеняют проход, что при частых в Томске дождях дорожки не успевают просыхать. Впоследствии, вероятно, придется вырубить половину деревьев, чтобы дать простор движению воздуха. Лучшая сторона лагерей – это берег Томи. Высокий, обрывистый, он дает прекрасный вид на заливную долину реки, простирающуюся не менее 8–10 вёрст»[19]. Отзыв В.М. Флоринского достаточно критический, тем не менее он даёт нам информацию о благоустройстве шестилетнего сада.

Помимо воспоминаний В.М. Флоринского, отметим информацию из местной периодической печати, характеризующую сад военного лагеря. В городской газете «Сибирский вестник» обнаружилось несколько заметок по теме. В августе 1885 г. репортер, который давал информацию о заседании Томской городской думы, повествовал: «… лагерь, благодаря заботам и распорядительности начальства, превратился в сад, представляет единственное и любимое горожанами место для гуляния»[20]. В этом же номере газеты журналист делился впечатлением об устройстве водопровода в военных лагерях: «В лагерях Томского батальона мы видели сооружение, обязанное своим устройством сообразительности механика-самоучки, простого солдата. Лагери, хотя и расположены на берегу Томи, не имели удобного водоснабжения, и ежедневно несколько людей и лошадей были заняты возкою воды для батальона. У подножья крутого берега Томи, на высоте 18 сажень (38,4 м. – *авт.*) бьют два ключа превосходной воды, но добывать ее оттуда было трудно. Солдат-механик по фамилии Подольский[21] придумал весьма простое приспособление для подъёма воды из этих ключей на берег. Посредством двух поршней, приводимых в действие одной лошадиной силою или даже 6 людьми, вода поднимается наверх в количестве до 1000 вёдер в час (12,3 м^3. – *авт*.) по наклонной железной трубе длиною в 33 саж. (64,01 м. – *авт*.). Когда первые опыты подъёма оказались удачны, был устроен резервуар, из которого проведены трубы во все роты, и теперь вода у всех частей батальона под рукой. У каждой роты свой кран, и недостатка в воде нет никогда. Предполагается еще устроить перед лагерями общий бассейн, а в саду фонтан. Мы слышали, что приспособлением Подольского уже пожелал воспользоваться женский монастырь»[22].

---

[18] Флоринский В.М. Заметки и воспоминания // Русская старина. Т. 126. СПб., 1906. С. 145–146.
[19] Там же. С. 146.
[20] Сибирский вестник. 1885. 22 августа. № 15.
[21] В следующей газетной публикации уточняется, что солдат-новобранец был призван на службу в 1882 г. из Томской губернии. Вместе с отцом занимался слесарным мастерством (Сибирский вестник. 1886. 6 июля. № 53).
[22] Сибирский вестник. 1885. 22 августа. № 15.

Через год журналист этой же газеты восторженно отмечал, что «…вместо казарменного вида построек» лагерь представляет собой «…ряд дач, утонувших в зелени: это бараки», «всюду густой кустарник и высокие деревья». И далее: «По первой линии бараков, в промежутках выступают куртины, густо усаженные разнообразными деревьями и кустами, сзади по линии офицерских бараков в два ряда усажены деревья, образующие совершенно прямую, широкую, тенистую аллею. В середине лагеря барак батальонного командира – это домик, поставленный в саду. Без преувеличения можно сказать, что *мало в местах расположения войск во всей России найдется таких лагерей, как наш* (выделено нами. – *авт.*)». Здесь же отмечалось, что в саду есть фонтан, зал для танцев, который также приспособлен для игры в кегли, «исполинские» шаги, беседки, цветочные клумбы, особый резервуар для воды, водопроводная система, снабжающая все бараки и кухни[23]. С 1886 г. вход в парковую часть военных лагерей был сделан бесплатным. Горожане с благодарностью оценили это событие, называя Лагерный сад «благодатным оазисом для томичей, обречённых прожить все лето в городе»[24].

Высокую оценку устройству и озеленению лагеря дали два военных чиновника, которые проводили осмотр местного батальона. В августе 1887 г. Томск в качестве гостя посетил командующий Иркутским военным округом, генерал-губернатор Восточной Сибири граф А.П. Игнатьев. В местной печати это событие достаточно широко освещалось. В заметках газеты «Сибирский вестник» указывалось на то, что томский лагерь «по своей гигиенической обстановке и удобствам солдатского жития едва ли не лучший во всей России». Были отмечены «обширные казармы павильонной системы», «домики-дачи для всех офицеров», «оригинальный водопровод», «обширный сад» и «чрезвычайно здоровый и свежий воздух». Во время визита графа «были пущены в действие *все* (выделено нами. – *авт*.) фонтаны». Лагерь показывали генерал Ф.А. Нарский и его помощник полковник А.А. Битнер. Был произведен смотр войск с построением, и проведены показательные учения на полосе препятствий. Эти армейские учения дают нам дополнительные сведения об устройстве лагерей, в особенности мало понятного ранее «места для гимнастики». Констатируем, что это место было армейской полосой препятствий. «Гимнастическое поле» состояло из барьеров, рвов и «крупного бруствера, изображавшего неприятельский полевой редут большого профиля». Кроме того, в полосе препятствий был имитирован «разрушенный мост» и высилась «гимнастическая башня»[25].

Визит второго военного чиновника был ревизионным, «для обозрения местных войск». В августе 1888 г. г. Томск, войска которого в составе всей губернии принадлежали к Омскому военному округу, посетил Степной генерал-губернатор Г.А. Колпаковский со свитой. Помимо официальных приемов, посетил генерал и летние военные лагеря. Местная пресса следующим образом освещала это событие, дав еще одну характеристику Лагерному саду: «…уютный земной уголок, разведённый на пустынном берегу Томи неутоми-

[23] Сибирский вестник. 1886. 6 июля. № 53.
[24] Там же. 1887. 17 июля. № 69.
[25] Там же. 1887. 23 августа. № 98.

мым Ф.А. Нарским. Это целая роща с прекрасным садом, среди которого в зелени деревьев приветливо выглядывают бараки для солдат и офицеров. Отдельный водопровод… снабжает все лагери водой. Сад, ежегодно расширяемый и улучшаемый (недавно в нем сделали пруд с проточной водой, с искусственным островком, с кокетливыми гротами по сторонам), служит, как известно, любимейшим местом посещения томичей»[26].

Более подробные сведения об устройстве «пруда с проточной водой» опубликованы в газетном материале, посвященном торжеству открытия Томского университета, которое состоялось 22 июля 1888 г. В Лагерном саду были устроены вечерние «бесплатные народные гуляния». Статья сообщала: «…к торжественному дню открытия университета, благодаря инициативе генерала Нарского, был (Лагерный сад. – прим. *авт*.) украшен очень красивой и интересной новинкой – небольшим прудиком. Общий вид этого пруда, с небольшим каскадом, вытекающим из скалы, красивая беседка в русском вкусе, изящно отделанная берестяной корой, возвышающаяся на небольшом холмике над прудом, каменный грот, мостики с перилами и, наконец, диванчики с круглыми, обшитыми берестой, столиками, прихотливо разбросанные около пруда, – все это производило крайне приятное впечатление и привлекало к себе массу гуляющей публики». Загородное празднество было устроено на средства городской думы, вырученный денежный сбор предназначался «недостаточным студентам» университета. В программе были «военный оркестр музыки», два хора «солдатских песенников», фейерверк, танцы, буфет. В публикации также уточнялось, что сад был очень «искусно распланирован», в нем, помимо известного нам фонтана, были беседки, «детская гимнастика», качели, несколько цветочных клумб[27].

Ровно через год после этого события генерал Ф.А. Нарский уехал на жительство в Санкт-Петербург. По проведенной воинской реформе должность губернских воинских начальников была упразднена, генерал остался «за штатом»[28]. «Прослужил я в Сибири 20 лет, из них большую часть в Томске, с которым сроднился и для которого поэтому всегда желал и стремился сделать что-либо и приятное и полезное», – так сам генерал прощался с горожанами[29].

Еще через год в июле 1890 г. в газете «Сибирский вестник» был озвучен следующий отзыв о военных лагерях: «Некоторое запустение особенно резко бросается по сравнению с блестящим состоянием этого сада при нём (Ф.А. Нарском. – *авт.*). Не совсем укатанные дорожки, не подсыпанные; опавшие и неубранные листья, молчащий фонтан, убогие цветы и тоскливая пустота когда-то вечно оживлённых аллей – все это показывает, что время, когда лагери были средоточием всего томского люда, бегущего от удушливой пыли искать свежего, лесного, надречного воздуха и любоваться чудными видами противоположной лагерям дали, уже прошло»[30]. Также автор статьи отметил: «Нет уже лю-

[26] Сибирский вестник. 1888. 2 сентября. № 50.
[27] Сибирская газета. 1888. 24 июля. № 56.
[28] С образованием в Омском военном округе 26-й Местной бригады управления Губернских воинских начальников округа были расформированы (Приказы по военному ведомству (приказ № 143 от 15.06.1889 г.). СПб., 1889. С. 253).
[29] Сибирский вестник. 1889. 10 сентября. № 104.
[30] Там же. 1890. 29 июля. № 86.

бовной руки хозяина». Удивительно, что по истечении всего одного года, последовавшего после отъезда Ф.А. Нарского, сад пришёл в «некоторое запустение».

Дадим общую архитектурно-планировочную и функциональную характеристику Лагерному саду как месту военного летнего расположения войск и парку на период конца XIX в. (рис. 10). Лагерь занимал обширное пространство прямоугольной, вытянутой с запада на восток территории, которая с южной стороны примыкала к бровке горы над р. Томью. С северной стороны лагеря находилась площадь – плац, который использовался для общих построений, строевых занятий, военных парадов и др. (на плане лит. А). Лагерные строения занимали два участка – северный (казарменный, на плане лит. Б) и южный (хозяйственный, на плане лит. Г), где в регулярном порядке были выстроены деревянные здания. На северной территории лагеря в две линии застройки в широтной ориентации располагались восемнадцать прямоугольных в плане одноэтажных солдатских казарм (на плане под № 1). Первая линия северной застройки в центральной части была дополнена квадратным в плане строением, которое являлось дежурной караульной двухъярусной беседкой (№ 2). На третьей линии застройки этой части лагерей размещалось девять офицерских казарм (№ 3). Южный хозяйственный участок, непосредственно примыкающий к бровке горы, имел две линии вспомогательных построек – это кухни, пекарня, склады, конюшни, другие хозяйственные корпуса различного назначения (№ 9).

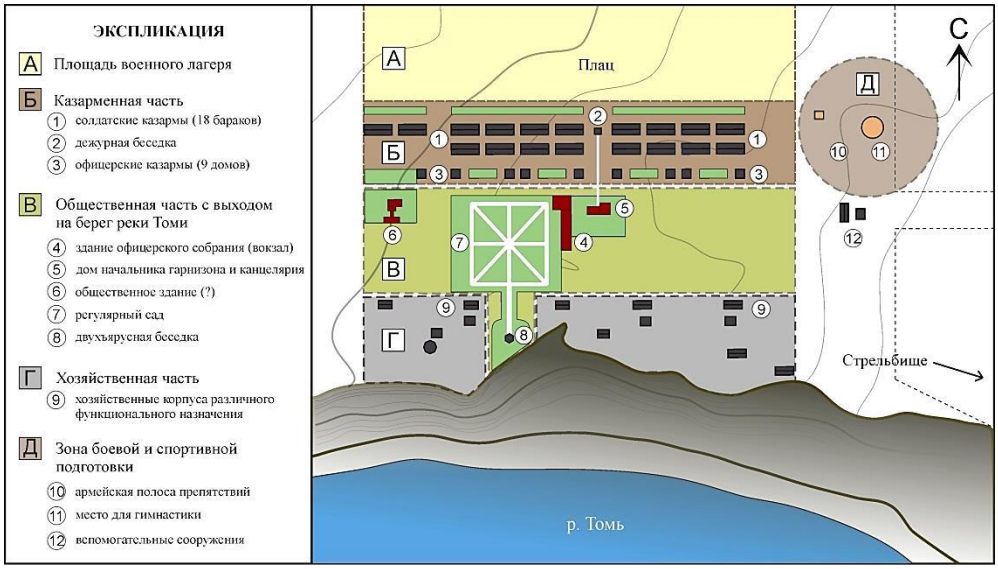


Рис. 10. План-схема участка с расположением летних военных лагерей и парка в Томске, конец XIX в. Графическая реконструкция Э.Э. Мамедовой, В.Г. Залесова, 2019 г.

Между этими двумя участками, в центральной части лагеря, находилась общественная зона (лит. В), которая была доступна не только военным, но и горожанам. Здесь располагалось здание летнего офицерского (военного) собра-

ния (№ 4), в котором находились библиотека, танцевальный зал, «довольно обширная» столовая, небольшой буфет, карточная комната и уборные. В конце 80-х гг. XIX в. это строение в периодической печати часто называется «вокзалом» – так в это время называли здания, предназначавшиеся для развлечений: концертов, танцевальных вечеров и различных увеселений. По своему масштабу оно было крупнее казарменных зданий и имело меридиональное расположение. Восточнее здания военного собрания размещались дом начальника томского батальона и канцелярия (№ 5). Западнее центрального участка в небольшой озеленённой зоне находилось ещё одно общественное здание, его точное функциональное предназначение пока установить не удалось (№ 6). Здесь, возможно, располагались либо офицерская столовая, либо лагерная церковь. Именно это здание летних военных лагерей до недавнего времени в измененном виде функционировало как хозяйственная постройка современного Лагерного сада. Ныне оно снесено, и на его месте построено новое деревянное здание.

В 1879 г. на территорию военных лагерей были перевезены томские реликвии – лодка и павильон, которые сохранились от посещения города членов царского дома Романовых. Однако где на лагерной территории размещались эти материальные свидетельства, нам достоверно установить не удалось.

Центральная часть общественной зоны являлась собственно регулярным парком (№ 7), который был ограждён и «искусно распланирован», на нём было разбито несколько цветочных клумб, расставлены скамейки и беседки. Парк по узкой аллее был связан с береговым мысом, где у самого обрыва возвышалась двухъярусная беседка-ротонда (№ 8). К концу 80-х гг. XIX в. на территории сада был организован пруд с небольшим каскадом, каменным гротом, мостиками и беседкой. Для детей была предусмотрена гимнастическая площадка, качели и карусель. Деревья также были посажены на территории солдатских и офицерских казарм, вокруг общественных зданий, на бровке горы в хозяйственной зоне лагерей.

В небольшом отдалении, в северо-восточной части лагеря, находилась зона боевой и спортивной подготовки (лит. Д). Здесь размещались «место для гимнастики» с «гимнастической башней» (№ 11) и армейская учебная полоса препятствий (№ 10). Барьеры, рвы, «крупный бруствер», «неприятельский полевой редут большого профиля», «разрушенный мост» для отработки эвакуации раненых – основные сооружения, составлявшие полосу препятствий. Южнее территории располагалось несколько вспомогательных сооружений (№ 12). Юго-восточнее летнего лагеря находилось стрельбище.

Расположение лагерного парка в небольшом отдалении от города стало со временем важным преимуществом, которое коммерчески использовалось на рубеже XIX–XX вв. Парк был задействован в качестве увеселительного сада для развлечения томичей в летнее время. В Лагерном саду неоднократно проводились различные представления – народные гуляния. Такие вечера сопровождались танцами под военный оркестр, песнопениями, маскарадами, фейерверками и иллюминацией, «живыми картинами» и другими атрибутами садово-развлекательного отдыха.

Таким образом, в середине XIX в. (более ранних фактов нами не обнаружено. – *авт*.) в Томске в южной от города части, на высоком берегу излу-

чины р. Томи сформировалось утилитарное архитектурно-планировочное образование – летние лагеря местного военного гарнизона. Территория лагерей, зафиксированная на нескольких томских планах, состояла из казарменной части, расположенной на севере занимаемого участка, и части хозяйственной, имеющей южное размещение. Промежуточная между ними территория являлась общественной и служила своего рода буферной зоной между казармами и рекой. Со второй половины 70-х гг. XIX в., благодаря активной деятельности начальника местного гарнизона генерала Ф.А. Нарского, военные лагеря начали благоустраиваться и озеленяться. Солдатские и офицерские казармы обсаживались деревьями и кустами, территория облагораживалась, в общественной части формировалась парковая зона, получившая регулярную планировку и выход к реке, который фиксировался сооружением двухъярусной беседки. Благоустроенная и озеленённая территория летнего военного лагеря в конце XIX в. влилась в жизнь города как парковая зона. В это время она становится доступной для жителей Томска не только как место развлекательного вечернего отдыха, но и как место прогулок для горожан, как пространство для увеселительных и торжественных мероприятий на природе.

Библиографический список

1. *Караваева А.Г.* Лагерный сад – место памяти, место любви // ГАТО. URL : http//www.gato.tomika.ru (дата обращения: 10.09.2019).
2. *Майданюк Э.К.* Сады и парки Томска. Томск : Курсив, 2014. 112 с.
3. *Мамедова Э.Э., Манонина Т.Н.* Архитектурно-планировочное решение коммерческих общественных садов г. Томска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 2. С. 100–114.
4. *Манонина Т.Н.* Озелененные пространства Томска: Лагерный сад (XIX – начало XX в.) // Региональные архитектурно-художественные школы. 2014. № 1. С. 230–232.
5. *Морякина В.А.* История и основные этапы интродукции древесных растений в Томске // Бюллетень Сибирского ботанического сада. Вып. 7. Томск, 1970. С. 7.
6. *Залесов В.Г., Манонина Т.Н., Мамедова Э.Э.* Генерал Ф.А. Нарский – создатель Лагерного сада в Томске // Возможности развития краеведения и туризма Сибирского региона и сопредельных территорий : сб. статей XVIII Международной научно-практической конференции, 31 октября – 1 ноября 2019 г. Томск, 2019. С. 86–90.
7. *Гефнер О.В.* Деятельность военного ведомства в сфере благоустройства западносибирских городов во второй половине XIX – начале XX вв. // Вестник Омского университета. 2016. № 1(9). С. 36–41.

References

1. *Karavaeva A.G.* Lagernyj sad – mesto pamyati, mesto lyubvi [Lagerny Park, a place of memory and love]. GATO. Available: www.gato.tomika.ru (accessed September, 10, 2019). (rus)
2. *Majdanyuk E.K.* Sady i parki Tomska [Gardens and parks of Tomsk]. Tomsk: Kursiv, 2014. 112 p. (rus)
3. *Mamedova E.E., Manonina T.N.* Arkhitekturno-planirovochnoe reshenie kommercheskikh obshchestvennykh sadov g. Tomska [Architectural and planning concept of commercial public gardens in Tomsk]. *Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2018. V. 20. No. 2. Pp. 100–114. (rus)
4. *Manonina T.N.* Ozelenennye prostranstva Tomska: Lagernyj sad (XIX – nachalo XX v.) [Green spaces of Tomsk: Lagerny garden (19–20th centuries)]. *Regional'nye arkhitekturno-khudozhestvennye shkoly*. 2014. No. 1. Pp. 230–232. (rus)

5. *Moryakina V.A.* Istoriya i osnovnye ehtapy introduktsii drevesnykh rastenij v Tomske [History and main stages of introduction of woody plants in Tomsk]. *Byulleten' Sibirskogo botanicheskogo sada*. 1970. No. 7. P. 7. (rus)
6. *Zalesov V.G., Manonina T.N., Mamedova Eh.Eh.* General F.A. Narskij – sozdatel' Lagernogo sada v Tomske [General F.A. Narsky, the creator of the Lagerny garden in Tomsk]. In: Vozmozhnosti razvitiya kraevedeniya i turizma Sibirskogo regiona i sopredel'nykh territorij. Sb. statej XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferentsii, 31 oktyabrya – 1 noyabrya 2019 (*Proc. 18th Int. Sci. Conf. 'Opportunities for the Development of Local History and Tourism in Siberia and Adjacent Territories'*). Tomsk, 2019. Pp. 86–90. (rus)
7. *Gefner O.V.* Deyatel'nost' voennogo vedomstva v sfere blagoustrojstva zapadnosibirskikh gorodov vo vtoroj polovine XIX – nachale XX vv. [Military activities in the field of improvement of West Siberian cities in the 19th and early 20th centuries]. *Vestnik Omskogo universiteta*. 2016. No. 1(9). Pp. 36–41. (rus)

Сведения об авторах

Залесов Валерий Геннадьевич, канд. архитектуры, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vzal@tsuab.ru

Мамедова Эльнура Эльдаровна, магистр архитектуры, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, mamedova9111@gmail.com

Манонина Татьяна Николаевна, канд. ист. наук, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, manonina100@yandex.ru

Authors Details

Valery G. Zalesov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., Tomsk, 634034, Russia, vzal@tsuab.ru

Elnura E. Mamedova, MSc, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., Tomsk, 634034, Russia, mamedova9111@gmail.com

Tat'yana N. Manonina, PhD, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., Tomsk, 634034, Russia, manonina100@yandex.ru

УДК 711.455.(23):711.113(235.222) DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-59-69

П.В. СКРЯБИН,
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет

К МЕТОДОЛОГИИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЮГА СИБИРИ

Актуальность вопросов градостроительного планирования южной части Сибири, включая несколько административных субъектов (Алтайский край, Кемеровскую область, Республику Хакасия, Республику Тыва, Иркутскую область и юг Красноярского края), обусловлена экологическими, экономическими и стратегическими аспектами. Градостроительная деятельность на обширных пространствах с уникальным природно-рекреационным потенциалом, ценными ландшафтами и природными ресурсами сопровождается рядом противоречий между субъектами этой деятельности (властями, предпринимателями, инвесторами и жителями). Каждый участник градостроительной деятельности, ставящий свои приоритеты во главу угла, стремится установить свои виды использования территории и регламенты застройки. Разные интересы пересекаются на одной территории, характер которых определяет пространственную решётку градостроительного освоения, состоящую из узлов (городов и посёлков) и связей между ними, а также природных и транспортных осей. Поэтому градостроительные противоречия следует рассматривать как фактор, определяющий направления освоения территории.

Ключевые слова: территориальное планирование; градостроительство; экология; пространственные решётки; расселение; градостроительная конфликтология; противоречия.

Для цитирования: Скрябин П.В. К методологии градостроительного планирования Юга Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 59–69.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-59-69

P.V. SKRYABIN,
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

METHODOLOGY OF REGIONAL PLANNING OF SOUTHERN SIBERIA

The article is devoted to questions of the sustainable development of a large territory in the southern part of Siberia, including such administrative subjects as Altai, the Kemerovo region, the Republic of Khakassia, the Republic of Tuva, the Irkutsk region and the southern part of the Krasnoyarsk region. The urban planning activity on large space uses exceptional natural landscapes, recreational conditions, natural resources due to controversy between the participants (government, investors, inhabitants). Each participant has priorities and aims at establishing his own building regulations. Different concerns intersect in one territory, which determines a three-dimensional lattice of urban development with located points, nodes (cities and villages), natural and transport axes. Therefore, urban contradictions should be considered as a factor determining the direction of the territory development.

Keywords: regional planning; urban planning; ecology; three-dimensional lattice; resettlement; city-planning conflictology; contradictions.

© Скрябин П.В., 2019

For citation: Skryabin P.V. K metodologii gradostroitel''nogo planirovaniya yuga Sibiri [Methodology of regional planning of Southern Siberia]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 59–69.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-59-69

Юг Сибири занимает обширную полосу вдоль южной границы азиатской части России, от границы с Казахстаном на западе до Байкала на востоке, включая весь западный берег озера, с севера территория ограничена Транссибирской и Байкало-Амурской магистралями. Ориентировочная протяжённость рассматриваемой территории составляет более 2000 км в широтном направлении и около 1000 км в меридиональном, включая несколько административно-хозяйствующих субъектов: Алтайский край, Кемеровскую область, Иркутскую область, республики Горный Алтай, Хакасию и Тыву, а также южную часть Красноярского края. Юг Сибири отличает разряженная сеть транспортных связей. Транспортные оси разделяют обширные пространства крупноячеистой сеткой, между осями которой расположены малоосвоенные земли различного целевого назначения. Эта территория располагает колоссальным природным потенциалом, широкими возможностями для развития ряда отраслей производства, сельского хозяйства и прежде всего ландшафтно-экологическими качествами для развития рекреационной деятельности [12], включая архитектурное наследие исторического города Иркутска – крупного туристического узла [8] (рис. 1).

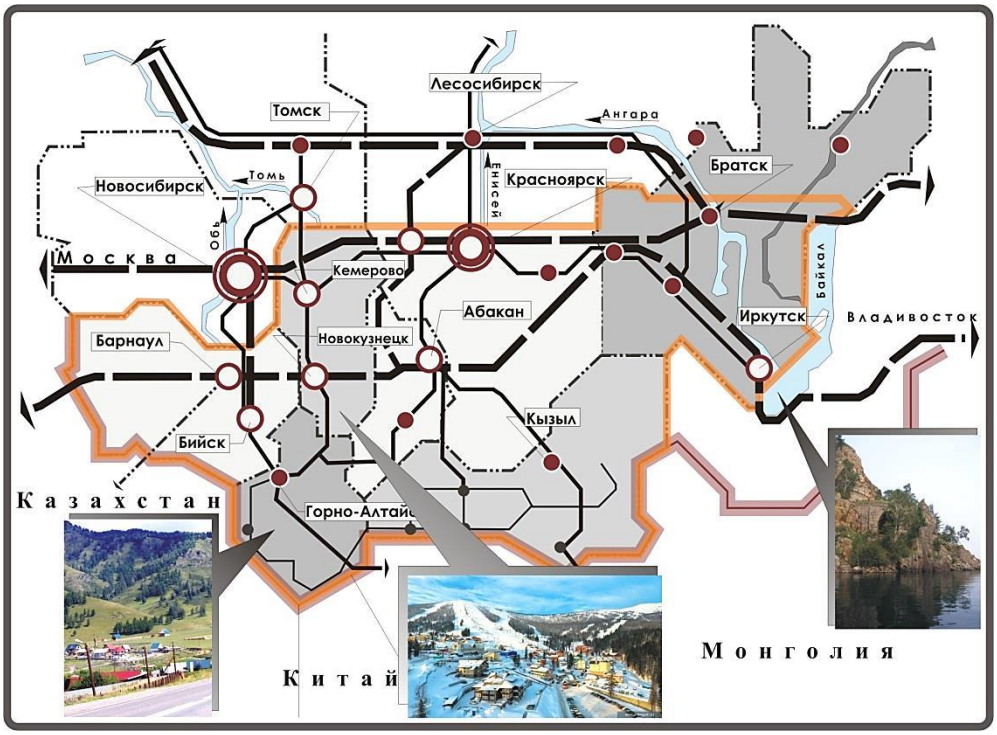


Рис. 1. Границы рассматриваемой территории – Юг Сибири

Необходимость градостроительного освоения Юга Сибири связана с государственными задачами – с обеспечением транспортной и экономической безопасности государства [13], что сопровождается рядом противоречий.

Первое противоречие между стремлением региональных властей к привлечению инвестиций и ограниченными возможностями местных предприятий обусловлено низкой степенью градостроительной освоенности обширных пространств, что ведёт к стихийному расширению хищнического использования природных ресурсов – лесов и водоёмов нелегальными объединениями, наносящими ущерб природной среде.

Второе противоречие между стратегической потребностью государства обеспечить целостность территории и низкоплотной сетью транспортного каркаса, особенностью которого является низкая транспортная связность. Эта особенность наглядно проявляется в пересечении основной сухопутной транспортной оси – Транссибирской магистрали с Байкало-Амурской магистралью в одной точке – Тайшете, наиболее уязвимом месте в плане обеспечения транспортной связи европейской части России с Байкалом и Дальним Востоком.

Третье градостроительное противоречие связано с разнонаправленностью интересов инвесторов, стремящихся к быстрым сверхприбылям, опустошению уникальных природно-ландшафтных территорий с целью добычи энергоресурсов и сырья, с одной стороны, и потребностями жителей, туристов и научного сообщества в сохранении экологической ценности природных ландшафтов, в сохранении культурных, природных и рекреационных качеств территории проживания, с другой стороны. Сохранение экологического баланса требует строгих природоохранных мероприятий и ограничений хозяйственного освоения природных ландшафтов, что значительно ограничивает возможность развития инвестиционной деятельности (рис. 2). Инвестиционная деятельность является важным стимулом экономического освоения территории. Однако без разностороннего развития ряда важных экономических отраслей невозможно планировать комплексное градостроительное развитие всего региона, предотвратить его запустение, обеспечить региональные бюджеты финансовыми средствами на сохранение и восстановление экологических качеств территории. При этом ещё один участник этого противоречия – органы власти, которые стремятся занять позицию арбитра между всеми конфликтующими сторонами, оказываясь бездеятельными и бессильными в отношении возможной опустошительной экспансии со стороны сопредельного более сильного в материально-техническом плане государства – Китая. Это также представляет возможную угрозу экономическому развитию и сохранению экологического баланса на Юге Сибири.

Сочетание этих основных противоречий, возникающих между разными участниками градостроительной деятельности, имеющих разные приоритеты (экономические, рекреационные, природоохранные), обуславливает проблематику исследуемой территории для её дальнейшего освоения [11].

Цель статьи – выявление, изучение и обоснование градостроительного освоения и развития природно-ландшафтных территорий в системе расселения южной части Сибири. Цель определяет задачи:

– найти градостроительные методы и подходы к решению выявленных противоречий;

– определить направление разработки методологических основ для градостроительного освоения Юга Сибири в целях рационального природопользования и сохранения уникальных ландшафтов.

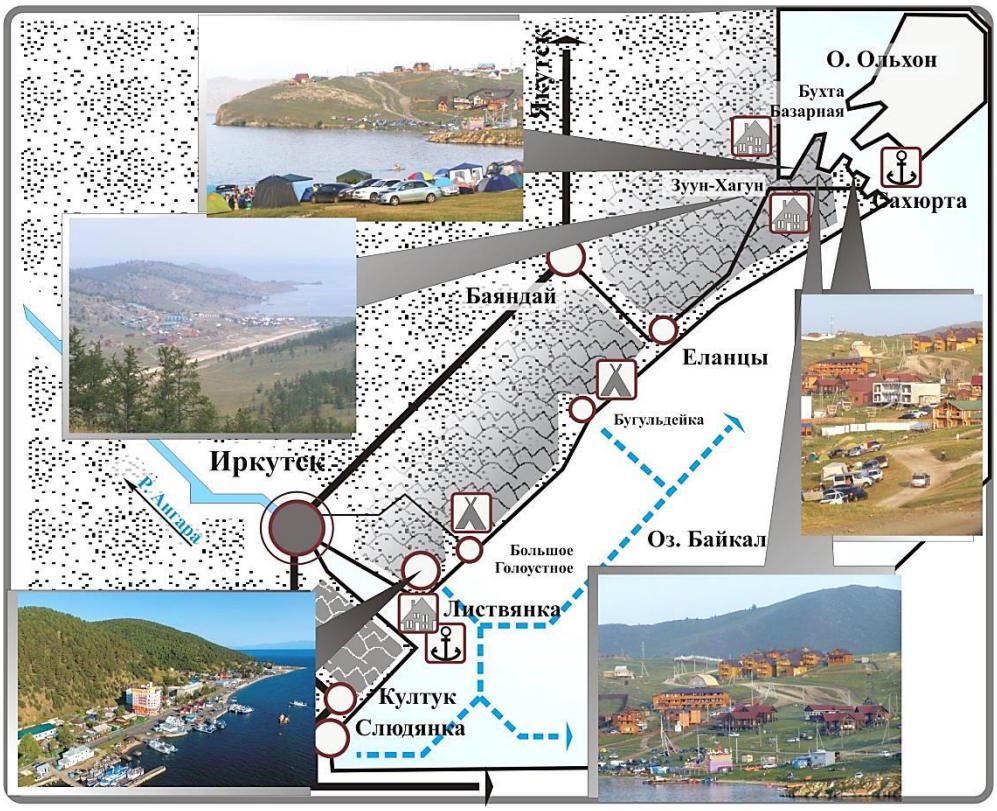


Рис. 2. Стихийное градостроительное освоение берега Байкала в целях отдыха и туризма нелегальной застройкой силами мелких собственников и предпринимателей

Гипотеза – путь к решению противоречия между экономическими интересами и сохранением экологического баланса лежит через увеличение разнообразия структурных элементов территории и увеличение их плотности, что выражается в расчленённости обширных бесконтрольных и слабо освоенных пространств на множество участков меньшей площади с разным целевым назначением. Повышая степень мозаичности карты землепользования расчленением территории плотной сетью связей – транспортных, пешеходных, конных, водных и воздушных, несложно увеличить доступность территории, связность опорных узлов и степень контроля хозяйственного освоения каждого отдельного участка. Одновременно деградация или запустение одного из таких структурных элементов не окажет решающего влияния на целостность природного ландшафта или возможности его хозяйственного использования, т. к. степень устойчивости любой естественной системы, т. е. природной или

искусственной системы, суть градостроительной будет обеспечена разнообразием её элементов. Градостроительная система Южной Сибири подобно молекулярным решёткам в природе имеет пространственную решётку, которая, по мнению автора, формируется под воздействием четырёх базовых потребностей общества:

– потребность в территории для проживания обуславливает направление развития сети населённых пунктов;

– потребность в продуктах питания обуславливает размещение и развитие сельскохозяйственных производств и территорий для ведения сельского хозяйства;

– потребность в занятости и обеспечении производственной деятельности влияет на развитие научно-производственных комплексов, научно-образовательных учреждений и объектов делового назначения;

– потребность в отдыхе и лечении определяет развитие рекреационной деятельности и территорий для отдыха, туризма и лечения.

Согласно исследованиям профессора А.Г. Большакова о градостроительных решётках, пространственная решётка формируется сочетанием четырёх градостроительных сетей [1, 3, 4]. Первая сеть – сеть поселений, состоящая из узлов разной величины и значения (городов, посёлков и деревень), а также разнообразных связей между ними – транспортных, пешеходных, конных, водных и воздушных. Вторая сеть сельскохозяйственная, также состоит из узлов – предприятий сельскохозяйственного производства разного профиля и мощности, связанных хозяйственными связями с точками потребления их продукции. Третья сеть производственная, состоит из точек добычи сырья (угля, руды, заготовки древесины), узлов по изготовлению продукции из добытого сырья и образовательных центров подготовки соответствующих специалистов, а также связей между всеми этими элементами. Четвёртая сеть рекреационная, состоит из сети связанных между собой туристическими маршрутами объектов отдыха, лечения и туризма, а также узлами для проживания и обслуживания туристов [12]. Эти четыре сети: расселенческая, сельскохозяйственная, производственная и рекреационная – накладываются на территории, включающие природные ландшафты и соответственно природно-ландшафтный каркас. Природно-ландшафтный каркас сформирован озёрно-речной сетью, водоразделами рек [5], горными хребтами и их отрогами, межгорными впадинами и речными долинами, а также природными ландшафтами разных типов, включая особо охраняемые природные территории, как узлы каркаса, осями которого являются реки [2].

Главные природные оси – реки Иртыш, Обь, Катунь, Бия, Томь, Енисей и Лена. Все они имеют меридиональную ориентацию с юга на север. В широтном направлении с запада на восток пролегают главные транспортные оси: Транссибирская железнодорожная магистраль с параллельно проходящей федеральной автотрассой «Байкал» соединяет города Омск на Иртыше, Новосибирск на Оби, Кемерово на Томи, Красноярск на Енисее, Иркутск на Ангаре и Тайшет на притоке Ангары. Южнее, проходящая в параллельном направлении, транспортная ось соединяет города: Барнаул на Оби, Новокузнецк на Томи, Абакан на Енисее и Тайшет. Сегодня формируется северный дублёр

Транссибирской магистрали, транспортная ось, соединяющая города Тюмень, Томск, в перспективе Лесосибирск и Братск. Широтно-ориентированные транспортные оси, пересекаясь реками, протекающими с юга на север в меридиональном направлении, формируют сеть, в узлах которой расположены крупные и крупнейшие города, областные, краевые и республиканские центры [7]. Ткань, заполняющую пространство между узлами и осями, предлагается называть территориальными морфотипами. Всего автором выделено тринадцать территориальных морфотипов по числу ячеек пространственной решётки Юга Сибири от Алтайского края до Байкала. Предлагается рассмотреть один из характерных морфотипов площадью 210 тыс. км^2 в границах Транссибирской магистрали на юге, Байкало-Амурской магистрали на севере и западного побережья Байкала на востоке (рис. 3). В этих границах расположены два основных урбанизированных узла – Иркутск в точке соприкосновения Транссибирской магистрали и р. Ангары, а также Братск на пересечении БАМом Ангары. Кроме этого, на пересечении БАМом северной оконечности Байкала расположен г. Северобайкальск. На пересечении с БАМом рек Илим и Лены расположены города Железногорск-Илимский и Усть-Кут.

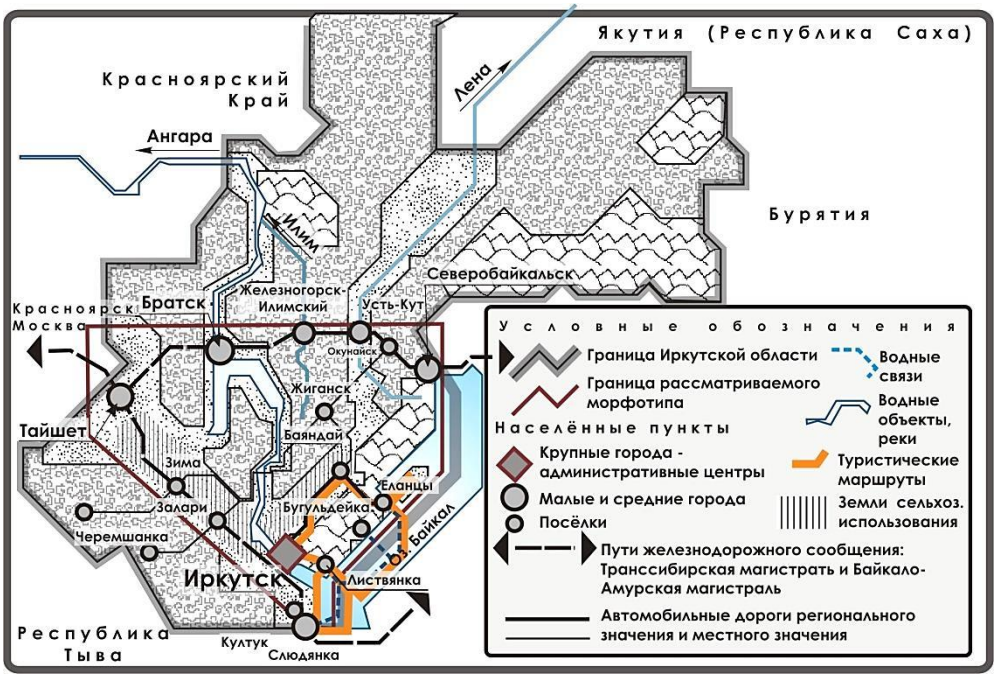


Рис. 3. Территория морфотипа в границах берег Байкала – Транссибирская магистраль – Байкало-амурская магистраль

Сельскохозяйственная сеть сформирована двумя полосами, первая пролегает вдоль транспортной оси Тайшет – Тулун – Саянск – Иркутск. Вторая полоса, с преимущественным развитием животноводства, вытянута вдоль Предбайкальского прогиба от Иркутска до пос. Баяндай [14].

Производственно-инновационная сеть сформирована узлами. Это Иркутск с рядом крупных университетов (Иркутским национальным научно-исследовательским университетом, Байкальским государственным университетом и прочими), готовящих специалистов для крупных производственных комплексов (Иркутский авиационный завод, завод тяжёлого машиностроения и другие предприятия). Энергетический узел Братск с объектами электроэнергетики (Братская гидроэлектростанция) снабжает энергией металлургическое производство в Железногорске-Илимском, металл которого поставляется в Иркутск для производственных предприятий [14].

Вдоль западного берега Байкала формируется рекреационная сеть. Имеется возможность создания двух кольцевых туристических маршрутов. Первый маршрут будет охватывать южную часть Байкала, включая узлы пос. Листвянка, откуда по воде на прогулочных судах (парусниках, катерах и круизных теплоходах) туристы будут доставлены к пос. Слюдянка, из которого по Кругобайкальской железной дороге – уникальному памятнику инженерной мысли – через множество дореволюционных туннелей и мостов экскурсионным паровозом туристы буду доставлены обратно в порт Листвянка. Второй маршрут целесообразно организовать из Иркутска в северном направлении, включая формирующиеся рекреационные узлы в пос. Еланцы, Сахюрта, о. Ольхон и по воде вдоль западного берега Байкала обратно в Иркутск с остановкой в пос. Бугульдейка и Большие Коты [15].

В функционально-планировочной схеме рассматриваемого морфотипа, как и во всех остальных, прослеживаются градостроительные противоречия, связанные с разнонаправленными способами использования территории. Например, активное развитие рекреационной деятельности, с характерным для этого процесса строительством, противоречит закону «Об охране Байкала» [10]. Территории с разным функциональным использованием, взаимоисключающим друг друга (например, добыча полезных ископаемых и развитие рекреационный деятельности), не могут иметь общей границы. Граничить могут только территории с функциями, взаимодополняющими друг друга (например, рекреационная деятельность и сельское хозяйство). Сбалансированное землепользование выражается в пространственном сочетании территорий с разным функциональным использованием, а также в долевом соотношении этих территорий [9].

Для рассмотренного морфотипа, в разрезе четырёх основных потребностей общества, по расчётам автора, оптимальным в десятилетней перспективе будет баланс территории с долевым соотношением:

– территория для проживания в системе расселения составит 10 % в границах земель населённых пунктов;

– доля земель сельскохозяйственного назначения для обеспечения продовольствием составит 25 %;

– для осуществления производственной и научной деятельности доля земель промышленности, энергетики, транспорта, связи и иного специального назначения составит 10 %, включая научно-образовательные центры и предприятия в Иркутске, комплекс объектов электроэнергетики в Братске, предприятия по добыче руды и выплавке металла в Железногорске-Илимском;

– для развития рекреационной деятельности – 15 %, включая территории природных ландшафтов разной степени строгости охраны.

В целях сохранения экологического баланса следует отдельно выделить долю территорий экологического равновесия вместе с особо охраняемыми природными территориями (заповедниками, заказниками и резерватами), которая составит 30 %, а также 10 % составит доля площади буферной зоны.

На основе демографической и экологической ёмкости территории, предложенной В.В. Владимировым [5, 6], автор настоящей статьи предлагает свой вариант расчета потенциала для развития расселения в границах данного морфотипа. Пропорциональное соотношение нескольких типов территории (территории населённых пунктов, для ведения сельского хозяйства, территории для развития производства, науки, добычи полезных ископаемых и энергетики, зона для сохранения экологического баланса) выражается уравнением, определяющим демографическую ёмкость в границах морфотипа:

$$S_a = \left(\frac{\text{А}}{0,23} \right) + \left(\frac{\text{Б}}{\sum_{n=1}^{n} \text{Н}_n \cdot 10} \right) + \left(\frac{\text{В}}{7,0} \right) + \left(\frac{S \cdot \text{Н}_n \cdot T \cdot 2,5}{\sum_{i=1}^{n} \text{О}_i} \right),$$

где А – площадь территории для ведения сельского хозяйства; Б – площадь территории для расширенного хозяйственного освоения, в том числе размещения объектов производства, энергетики, разработки полезных ископаемых; В – площадь территории для развития рекреационной деятельности исходя из среднего показателя рекреационной нагрузки (7 чел./га); S – площадь территории зоны экологического равновесия, км^2; Н – численность населения; T – ежегодная потребность в пресной воде (л на одного жителя) или в кислороде (м^3 на человека); О_i – величина объёма воды в реках – объём водного стока в реках (тыс. м^3) или средняя величина воспроизводства кислорода лесной растительностью (тыс. м^3); 0,23 – мировой показатель обеспеченности сельскохозяйственными землями на душу населения, га; 7,0 – средний показатель максимально допустимой рекреационной нагрузки на природный ландшафт (чел./га); 2,5 – коэффициент перехода для изъятого из атмосферы кислорода или воды из поверхностных источников.

Рассчитанная таким образом потенциально возможная демографическая ёмкость находится в прямой зависимости от экологической устойчивости природных ландшафтов, от их способности к регенерации, способности флоры вырабатывать кислород, продуктивности почвы для сельскохозяйственной деятельности, водоёмов обеспечивать дебит пресной воды. Предварительный расчёт указывает на потенциал территории в границах выбранного морфотипа больший, чем современное использование. Демографическая ёмкость территории, включая экологический и природно-ресурсный потенциал, по предварительному подсчету ориентировочно составляет 10 млн жителей против 2,397 млн сегодня.

Регулирование направления и степени интенсивности освоения территории предлагается системой узлов: городов, посёлков, деревень и транспорт-

но-коммуникационных связей между ними. По транспортно-коммуникационным связям осуществляется доставка грузов, распределение пассажиропотоков, перемещение энергии. Урбанизированные узлы – это города и посёлки, расположенные на пересечении этих связей, способные менять интенсивность потоков и перенаправлять их подобно цепи клапанов и задвижек. Известна прямая зависимость между величиной узла и числом связей, проходящих через него [16]. В границах исследуемого морфотипа насчитывается пять значимых узлов, расположенных на пересечении двух транспортно-коммуникационных осей с Х-образным пересечением (Иркутск, Братск, портовый пос. Листвянка с водными связями, пос. Залари, Хребтоватая), 20 узлов, расположенных на Т-образном пересечении. Остальные более тридцати узлов расположены на одной транспортно-коммуникационной связи без пересечений.

Автором проведён анализ имеющихся и формирующихся связей, на основе которого предложен прогноз в отношении перспектив возможного развития новых связей транспортно-коммуникационной сети. Потенциалом развития обладает связь Иркутск – Качуг – Жигалово – Усть-Уда – Залари, Аршан – Тулун – Братск – Видим.

Таким образом, потенциалом развития обладает Тайшет, Братск, Тулун, Жигалово, Залари и Слюдянка. С развитием этих узлов, усилением транспортно-коммуникационных связей между ними и формированием новых связей будет наблюдаться членение обширных слабо освоенных территорий на структурные элементы меньшей площади, увеличится мозаичность землепользования с одновременным вектором развития от моноцентрической схемы расселения с одним или двумя крупными городами и малозаселёнными пространствами вокруг них в сторону полицентричности с множеством небольших очагов расселения и более равномерным освоением территории.

Таким образом, решение первой задачи, направленной на поиск градостроительных методов и подходов к решению выявленных противоречий, заключается в разграничении территории на множество участков с функциональным использованием, не противоречащим, а взаимодополняющим друг друга. Например, особо охраняемые природные территории следует сочетать с участками для развития рекреационной деятельности. Рекреационные территории должны примыкать к сельскохозяйственным землям. Земли сельскохозяйственного назначения с помощью буферных зон отделяются от участков для производственной деятельности, последние располагаются вблизи населённых пунктов. Одновременно следует учитывать, кроме обязательных санитарных разрывов, также и свободные площади нетронутого хозяйственной деятельностью природного ландшафта, которые дополняют общую схему землепользования. Сочетание в этой схеме участков с разным функциональным наполнением: для расширенного хозяйственного освоения (земли населённых пунктов, земли промышленности, энергетики, транспорта и связи), участки для ограниченного освоения (земли сельскохозяйственного назначения и рекреационные территории) и неприкосновенных территорий – формирует карту морфотипа.

Решение второй задачи, направленной на определение направлений поиска методологических основ для градостроительного освоения Юга Сибири, заключается в расширенном применении «массо-пустотного подхода», предло-

женного профессором А.Г. Большаковым, который описывает сочетание территории с разной степенью градостроительного освоения – «масс» и территорий, не подлежащих такому освоению – «пустот». В отношении территорий Юга Сибири в ближайшей временной перспективе (10 лет) будет происходить увеличение мозаичности карты землепользования, дробление обширных пространств на более мелкие участки с разными видами использования и бесконтрольное инвестиционное освоение природных ландшафтов. Автор не считает необходимым ограничить этот процесс, предлагая контролировать градостроительное развитие территории посредством создания новых и развития существующих узлов – малых городов и посёлков, а также с помощью выделения специальных буферных зон для сохранения природных ландшафтов.

Библиографический список

1. *Большаков А.Г. Беломестных С.С.* Эволюция архитектурно-планировочной структуры города Иркутска. Иркутск, 2018. 217 с.
2. *Большаков А.Г.* Градостроительная организация ландшафта как фактор устойчивого развития территории : автореф. дис. … докт. архитектуры. Москва : МАрхИ, 2003. 48 с.
3. *Большаков А.Г.* Экологические основы градостроительства. Иркутск : ИПИ, 1991. 114 с.
4. *Большаков А.Г.* Экологические предпосылки градостроительного проектирования. Иркутск : ИрГТУ, 2003. 148 с.
5. *Владимиров В.В.* Расселение и экология. Москва : Стройиздат, 1996. 392 с.
6. *Владмимров В.В.* Расселение и окружающая среда. Москва : Стройиздат, 1982. 228 с.
7. *Ерохин Г.П.* Влияние внешних транспортных коммуникаций на архитектурно-планировочную организацию городов Западной Сибири : автореф. дис. … канд. архитектуры (18.00.01). Новосибирск, 1998. 171 с.
8. *Мамин Р.Г., Щенникова Г.Н., Волшаник В.В.* Геоэкология и ресурсные возможности регионов Сибири. Москва: Изд-во АСВ, 2010. 224 с.
9. *Митягин С.Д.* Градостроительство. Эпоха перемен. Санкт-Петербург : Зодчий, 2016. 280 с.
10. *Об охране озера Байкал.* Федеральный закон от 01.05.1999 №94-ФЗ ; принят Гос. думой 02.04.1999 ; одобр. Советом Федерации 22.02.1999 ; ред. от 18.06.2019. URL : https://base.garant.ru/2157025/
11. *Перькова М.В.* Методика выявления и разрешения градостроительных конфликтов и противоречий развития на примере малых городов Белгородской области // Вестник БГТУ им. Шухова. 2018. № 9. С. 47–84.
12. *Скрябин П.В.* Предпосылки и ограничения градостроительного освоения ландшафтов рекреационного пояса в системе расселения Сибири // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 1. С. 18–28. URL : https://doi.org/10.31675/1607-1859-2019-21-1-18-28
13. *Стратегия пространственного развития Российской Федерации* на период до 2025 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 № 207-р. URL : http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/
14. *Схема территориального планирования Иркутской области*. Федеральная государственная информационная система территориального планирования. URL : https://fgistp.economy.gov.ru/?show_document= true&doc_type=npa&uin=25000000020102201301177061.
15. *Хромов Ю.Б., Клюшин В.А.* Организация зон отдыха и туризма на побережье Байкала. Москва : Стройиздат, 1976. 135 с.
16. *Hillier B., Hanson Ju.* The Social Logic of Space. Cambridge University press, 1984. 296 p.

References

1. *Bol'shakov A.G.* Belomestnykh S.S. Evolyutsiya arkhitekturno-planirovochnoi struktury goroda Irkutska [Evolution of architectural and planning structure of Irkutsk]. Irkutsk, 2018. 217 p. (rus)

2. *Bol'shakov A.G.* Gradostroitel'naya organizatsiya landshafta kak faktor ustoichivogo razvitiya territorii : avtoreferat dis. … dokt. Arkhitektury [Urban landscape organization as a factor in the sustainable development of territory. DSc Abstract]. Moscow: MArkhI, 2003. 48 p. (rus)
3. *Bol'shakov A.G.* Ekologicheskie osnovy gradostroitel'stva [Ecological basis of urban planning]. Irkutsk: IPI, 1991. 114 p. (rus)
4. *Bol'shakov A.G.* Ekologicheskie predposylki gradostroitel'nogo proektirovaniya [Ecological prerequisites for urban planning]. Irkutsk: IrGTU, 2003. 148 p. (rus)
5. *Vladimirov V.V.* Rasselenie i ekologiya [Resettlement and ecology]. Moscow: Stroiizdat, 1996. 392 p. (rus)
6. *Vladmimrov V.V.* Rasselenie i okruzhayushchaya sreda [Resettlement and environment]. Moscow: Stroiizdat, 1982. 228 p. (rus)
7. *Erokhin G.P.* Vliyanie vneshnikh transportnykh kommunikatsii na arkhitekturno-planirovochnuyu organizatsiyu gorodov Zapadnoi Sibiri: avtoref. dis. … kand. arkhitektury [The influence of external transport communications on architectural and planning organization of cities in Western Siberia. PhD Abstract]. Novosibirsk, 1998. 171 p. (rus)
8. *Mamin R.G., Shchennikova G.N., Volshanik V.V.* Geoekologiya i resursnye vozmozhnosti regionov Sibiri [Geoecology and resource potential of Siberian regions]. Moscow: ASV, 2010. 224 p. (rus)
9. *Mityagin S.D.* Gradostroitel'stvo. Epokha peremen [Age of change]. St-Petersburg: Zodchii, 2016. 280 p. (rus)
10. Ob okhrane ozera Baikal. Federal'nyi zakon ot 01.05.1999 N 94-FZ; odobr. Sovetom Federatsii 22.02.1999; red. ot 18.06.2019 [Federal Law N 94-FZ on the Lake Baikal protection of 01.05.1999]. Available: https://base.garant.ru/2157025/ (rus)
11. *Per'kova M.V.* Metodika vyyavleniya i razresheniya gradostroitel'nykh konfliktov i protivorechii razvitiya na primere malykh gorodov Belgorodskoi oblasti [Methodology of identifying and resolving urban conflicts and development contradictions on the example of small cities of the Belgorod region]. *Vestnik BGTU im. Shukhova*. 2018. No. 9. Pp. 47–84. (rus)
12. *Skryabin P.V.* Predposylki i ogranicheniya gradostroitel'nogo osvoeniya landshaftov rekreatsionnogo poyasa v sisteme rasseleniya Sibiri [Prerequisites and limitations of urban landscape development in Siberia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2019. V. 21. No. 1. Pp. 18–28 (rus)
13. Strategiya prostranstvennogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2025 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 13.02.2019 N 207-r [The spatial development strategy of the Russian Federation for the period until 2025]. Available: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/ (rus)
14. Skhema territorial'nogo planirovaniya Irkutskoi oblasti. Federal'naya gosudarstvennaya informatsionnaya sistema territorial'nogo planirovaniya [Scheme of spatial planning of the Irkutsk region. Federal State Territorial Planning Information System]. Available: https://fgistp.economy.gov.ru/?show_document=true&doc_type=npa&uin=25000000020102201301177061. (rus)
15. *Khromov Yu.B., Klyushin V.A.* Organizatsiya zon otdykha i turizma na poberezh'e Baikala [Organization of recreation and tourism areas on the coast of Lake Baikal]. Moscow: Stroiizdat, 1976. 135 p. (rus)
16. *Hillier B., Hanson Ju.* The social logic of space. Cambridge University Press, 1984. 296 p.

Сведения об авторе

Скрябин Павел Владимирович, канд. архитектуры, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4, paulskryabin@yandex.ru

Authors Details

Pavel V. Skryabin, PhD, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering 4, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., 190005, St.-Petersburg, Russia, paulskryabin@yandex.ru

УДК 72.035:719:[712.25:712.5] DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-70-78

М.Н. РЯДОВА,
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Актуальность темы обусловлена тем, что сохранение объекта культурного наследия и приспособление его для современного использования во многом зависит от наличия полноты его изученности и от объёма имеющейся по нему информации, в том числе натурных исследований. ГИС-технологии позволяют проанализировать и актуализировать натурную фиксацию. Цель работы – аналитическим методом выявить возможности применения ГИС-технологий при реставрации объектов культурного наследия и раскрыть применение на примере горы Парнас в Александровском парке г. Пушкина. В работе рассматриваются проблемы, связанные с приспособлением для современного использования горы Парнас в Александровском парке. Автором статьи проведен анализ публикаций по данной тематике. Рассмотрены история создания и опыт реставрационных работ. В 2016 г. музей «Царское Село» впервые применил новые технологии 3D-реконструкции для визуализации и оценки проектов реставрации нашего парка. После возрождения Екатерининского парка восстановление Александровского парка стало одним из приоритетных направлений деятельности музея. Все работы по сохранению культурного наследия требуют детального научного подхода. Исследовательская и проектная документация требует, чтобы предлагаемые решения были точно «внедрены» и проанализированы на существующих ландшафтах. Применяемые передовые технологии были разработаны в России за последние десять лет компанией «Геоскан» и предназначены для получения высокоточных ортофотографий любой местности. Беспилотные летательные аппараты позволяют работать с различными объектами, от автономных зданий и сооружений до крупных аэровокзалов. Фотограмметрическим программным обеспечением оборудованы рабочие места музейных сотрудников, что позволяет им самостоятельно обучаться использованию и анализу данных. Сведения с аэрофотоснимков могут впоследствии применяться для информационного наполнения, выполнения работ и проверки качества, DEMs, моделей местности и 3D-поверхностей.

Ключевые слова: объекты культурного наследия; Царское Село; ландшафт; Парнас; ГИС-технологии.

Для цитирования: Рядова М.Н. Применение ГИС-технологий для сохранения объектов ландшафтной архитектуры // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 70–78.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-70-78

M.N. RJADOVA,
Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering

APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES FOR CONSERVATION OF LANDSCAPE ARCHITECTURE OBJECTS

The paper concern is preservation of the cultural heritage object and its adaptation for modern use largely depending on completeness of its study and the amount of information available, including field studies. GIS technologies allow to analyze and update full-scale fixation.

© Рядова М.Н., 2019

The purpose of the analytical method is to identify the possibility of GIS technologies of restoring cultural heritage of the Mount Parnassus in the Aleksandrovskii Park. The paper deals with the problems associated with the modern use of the Mount Parnassus. The analysis is given to publications in the field. The history of creation and previous restoration works are considered. In 2016, the Tsarskoye Selo Museum applied for the first time new 3D reconstruction technology for visualization and evaluation of the restoration projects in the Park. After the revival of the Catherine Park, the restoration of the Aleksandrovskii Park is one of the priorities. Preservation of cultural heritage requires a detailed scientific approach. Research and design documentation requires an accurate solutions of embedding and analyzing the existing landscapes. The applied advanced technologies have been developed in Russia over the past ten years by Geoscan to obtain high-precision orthophotographic charts of any territory. Unmanned aerial vehicles allow to work with various objects, from autonomous buildings to large air terminals. Photogrammetric software equips Museum workplaces with data processing and provides self-training in the data acquisition and processing. Aerial imagery data can be used for content, performance and quality control, DEMs, terrain models and 3D surfaces.

Keywords: objects of cultural heritage; Tsarskoye Selo; landscape; Parnassus; GIS technologies.

For citation: Rjadova M.N. Primenenie GIS-tekhnologii dlya sokhraneniya ob"ektov landshaftnoi arkhitektury [Application of GIS technologies for conservation of landscape architecture objects]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 70–78.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-70-78

Музей как живой организм должен развиваться. Во всем мире в настоящее время применяются геоинформационные технологии (ГИС-технологии). Сегодня данные технологии активно применяются в географии и геодезии, но их начали использовать также и при анализе объектов культурного наследия [1–4]. Актуальность темы обусловлена тем, что для сохранения объекта культурного наследия необходимо в полном объеме иметь описание и понимание характера и структуры данного объекта, т. к. это и показывает его особенности и ценность. Цель работы – выявить особенности применения ГИС-технологий на примере горы Парнас в Александровском парке. Анализируется возможность применения ГИС-технологий при реставрации объектов культурного наследия.

Авторы последних лет В.А. Немтинов, А.А. Горелов, М.И. Кудрявцев, К.В. Немтинов, А.С. Пачева, Ф.Н. Лисецкий, Ж.А. Буряк, П.А. Украинский, А.О. Полетаев, В.В. Морозов, А.М. Манаенков анализируют возможности использования ГИС-технологий и вопросы, возникающие при их использовании [Там же]. Е.А. Шелина в статье «Использование ГИС-технологий при ведении мониторинга и анализа объектов культурного наследия» раскрывает вопрос о необходимости и актуальности использования ГИС-технологий при мониторинге объектов культурного наследия [2]. В статье «Информационный анализ объектов культурного наследия с использованием ГИС-технологий» авторами рассмотрена методология разработки системы для ретроспективного анализа памятников ГИС-технологией на примере г. Тамбова [1]. Этот метод изначально был предназначен для анализа рельефа, но в большинстве публикаций его анализируют с точки зрения применения в картографии, например, И.В. Глейзер, И.М. Копанева, Е.А. Рублева – анализ рельефа [7], Н.В. Лаврен-

тьев, А.Л. Чепалыга – реконструкция береговых линий [6], А.А. Мистрюков, П.Ю. Савельева – картирование экосистем устья реки Чуи [5].

Давайте рассмотрим особенности применения ГИС-технологий на примере горы Парнас в Александровском парке.

2018-й – год столетия музейной жизни бывшей пригородной императорской резиденции «Царское Село». Музей не только бережно хранит прошлое, но и устремлен в будущее. Одной из главных задач является восстановление Александровского парка.

В 2016 г. начались работы по старейшей части парка – регулярному Новому саду. Регулярный сад обращен к Парадному плацу Екатерининского дворца и разделен широкими аллеями на четыре квадрата-боскета, разнообразные композиции которых визуально связаны между собой планировочными осями. Территория находится в сложном техническом состоянии, но является уникальным памятником и имеет формообразующее значение для ансамбля Александровского парка. Все работы по сохранению объектов культурного наследия требуют детального научного подхода. При исследованиях и разработке проектной документации необходимо максимально точно «встроить» и проанализировать предлагаемое решение с учетом текущего ландшафта.

Первым пилотным объектом такого исследования в Музее-заповеднике стала искусственная гора Парнас, расположенная в северном боскете Нового сада. Ее устроили по проекту Ф.Н. Жирара садовые мастера М.А. Кондаков и К. Шрейдер в 1749–1750 гг. [8]. На исторических планах в центре этого боскета зафиксирована гора со спиральной дорогой, ведущей к верхней площадке. Все нижележащие боскеты и аллеи были обнесены шпалерами. По мере подъема на вершину открывался живописный вид на сад и окрестности.

Гора Парнас в настоящее время имеет высоту порядка 16 м и средний диаметр основания 95 м. Несмотря на то, что парнасы (насыпной холм в усадебном парке) – это характерный прием для регулярных садов, царскосельская куртина отличается своими значительными габаритами, ведь собратья в Европе в основном имеют высоту до 6–7 м. История искусственных скал и гор подробно описана в статье Михаэля Жакоба «В горах: доступные и неприступные», в которой приведен один из первых примеров таких сооружений – внушительный, сорокаметровый холм Сильбери в Уилтшире, Англия, построенный около 2500 г. до н. э [9].

Состояние царскосельского Парнаса можно считать крайне неудовлетворительным. Вершина горы утратила геометрическую форму. Поверхность площадки изрыта ямами, покрытие изношено. Склоны деформированы в результате размывов, разрушения корнями деревьев и стихийного хождения посетителей. Вследствие размыва плодородного слоя грунта оголились корневые системы и шейки многих деревьев. Корни, оказавшись на поверхности земли, вытаптываются и повреждаются. Территория заболочена (рис. 1).

Несмотря на наличие прямого запрета, в зимнее время гора используется посетителями для катания на санках, «ватрушках» и других «снарядах», что приводит к уплотнению снежного покрова, механическим повреждениям корней и стволов деревьев в комлевой части, травмированию самих катающихся (рис. 2).

Рис. 1. Вид с севера на Новый сад и куртину Парнас в сторону Арсенала. Планировка куртины Парнас на местности не читается. Аэрофотосъемка, личный архив Н.А. Давыдовой (05.2015)

Рис. 2. Вид склона куртины Парнас. Фото автора (03.2017)

Учитывая перечисленные обстоятельства, музей принял решение о необходимости реставрации объекта. Проектная документация разработана ООО «Профиль». Основным принципом восстановления объемно-пространственной

ландшафтной композиции куртины является воссоздание характеристик горы и боскетов при максимально возможном сохранении существующего здорового древостоя. Согласно материалам проведенных обследований, ландшафт внутри куртины утратил свою историческую объемно-пространственную структуру. Для восстановления исторического вида на период конца XVIII – начала XIX в. проектом предусмотрено:

– восстановление симметричной планировки куртины;

– восстановление утрат в аллейных посадках;

– восстановление стриженых шпалер для создания боскетов (шпалерная обсадка липой с сохранением старовозрастных лип, попадающих в линию шпалеры);

– восстановление исторических посадок плодовых деревьев (яблонь) в боскетах, окружающих подножие горы;

– посадка солитера в центре верхней площадки;

– восстановление на площадке у подножия горы круга из штамбованных, стриженных шарами лип;

– посадка по внешнему краю спиральной дорожки на горе штамбовых кустов;

– устройство закрытой дренажно-мелиоративной сети;

– восстановление дорожной сети, включающей дороги и площадки с щебеночным покрытием.

Проектом предусматривается восстановление исторического объемно-планировочного решения куртины Парнас на конец XVIII – первую четверть XIX в., как период расцвета территории Нового сада (проект архитектора В.И. Неелова). Музей принял решение о необходимости визуальной интерпретации полученных проектных данных для подробного изучения и включения в процесс формирования сценария дальнейшего развития территории парка.

Для точной оценки существующего состояния горы и визуализации проектного решения необходимо было выполнить следующие задачи:

1) воспроизвести в высокой степени детализации текущий ландшафт, его актуальное состояние и окружающее пространство;

2) создать трехмерную модель, соответствующую историческому объемно-планировочному решению;

3) интегрировать проектное решение в текущий ландшафт и создать механизмы визуализации и анализа проектного решения в рамках геоинформационной системы.

В данном случае ГИС служат главной цели – построению виртуального зрительного образа, который, в свою очередь, дополняется автоматизированной информационно-аналитической системой, что приводит к построению единого информационного пространства территории и его пространственно-временной модели [10]. Для воспроизведения текущего ландшафта горы были использованы инновационные методы фотосканирования территории с беспилотного летательного аппарата и последние достижения в области фотограмметрической обработки данных по технологии компании «Геоскан». В результате на территорию съемки была создана актуальная фотореалистичная трехмерная модель местности, содержащая:

– рельеф окружающей местности и горы Парнас. Съемка проводилась в зимнее время, для того чтобы листва не закрывала рельеф. При этом снежный покров был минимальным, чтобы не исказить геоданные;

– фотореалистичные текстуры поверхности с пространственным разрешением 1,5 см/пиксель;

– модели существующих деревьев в виде плотного облака точек;

– модели отдельно стоящих объектов – здание Китайского театра.

В трехмерном виде в соответствии с проектом были восстановлены профиль и вид горы, дорожно-тропиночная сеть, спиралевидная дорожка, ограждения, шпалеры и другие элементы.

Проект реставрации предусматривает санитарные рубки и посадку новых деревьев в местах утрат. Для визуализации таких мероприятий была разработана библиотека деревьев по породам в трехмерном изображении. На основе дендроплана и плана рубок были геопривязаны и отмасштабированы 3D-модели деревьев в соответствии с высотой, указанной в инвентаризационной ведомости.

В результате выполнения проекта были получены (рис. 3 и 4):

– точная модель проектного решения самой горы Парнас и боскетов;

– точные метрические сведения о состоянии горы Парнас и окружающего пространства в радиусе 300 м. Для визуализации и анализа 3D-модель была интегрирована в существующую фотореалистичную 3D-модель местности. В качестве платформы для интеграции использовалась геоинформационная система «Спутник» (разработка «Геоскан»);

– произведен анализ и оценка проектного решения по реставрации в 3D-формате, что позволило объективно оценить само решение и избежать ошибок архитектурных построений;

– выработан комплекс дополнительных мер по реставрации куртины Парнас.

Рис. 3. Фрагмент 3D-модели куртины Парнас. Текущее состояние. ООО «Геоскан», 2017

Рис. 4. Проект реставрации куртины Парнас в 3D-модели. ООО «Геоскан», 2017

Использованные музеем современные информационные технологии, разработанные за последние десять лет в России (компания «Геоскан»), предназначены для получения точных высокодетальных фотопланов любой местности.

Технология компании «Геоскан» была также применена в Томске. В мае 2014 г. была выполнена аэрофотосъемка территории города на площади более 320 кв. км. Для этого использовались беспилотные летательные аппараты «Геоскан 101» и «Геоскан 401». В своем первоначальном виде 3D-модель отражает текущее состояние территории города, но специальное программное обеспечение позволяет встраивать в нее проектируемые 3D- и 2D-объекты, разделять их на тематические слои и снабжать семантической информацией [11]. Такая визуализация сложнейших городских процессов способствует не только четкой работе профессиональных организаций, но и позитивной повестке в работе с местным сообществом. На геоинформационной базе открыт специализированный 3D-портал «Строим город вместе», на площадке которого ведется совместная работа архитекторов, градостроителей, экспертов и томичей.

Создание подобной общественно открытой 3D-модели и электронного ресурса, в рамках которого происходило бы подобное взаимодействие всех заинтересованных сторон, необходимо для Санкт-Петербурга.

При создании уникальной виртуальной модели Пальмиры, съемка которой проводилась в 2016 г. [12], также использована технология «Геоскан».

Беспилотные аппараты позволяют выполнять работы на различных объектах – от отдельно стоящих зданий, сооружений до значительных по размерам территорий. Объекты ландшафтной архитектуры часто являются сооружениями сложной формы, либо это огромные пространства с зелеными насаждениями, дорожно-тропиночной и мелиоративной сетью, которые сложно поддаются традиционным инструментальным измерениям и исследованиям. ГИС-технологии незаменимы для создания полного информационного контента, проверки хода и качества работ по сохранению ландшафта – от научных исследований, созда-

ния визуальной библиотеки видового и породного состава деревьев, кустарников, уточнения объемов земляных масс до приемки работ и фиксации тех позиций, которые невозможно выполнить с высоты человеческого роста или строительных лесов. Геоинформационные системы открывают огромный спектр возможностей по оценке влияния на памятник концептуальных и проектных решений – макетирование, моделирование рельефа с высокой степенью точности и построение 3D-моделей. Можно смело сказать, что за ГИС-технологиями будущее не только ландшафтного, но и всех видов проектирования.

Библиографический список

1. *Немтинов В.А., Горелов А.А., Кудрявцев М.И., Немтинов К.В.* Информационный анализ объектов культурного наследия с использованием ГИС-технологий // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2005. Т. 11. № 4. С. 1001–1012.
2. *Шелина Е.А.* Использование ГИС-технологий при ведении мониторинга и анализа объектов культурного наследия // World Science: Problems and Innovations : сб. статей XXI Международной научно-практической конференции: в 4 ч. / отв. ред. Г.Ю. Гуляев. 2018. С. 101–103.
3. *Пачева А.С.* Объекты культурного наследия г. Кунгура: интерпретация и анализ картографического материала с помощью ГИС-технологий // Географическое изучение территориальных систем : сб. материалов XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных / под ред. М.Б. Ивановой, К.С. Осоргина. 2017. С. 197–199.
4. *Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А., Украинский П.А., Полетаев А.О.* Информационное обеспечение задач мониторинга и охраны объектов историко-культурного наследия Крыма с использованием ГИС-технологий // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2018. № 6 (161). С. 42–48.
5. *Мистрюков А.А., Савельева П.Ю.* Геоморфологическое картирование экосистем устья реки Чуи с использованием ГИС-технологий // Сибирский экологический журнал. 2005. Т. 12. № 6. С. 973–983.
6. *Лаврентьев Н.В., Чепалыга А.Л.* Опыт применения ГИС-технологий для реконструкции береговых линий Хвалынского бассейна (на примере Прикаспийской низменности) // Геоморфология. 2008. № 3. С. 66–73.
7. *Глейзер И.В., Копанева И.М., Рублёва Е.А.* Некоторые аспекты использования ГИС-технологий при морфометрическом анализе рельефа // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2006. № 11. С. 143–146.
8. *Семенова Г.В.* Царское Село: знакомое и незнакомое. Москва, 2009. С. 123.
9. *Jacob M.* On mountains: scalable and unscalable // Landform buildings. 2012. P. 136–164.
10. *Немтинов В.А., Морозов В.В., Манаенков А.М.* Виртуальное моделирование объектов культурно-исторического наследия с использованием ГИС-технологий // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2011. Т. 17. № 3. С. 709.
11. *Романцов А.Д.* Урбанистика в Томске: как с помощью 3D-модели проектировать развитие города // ООО «Геоскан». URL: https://www.geoscan.aero/ru/blog/207 (дата обращения: 03.07.2019).
12. *Соловьева Н.Ф., Соловьев С.Л., Блохин Е.К.* Пальмира во времени и пространстве // Бюллетень Института материальной культуры Российской академии наук. Санкт-Петербург : Институт материальной культуры Российской академии наук, 2017. С. 280.

References

1. *Nemtinov V.A., Gorelov A.A., Kudryavtsev M.I., Nemtinov K.V.* Informatsionnyi analiz ob"ektov kul'turnogo naslediya s ispol'zovaniem GIS-tekhnologii [Information analysis of cultural heritage objects using GIS technologies]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2005. V. 11. No. 4. Pp. 1001–1012. (rus)

2. *Shelina E.A.* Ispol'zovanie GIS-tekhnologii pri vedenii monitoringa i analiza ob"ektov kul'turnogo naslediya [The use of GIS technologies in monitoring and analysis of cultural heritage], in: World Science: Problems and Innovations: sb. statei XXI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (*Proc. 21st Int. Sci. Conf. 'World Science: Problems And Innovations*). 2018. Pp. 101–103. (rus)
3. *Pacheva A.S.* Ob"ekty kul'turnogo naslediya g. Kungura: interpretatsiya i analiz kartograficheskogo materiala s pomoshch'yu GIS-tekhnologii [Objects of cultural heritage of Kungur: interpretation and analysis of cartographic material with the help of GIS technologies], in: Geograficheskoe izuchenie territorial'nykh sistem: sb. materialov KhI Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (*Proc. 21st All-Russ. Sci. Conf. 'Geographical Study of Territorial Systems'*), M.B. Ivanova, K.S. Osorgin, Eds. 2017. Pp. 197–199. (rus)
4. *Lisetsky F.N., Buryak J.A., Ukrainian P.A., Poletayev A.* Informatsionnoe obespechenie zadach monitoringa i okhrany ob"ektov istoriko-kul'turnogo naslediya Kryma s ispol'zovaniem gis-tekhnologii [Information technologies for monitoring and protection of objects of historical and cultural heritage of the Crimea using GIS technologies]. *Zemleustroistvo, kadastr i monitoring zemel'*. 2018. No. 6 (161). Pp. 42–48. (rus)
5. *Mistryukov A.A., Savelyeva P.Yu.* Geomorfologicheskoe kartirovanie ekosistem ust'ya reki Chui s ispol'zovaniem GIS-tekhnologii [Geomorphological mapping of ecosystems of the Chui river estuary using GIS technologies]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*. 2005. V. 12. No. 6. Pp. 973–983. (rus)
6. *Lavrentiev N.V., Chepalyga A.L.* Opyt primeneniya GIS-tekhnologii dlya rekonstruktsii beregovykh linii Khvalynskogo basseina (na primere Prikaspiiskoi nizmennosti) [Experience of GIS technologies application for reconstruction of coastlines of Khvalynsky basin (on the example of the Caspian lowland)]. *Geomorfologiya*. 2008. No. 3. Pp. 66–73. (rus)
7. *Glazer I.V., Kopaneva I.M., Rubleva E.A.* Nekotorye aspekty ispol'zovaniya GIS-tekhnologii pri morfometricheskom analize rel'efa [Some aspects of GIS technologies in morphometric analysis of relief]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Ser. Biologiya. Nauki o Zemle*. 2006. No. 11. Pp. 143–146. (rus)
8. *Semenova G.V.* Tsarskoe Selo: znakomoe i neznakomoe [Tsarskoye Selo: familiar and unfamiliar]. Moscow, 2009. 123. p (rus)
9. *Jacob M.* On mountains: scalable and unscalable. Landform buildings. 2012. Pp. 136–164.
10. *Nemtinov V.A., Morozov V.V., Manaenkov A.M.* Virtual'noe modelirovanie ob"ektov kul'turno-istoricheskogo naslediya s ispol'zovaniem GIS-tekhnologii [Virtual modeling of objects of cultural and historical heritage using GIS technologies]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. V. 17. No. 3. P. 709. (rus)
11. *Romantsov A.D.* Urbanistika v Tomske: kak s pomoshch'yu 3D-modeli proektirovat' razvitie goroda [Urban studies in Tomsk: how to use a 3D model of the city development]. Available: www.geoscan.aero/ru/blog/207 (accessed March 7, 2019) (rus)
12. *Solovyova N.F., Solovyov S.L., Blokhin E.K.* Pal'mira vo vremeni i prostranstve [Palmira in time and space]. *Byulleten' instituta material'noi kul'tury Rossiiskoi akademii nauk*. 2017. P. 280. (rus)

Сведения об авторе

Рядова Мария Николаевна, аспирант, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4, rjadova@yandex.ru

Author Details

Mariya N. Rjadova, Research Assistant, Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 4, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., 190005, St.-Petersburg, Russia, rjadova@yandex.ru

УДК 711.4.01 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-79-87

М.В. СКУДНЕВА, А.А. БАЙДИНА,
Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ГОРОДА БИЙСКА В XVIII – НАЧАЛЕ XX В.

В работе проведен анализ исторических источников, связанных с возникновением Бикатунского острога, образованием и последующим усовершенствованием бийских крепостей, а в дальнейшем формированием г. Бийска. Авторами рассмотрены основные этапы эволюции планировочной структуры Бийска в XVIII – начале XX в., выявлены особенности формирования архитектурно-планировочной структуры города и закономерности образования его планировочного каркаса. Исследование особенностей формирования и развития планировочной структуры исторического центра Бийска позволит раскрыть его потенциал как в исторических, так и в социально-культурных аспектах. Изучение градостроительных особенностей Бийска, его архитектурно-планировочной системы послужит основой для дальнейшего развития города и его туристической инфраструктуры.

Ключевые слова: Колывано-Кузнецкая линия; Бикатунский острог; Бийская крепость; планировочная структура; форпост; форштадт; планировка исторических центров Сибири.

Для цитирования: Скуднева М.В., Байдина А.А. Особенности формирования планировочной структуры города Бийска в XVIII – начале XX в. // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 79–87.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-79-87

M.V. SKUDNEVA, A.A. BAYDINA,
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering

PLANNING STRUCTURE FORMATION OF BIYSK IN THE 17–20th CENTURIES

The paper presents the analysis of historical sources associated with the Bikatunsky jail, formation and improvement of Biysk fortresses and, later, the City of Biysk. The main stages of the planning structure evolution are considered for the period from the 18 to early 20th centuries, including the formation of architectural-planning structure of Biysk and regularities of its planning structure. The study shows the city potential, both in historical and socio-cultural aspects. The results of this research can be used for further city and tourist infrastructure development.

Keywords: Kolyvano-Kuznetskaya line; Bikatunsky prison; Biyskaya fortress; planning structure; outpost; suburb.

For citation: Skudneva M.V., Baydina A.A. Osobennosti formirovaniya planirovochnoi struktury goroda Biiska v period XVIII – nachalo XX [Planning structure formation of Biysk in the 17–20th centuries]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo

© Скуднева М.В., Байдина А.А., 2019

arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 79–87.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-79-87

История возникновения г. Бийска начинается с Бийской крепости, которая входила с 1741 г. в состав оборонительной Колывано-Кузнецкой линии. В этот период крепости играли роль фортификационных сооружений и являлись самыми большими вооруженными строениями на Колывано-Кузнецкой оборонительной линии. При каждом оборонительном сооружении был форштадт или казачья слобода, представлявшие собой поселения, прилегающие к крепости или городу-крепости.

Рассматривая эволюцию планировочной структуры Бийска, можно выделить следующие этапы развития:

I этап. Формирование планировочной структуры города Бийска в начале XVIII – середине XIX в.

Бийская крепость берет свое начало от Бикатунского острога, который стал первым военным укреплением и населенным пунктом на территории современного Алтайского края. Строительство именно в этом месте объясняется тем, что данная территория позволяла контролировать перемещение противника в регионе и располагала богатыми для земледелия природными ресурсами. Ранее, в XVII в., население этих земель не подчинялось Русскому государству, в то время на этой территории проживали этнические группы северных алтайцев.

В 1708 г. Петр I подписал указ кузнецкому воеводе М.А. Овцыну о возведении острога на реках Бии и Катуни, а в 1709 г. был построен Бикатунский острог, который представлял собой «тыновой острог». Бийский исследователь С.Ю. Исупов дает следующее описание этого строения: «Острог был квадратным или прямоугольным в плане, с периметром стен не более 160–180 м. Функции оборонительной ограды выполнял тын – вертикально вкопанные в землю на одну треть длины и заострённые сверху бревна длиной 5–6 м. С наружной стороны стеновые укрепления острога дополнялись земляным валом и рвом, а перед ним в землю вкапывались надолбы и рогатки, сделанные из деревянных брусьев или горбыля» [1]. Уже в 1710 г. Бикатунский острог был разрушен при отступлении джунгар.

На основании исторических документов был восстановлен облик Бикатунской крепости (рис. 1).

В 1717 г. кузнецкому дворянину И. Максюкову было поручено вновь построить Бикатунскую крепость. Так в 1718 г. на правом берегу Бии была построена *первая Бийская крепость* (рис. 3), но неудачно, т. к. обзор для обстрела закрывал высокий правый берег Бии. Поэтому в 1738 г. напротив существующей крепости был построен дополнительный форпост для обороны. Крепость, выполненная из дерева, периметром около 200 м имела четыре башни, находящиеся по углам, высотой около 15 м. По наружной стороне располагался ров, двойная линия надолбов и рогаток. В состав крепости входили: дом коменданта, часовня, пороховой погреб, амбары, поварня. Эта крепость просуществовала 33 года. По описаниям исторических источников был воспроизведен облик Бийской крепости (рис. 2).

Рис. 1. Макет Бикатунского острога

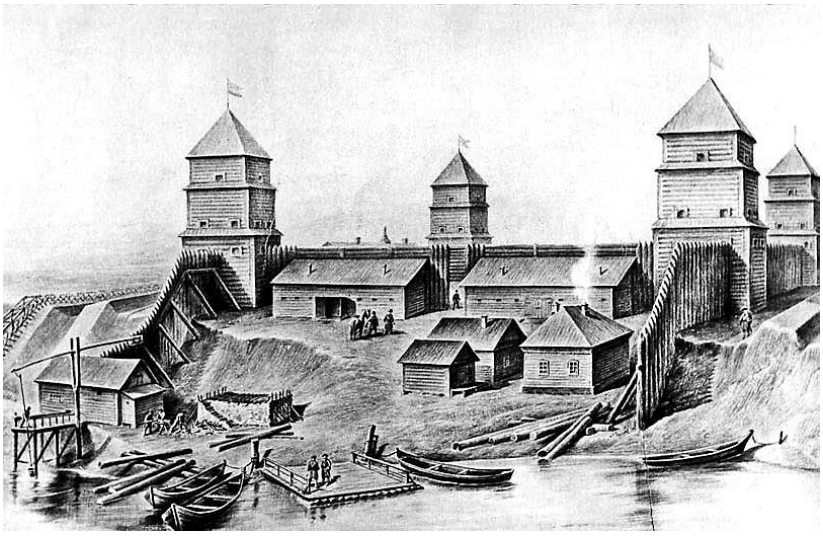


Рис. 2. Бийская крепость

В XVIII в., во время строительства Колывано-Кузнецкой линии, Бийскую крепость существенно расширили, теперь ее периметр составил около 650 м. А.Д. Сергеев дает следующее описание реконструированной Бийской крепости: «Западная стенка была поставлена перпендикулярно к реке, северо-восточный вал отнесен параллельно Бии от башни и уходил далеко на восток, захватывая солдатскую слободу. Со стороны реки вала по-прежнему не было. В общем, изменилась лишь конфигурация крепости, увеличилось количество построек, она стала обширней» [2]. *Вторая крепость* имела пять трехэтажных деревянных башен: Генеральную, Московскую, Кузнецкую, Проезжую и Бикатунскую. Появляются двенадцатифутовые крепостные орудия. Крепость теперь населяют не казаки, а пехотные и драгунские подразделения. Функционировала эта крепость около 16 лет.

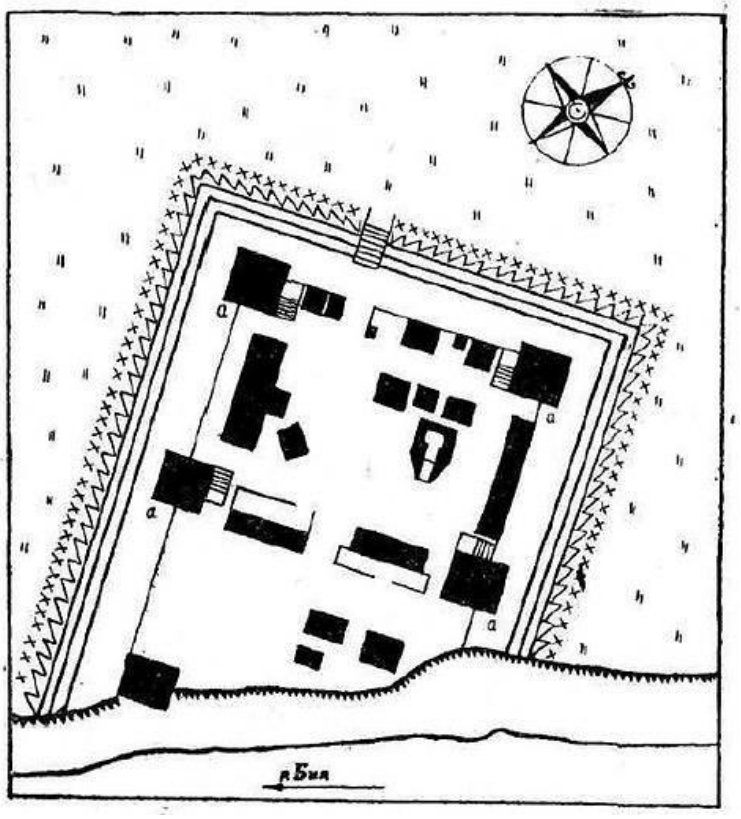


Рис. 3. План Бийской крепости. 1718 г.

Так завершился первый этап развития г. Бийска. Особенности планировочной структуры на первом этапе развития города зависели от конфигурации самой крепости, состава сооружений, размещения зданий и сооружений как на территории крепости, так и в прилегающих слободах. На современном плане Бийска невозможно проследить очертания рассмотренных бийских крепостей, но их расположение дало территориальную основу для образования г. Бийска.

II этап. Формирование планировочной структуры города Бийска с середины XVIII – начала XIX в.

В 1768 г. Бийская крепость была перенесена вверх по течению Бии из-за ранее выбранного неудачного месторасположения, у противника был полный обзор крепости, наглядно были видны все ее слабые и сильные стороны.

Третья Бийская крепость, построенная по универсальному проекту, являлась образцом военно-инженерного искусства XVIII в. (рис. 4).

А.Д. Сергеев пишет: «Крепость раскинулась на западной окраине тогдашнего Бийска. Между крепостью и посадом существовал обширнейший пустырь. Одной стороной (южной) она прилегала к реке. Вал шел уступами, так называемыми короткими кремальерными бастионами (редутами), всего их было семь. Здесь имелось двое неосновных ворот: по редуту № 2 – Зюнгор-

ские, по редуту № 5 – Китайские. Два полубастиона – Бийский с запада и Форштадтский с востока – опирались на берег Бии и естественные овраги, превращенные в искусственные рвы. На западной стене находился Большой Лощинский бастион. Северо-западный угол венчал бастион Катунский. Между ними имелись основные ворота (западные), отсюда дорога шла в Барнаул и Катунскую крепость. Северную стену сторожил широкий Болотный бастион, а северо-восточный угол прикрывал бастион Ключевой» [2].

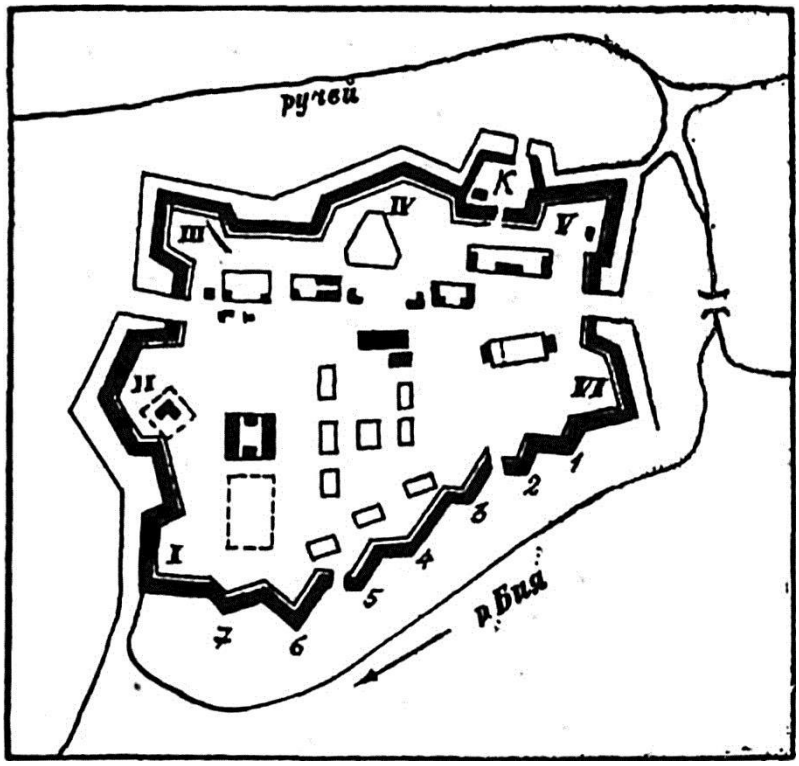


Рис. 4. Бийская крепость.1768 г.: I – полубастион Бийский; II – бастион Большой Лощинский; III – бастион Катунский; IV – полубастион Форштадтский; К – кронверк; *1–7* – редуты

В северной части располагался кронверк, который имел выход в поле и вход в крепость, что являлось хорошей ловушкой для врага. Продуманное территориальное расположение крепости отлично защищало от набегов врага: на севере – болотом, на юге – р. Бией. Эта крепость существовала более 100 лет.

До 1779 г. Бийская крепость находилась в составе Тобольской губернии, а после вошла в состав Барнаульского уезда при Колыванской губернии.

По приказу Екатерины II от 20 октября 1782 г. крепость получает статус уездного города. Бийская крепость как военно-стратегический объект стала менее востребована, т. к. ситуация на южных границах Западной Сибири стабилизировалась, и после 1848 г. ее упразднили, а с 1852 г. территория крепости стала считаться собственностью города.

С упразднением крепости Бийск переходит из военно-административного центра в торговый. Бийские купцы ведут торговлю с алтайскими, китайскими и монгольскими купцами, являются инициаторами в строительстве дороги Онгудай – Кош-Агач.

На данном этапе развития города формируется местоположение центральной его части. По западным и восточным воротам Бийской крепости позднее сформируется одна из главных улиц – Успенская (сейчас ул. Советская). Главная торговая улица города, ул. Торговая (сейчас ул. Льва Толстого), будет проходить по краю северного пограничного вала.

III этап. Формирование планировочной структуры города Бийска с середины XIX – начала XX в.

В середине XIX в. г. Бийск имел типичный для малых городов Сибири облик. А.Д. Гончаров дает следующее описание Бийска в 1870-х гг.: «Окружной город Томской губернии Бийск лежит в низменной и болотистой местности на правом берегу реки Бии, близ соединения ее с р. Катунью. Поселение города представляет собой длинную узкую полоску между берегом реки и сопровождающими ее горами; параллельно реке идут три главные улицы, пересекаемые несколькими поперечным улками. На верхнем конце города находится рыночная площадь… он состоит из трех частей, крепости, ныне упраздненной, города собственно и форштадта. Собственно, крепостные сооружения теперь совершенно разрушены, и место крепости обозначается только рвами. В городе 3 церкви, из коих 2 каменные, 770 домов, в том числе 8 каменных и до 6800 жителей обоего пола» [3].

Застройка Бийска представляла собой деревянные рубленые дома малой этажности. Из-за отсутствия дефицита земли многоэтажное строительство не было актуальным, что свойственно большинству малых городов Сибири. В то время единственным каменным зданием было одно из зданий Бийской крепости, в котором располагался ее арсенал. Это здание сохранилось до наших дней (рис. 5).

Рис. 5. Арсенал – одно из первых каменных зданий Бийской крепости, сохранившееся до наших дней

Центр образовавшегося г. Бийска имеет очертания существовавших когда-то бийских укреплений. На основании сохранившихся документов можно предположить, что по границам Бийской крепости, согласно плану 1768 г., проходят улицы:

1. Ул. Гилева – очертания бастионов: Бийский, Большой Лощинский, Катунский.

2. Ул. Толстого – очертания бастиона Форштадтского.

3. Ул. Турусова – проходит по восточной границе Бийской крепости.

По границам Бийской крепости от 1738 г. проходят: ул. Ленина, пер. Фомченко, пер. Цеховой (рис. 6).

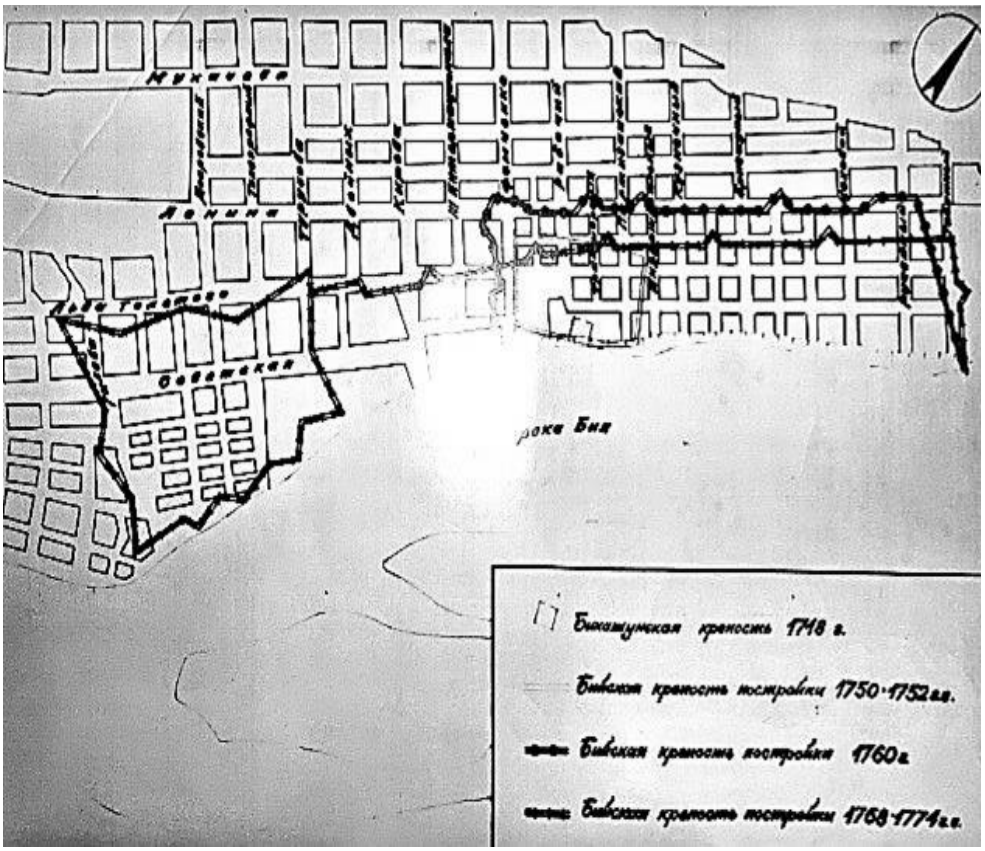


Рис. 6. Границы бийских крепостей на плане г. Бийска

Город застраивался хаотично. Первый план города был разработан томским архитектором К. Турским еще в 1834 г., но он не был реализован. Со второй половины XIX в. застройка города уплотняется. Улица Барнаульская, связывающая городской базар и пристань с Барнаульским трактом, приобретает черты сплошного фасада. Центральные улицы города, ул. Успенская (сейчас ул. Советская) и ул. Торговая (сейчас ул. Толстого), имели более разряженный характер застройки.

По ул. Успенской формируется общественный центр города, здесь располагаются магазины богатых купцов, Общественное собрание, Успенский собор, Сибирский торговый банк, здание женской гимназии и городских училищ. Многие здания по этой улице сохранились до наших дней.

По ул. Торговой проходила торговля различными товарами, в конце улицы располагались торговые лавки. В конце XIX в. на этой улице появился первый универмаг.

В конце XIX в. начинает формироваться новый район – Заречный, который заселяют переселенцы из европейской части России. К XX в. насчитывалось более 300 домов, множество магазинов. Этот район назывался «Нахаловка», т. к. это было поселение самовольцев.

Дома среднестатистических горожан в Бийске были деревянными, одноэтажными с небольшим двором и придворовым участком. Проекты этих домов разрабатывали специалисты среднего уровня – землемеры, чертежники и сами хозяева дома. Располагались такие дома в основном на окраинах, создавая нерегулярную хаотичную застройку.

Купеческие же семьи возводили особняки с мощными кирпичными или деревянными стенами, отделывали фасады богатой резьбой. Такой жилой дом обычно обладал и общественными функциями (торговая лавка, магазин, банк и т. п.). Особняки строились просторными, двухэтажными с большими окнами, балконом или лоджиями. Такие здания возводились на главных улицах, определяя вместе с крупными общественными зданиями облик города.

В 1905 г. городская дума начала процесс урегулирования существующей застройки, предполагая исключить ее хаотичность путем сноса ветхих домов и некоторых строений. Так в начале XX в. в Бийске сформировалось несколько новых районов:

1. Район Казанка – располагался с западной стороны крепости к северу от форштадта уже в 1860-х гг. Территория района ограничивалась пер. Песчаным, Муромцевским и ул. Тюремной (Сибирской), Казанской, Пантелеймоновской (Короленко).

2. Восточная часть населенной территории получила название Городок.

3. Район Крепость (назван в связи с тем, что находился на месте Бийской крепости) – находился к востоку от Городка.

4. Район Согра – находился к северу от Крепости.

Таким образом, к началу XX в. территория Бийска значительно расширилась, сохранившиеся на тот момент очертания и местоположение Бийской крепости стали основополагающими для образования общественного и торгового центра г. Бийска. Планировочная структура города формируется по периметру исторического центра, прирастая новыми жилыми районами.

В начале XX в. центральная часть города и главные торговые площади формируются на территории упраздненной Бийской крепости, а главные улицы повторяют ее очертания. В настоящее время по генеральному плану г. Бийска можно проследить местоположение Бийской крепости в очертаниях улиц «старого центра».

В заключение можно сказать, что особенности формирования планировочной структуры г. Бийска на протяжении XVIII–XIX вв. зависели как от

природно-климатических и социально-экономических факторов, так и от градостроительных особенностей и традиций, которые, в свою очередь, формировались на основе размещения оборонительных сооружений, крепостей и форпостов. Сохранившиеся материальные источники (чертежи, схемы и др.) дают четкое представление о русском военном фортификационном искусстве на различных этапах формирования Бийска. Вместе с тем изучение и исследование особенностей архитектурно-планировочной структуры исторического центра города позволит возродить интерес к историко-архитектурному наследию, создаст предпосылки развития туристических маршрутов по историческим кварталам и участкам оборонительной линии г. Бийска.

Библиографический список

1. *Исупов С.Ю.* Крепость Бийская есть главная… Документально-исторические очерки по истории Бийской крепости. Барнаул : Азбука, 2009. 302 с.
2. *Сергеев А.Д.* Тайны алтайских крепостей. Барнаул : Алтайское книжное изд-во, 1975. 80 с.
3. *Гончаров Ю.М., Литягина А.В.* Очерки истории города Бийска (вторая половина XIX – начало XX в.) / отв. ред. В.А. Скубневский ; АлтГУ. Барнаул : Аз Бука, 2009. 276 с.

References

1. *Isupov S.Yu.* Krepost' Biiskaya est' glavnaya… Dokumental'no-istoricheskie ocherki po istorii Biiskoi kreposti [Fortress is the main.... Documentary and historical essays on the history of the Biysk fortress]. Barnaul: Azbuka, 2009. 302 p. (rus)
2. *Sergeev A.D.* Tainy altaiskikh krepostei [Secrets of Altai fortresses]. Barnaul: Altaiskoe knizhnoe izd-vo, 1975. 80 p. (rus)
3. *Goncharov Yu.M., Lityagina A.V.* Ocherki istorii goroda Biiska (vtoraya polovina XIX – nachalo KhKh v.) [Essays on the Biysk history (the 19th and early 20th centuries)]. V.A. Skubnevskii, Ed., Barnaul: Az Buka, 2009. 276 p. (rus)

Сведения об авторах

Скуднева Марина Валерьевна, канд. архитектуры, доцент, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Skudneva74@mail.ru

Байдина Алена Алексеевная, магистрант, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, 630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, alyonab310196@gmail.com

Authors Details

Marina V. Skudneva, PhD, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, Skudneva74@mail.ru

Alena A. Baydina, Udergraduate, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia, alyonab310196@gmail.com

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.07 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-88-100

Г.А. СМОЛЯГО, Н.В. ФРОЛОВ,
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАСЧЕТУ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С КОРРОЗИОННЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ

Статья посвящена проблемам обеспечения долговечности эксплуатируемых железобетонных конструкций зданий и сооружений. Указывается, что основными показателями долговечности выступают ресурс и срок службы. Их нормирование на сегодняшний день осуществлено обобщенно, недостаточно обоснованно и имеет лишь рекомендательный характер, а расчетные методики оценки долговечности в строительных нормативных документах пока отсутствуют. Актуальной и информативной представляется задача по определению остаточного ресурса эксплуатируемых железобетонных конструкций. При этом замечено, что превалирующей причиной снижения несущей способности железобетонных конструкций, а соответственно, остаточного ресурса являются повреждения бетона и арматуры из-за процессов коррозии, вызванных агрессивной эксплуатационной средой. В работе проанализированы имеющиеся методы и основанные на них методики по расчету остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов с коррозионными повреждениями; определены их преимущества и недостатки при практическом использовании специалистами в области обследования строительных конструкций. Отмечается, что определение остаточного ресурса целесообразно выполнять на основе результатов натурных обследований железобетонных элементов, когда в различных характерных сечениях выявлены максимальные значения коррозионных повреждений бетона и арматуры. Наиболее перспективным и приемлемым для оценки и прогнозирования остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов считается физико-статистический подход. Окончательно величину остаточного ресурса предлагается устанавливать с учетом коэффициента надежности по ресурсу. С учетом все возрастающих случаев преждевременной потери несущей способности железобетонных конструкций из-за развития коррозионных повреждений с течением времени отмечается необходимость включения в строительные нормы проектирования обязательных требований расчета по новому (третьему) предельному состоянию – по долговечности.

Ключевые слова: изгибаемый железобетонный элемент; коррозионное повреждение; остаточный ресурс; срок службы; методика расчета; несущая способность.

Для цитирования: Смоляго Г.А., Фролов Н.В. Современные подходы к расчету остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов с коррозион-

© Смоляго Г.А., Фролов Н.В., 2019

ными повреждениями // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 88–100.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-88-100

G.A. SMOLYAGO, N.V. FROLOV,
Belgorod State Technological University Named After V.G. Shukhov

MODERN APPROACHES TO RESIDUAL LIFE CALCULATION OF FLEXURAL STEEL CONCRETE ELEMENTS WITH CORROSION DAMAGE

The article is devoted to problems of ensuring durability of steel concrete elements of buildings. It is shown that durability depends on their residual and service life. Normalizing of the latter is generalized, not sufficiently substantiated and non-regulatory. Computational techniques to assess the construction durability are not yet available. Actual and informative is determining the residual life of steel concrete structures. It was noted that the reason for the reduction in the carrying capacity of steel concrete structures and, accordingly, the residual life is corrosion damage of concrete and reinforcement due to an aggressive environment. This paper analyzes the modern methods of calculating residual life of flexural elements with corrosion, identifies their advantages and disadvantages in building inspection. The residual life should be determined on the basis of field surveys, when the maximum corrosion damage is found in various design sections. The physical and statistical approach is the most promising and acceptable for assessing and predicting the residual life of flexural steel concrete elements. The value of the residual life is proposed to be established with regard to reliability coefficient. Considering the ever increasing cases of early loss of bearing capacity of steel concrete structures due to corrosion damage, it is advisable to include mandatory requirements in construction design standards of calculating on a new ultimate limit state.

Keywords: bending reinforced concrete element; corrosion damage; residual life; service life; calculation method; bearing capacity.

For citation: Smolyago G.A., Frolov N.V. Sovremennye podkhody k raschetu ostatochnogo resursa zgibaemykh zhelezobetonnykh elementov s korrozionnymi povrezhdeniyami [Modern approaches to residual life calculation of flexural steel concrete elements with corrosion damage]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 88–100.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-88-100

Железобетонные конструкции для строительства зданий и сооружений стали широко применяться в начале XX в. Тогда считалось, что они имеют неограниченную долговечность, более того, прочность бетона конструкции, следовательно, долговечность со временем нарастает. Однако опыт дальнейшей длительной эксплуатации железобетонных конструкций показал, что они имеют конечный срок службы. Это в том числе обусловлено постепенным накоплением дефектов и повреждений в конструкционных материалах в результате совместного негативного воздействия силовых и средовых факторов. Уменьшение рабочей площади поперечных сечений, ухудшение деформативно-прочностных характеристик и нарушение сцепления бетона и арматуры приводят к снижению несущей способности железобетонных конструкций вплоть до их разрушения.

Показателями долговечности железобетонных конструкций, как свойства сохранять работоспособность до наступления предельного состояния, являются ресурс и срок службы, имеющие размерность времени [1, 2, 16, 19]. В отличие от срока службы, ресурс оперирует не календарной продолжительностью, а наработкой конструкции от начала эксплуатации или ее возобновления до перехода в предельное состояние. Для эксплуатируемых железобетонных конструкций суммарная наработка от момента обследования текущего технического состояния t_i до момента перехода в предельное состояние t_u выступает остаточным ресурсом, а при эксплуатации без перерывов – остаточным сроком службы T_i этих конструкций (рис. 1).

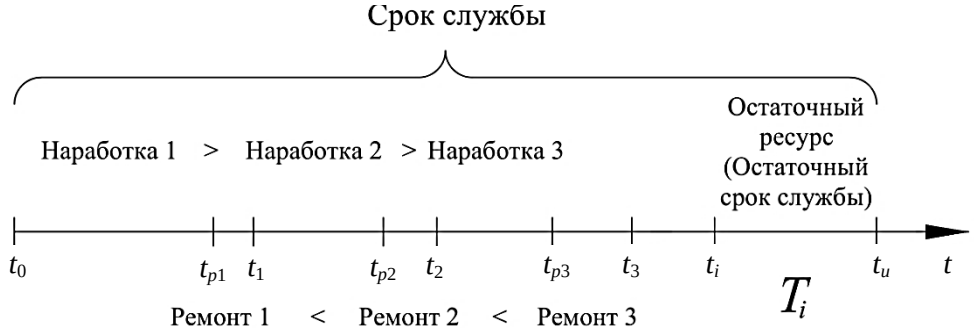


Рис. 1. Продолжительность работоспособного состояния железобетонной конструкции

Нормирование показателей долговечности железобетонных конструкций (главным образом, срока службы) на стадии проектирования на сегодняшний день осуществлено обобщенно, недостаточно обоснованно и имеет лишь рекомендательный характер. Работа конструкций под нагрузкой в течение заданного периода времени обеспечивается выполнением расчетов по двум группам предельных состояний и выбором специальных мер защиты для эксплуатации в определенных условиях при спланированной системе ремонтов. Предполагается, что эксплуатация здания и сооружения прекратится ранее исчерпания ресурса силового сопротивления основных несущих конструкций, но установить, каким срокам эксплуатации и каким вероятностям отвечает предельное состояние, не представляется возможным. Расчетные методики оценки долговечности в строительных нормативных документах пока отсутствуют.

Опережающими темпами растет число зданий и сооружений, выполненных из железобетона, срок службы которых либо приближается к нормативному значению, либо превышает его. При этом насчитывается много случаев преждевременного прекращения эксплуатации строительных объектов, главным образом по причине их аварийного состояния. Несоответствие нормативных (проектных) и фактических сроков службы свидетельствует, с одной стороны, о нерациональном использовании ресурсных возможностей железобетонных конструкций, что экономически не оправданно из-за чрезмерности затрат по их обслуживанию в сверхнормативный период, с другой стороны, о неуправляемых рисках, что чревато гуманитарным и экологическим ущербом.

Определение действительных сроков службы и остаточного ресурса железобетонных конструкций зданий и сооружений является актуальной и информативной задачей. Это особенно важно в современных экономических условиях, когда стоимость объектов недвижимости достаточно велика, а средства для инвестиций ограниченны.

Стоит отметить, что на стадии эксплуатации остаточный ресурс конструкции является индивидуальным показателем долговечности, который характеризует интенсивность исчерпания запасов (прочности, деформативности, трещиностойкости и др.) во времени. Прогнозирование остаточного ресурса позволяет предупреждать возможные отказы и непредвиденные достижения предельных состояний, а также более обоснованно планировать режимы эксплуатации и ремонтные мероприятия обслуживающими организациями [3].

Часто причиной снижения несущей способности железобетонных конструкций, а соответственно, остаточного ресурса являются повреждения бетона и арматуры из-за процессов коррозии, вызванных агрессивной эксплуатационной средой [4, 20]. В связи с этим в настоящей работе ставится цель: проанализировать имеющиеся методы и основанные на них методики по расчету остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов, имеющих коррозионные повреждения; определить их преимущества и недостатки при практическом использовании специалистами в области обследования строительных конструкций.

При выполнении работы применялись общенаучные методы исследования, главными из которых являются анализ и обобщение основных положений существующих методик расчета остаточного ресурса изгибаемых коррозионно-поврежденных железобетонных элементов.

Конструктивные системы зданий и сооружений являются сложными системами ввиду того, что они представляет собой совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих элементов конструкций. Отсюда, согласно [5], все методы оценки и прогнозирования остаточного ресурса строительных конструкций, в том числе эксплуатируемых железобетонных элементов с коррозионными повреждениями, можно разделить на следующие основные группы: статистические, детерминированные, физико-статистические и экспертные (рис. 2).

Статистические методы требуют полной информации по текущим наработке и отказам строительных конструкций за прошедший период времени от начала эксплуатации [17]. Но в действительности такая информация отличается фрагментарностью и неопределенностью, что сдерживает применение статистических методов при оценке и прогнозировании остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов.

Детерминированные методы используют аналитические зависимости, связывающие время до наступления предельного состояния с внутренними усилиями от внешних нагрузок и показателями коррозионных повреждений конструкционных материалов. Здесь не учитываются факторы случайности, что ограничивает применение детерминированных методов в задачах, где есть вероятность внезапных отказов.

Физико-статистические методы учитывают влияние силовых и агрессивных средовых воздействий на строительные конструкции с позиций теории ве-

роятностей. Данные методы позволяют определять остаточный ресурс коррозионно-поврежденных изгибаемых железобетонных элементов наиболее близко к его фактической величине и являются наиболее перспективными для углубленной разработки с последующим включением в нормы проектирования.

Рис. 2. Классификация методов оценки и прогнозирования остаточного ресурса [5]

Экспертные методы основываются на заключениях специалистов в области обследования строительных конструкций, поэтому имеют субъективный характер. Такие методы позволяют при минимальных затратах наиболее быстро провести оценку и прогнозирование остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов, но при этом не отличаются высокой точностью конечных результатов.

Таким образом, каждая группа методов имеет своим преимущества и недостатки. Поэтому выбор того или иного метода для определения остаточного ресурса конструкций зависит от степени ответственности решаемой задачи, уровня квалификации экспертов, технико-диагностического оснащения и др.

На сегодняшний день, исходя из рассмотренных выше методов, разработано многообразие методик расчета остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов, приведенных в работах [6–11]. Разберем те, которые реально применяются на практике.

Наиболее просто и доступно остаточный ресурс изгибаемого железобетонного элемента может быть определен по нормативам срока службы согласно выражению

$$T_i = t_i - [t_u], \qquad (1)$$

где t_i – период времени от момента ввода объекта в эксплуатацию или его возобновления после капитального ремонта до момента обследования технического состояния конструкций; $[t_u]$ – нормативный срок службы или установ-

ленный срок службы конструкций между капитальными ремонтами. Но ввиду того, что на сегодня нормирование сроков службы осуществлено приближенно, этот поход имеет большую погрешность результата в обе стороны.

Определение остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов возможно по фактическим срокам службы объектов-аналогов по формуле

$$T_i = t_i - \bar{t}_{u,j}, \qquad (2)$$

где $\bar{t}_{u,j}$ – средний фактический срок службы объектов-аналогов. Такой подход требует информации по опыту эксплуатации идентичных конструкций зданий и сооружений аналогичного назначения, которая часто бывает недоступна. Кроме того, он также имеет большую погрешность результатов.

При расчетах остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов по нормативам срока службы и по фактическим срокам службы объектов-аналогов коррозионные повреждения материалов учитываются косвенно, поэтому данные методики, относящиеся к группе экспертных методов, неприменимы в задачах, связанных с конструктивной безопасностью, и могут быть использованы в дополнение к другим методикам расчета.

Определение остаточного ресурса целесообразно производить на основе результатов натурных обследований изгибаемых железобетонных элементов, когда в различных характерных расчетных сечениях установлены максимальные значения коррозионных повреждений бетона и арматуры.

В источниках [6–8] представлена довольно распространенная методика расчета остаточного ресурса по физическому износу (поврежденности) железобетонных конструкций, в которой изменение несущей способности описывается экспоненциальным законом. Для изгибаемых железобетонных элементов вначале на основании назначенной экспертом текущей величины поврежденности из-за процессов коррозии $\delta(t_i)$ устанавливается коэффициент относительной надежности $y(t_i) = 1 - \delta(t_i)$, а затем постоянная коррозионного износа λ согласно выражению

$$\lambda = -\frac{\ln y(t_i)}{t_i}. \qquad (3)$$

Остаточный ресурс согласно данной методике будет равен

$$T_i = -\frac{\ln y}{\lambda}, \qquad (4)$$

где усредненно $y = 0{,}65$ – при наступлении аварийного состояния; $y = 0{,}75$ – неработоспособного состояния и т. д. по [6]. Методика в некоторых случаях позволяет относительно точно прогнозировать сроки допустимой эксплуатации, но при этом имеет субъективный характер [7]. Кроме того, как отмечено в работе [8], недостаток еще кроется в «осреднении» коэффициентов надежности при назначении коэффициента относительной надежности. Последний в развитие этой расчетной методики предлагается заменить на коэффициент относительного запаса несущей способности *w*.

Имеют применение методики расчета остаточного ресурса, основанные на физическом износе конструкций, выраженном в процентах. Здесь можно выделить два подхода [12].

В первом остаточный ресурс находится через среднее время безотказной работы железобетонных конструкций:

$$T_i = \overline{t} - t_i, \tag{5}$$

где $\overline{t}$ – среднее время безотказной работы, определяемое по формуле

$$\overline{t} = \frac{t_i}{-\ln\left(1-\frac{\Phi_i}{100}\right)}, \tag{6}$$

где Φ_i – текущая величина физического износа железобетонных конструкций, %.

Во втором остаточный ресурс находится по формуле (5), но только через время эксплуатации до предельного износа:

$$t_u = \frac{t_i\left(\exp\left(m\Phi_i\right)+\Phi_u\right)}{\exp\left(m\Phi_i\right)-1}, \tag{7}$$

где Φ_u – предельно устанавливаемая величина физического износа железобетонных конструкций, %; m – коэффициент, принимаемый в пределах от 0,10 до 0,15.

В зависимости от способа определения величины физического износа железобетонных конструкций, данные методики могут быть отнесены к разным группам методов оценки и прогнозирования остаточного ресурса и иметь свойственные им преимущества и недостатки. Коррозионные повреждения учитываются напрямую, т. к. характеризуют степень физического износа.

Часто применяется методика расчета остаточного ресурса на основе экстраполяции текущих значений коррозионных повреждений железобетонных конструкций до критических значений, при которых в определенный момент времени по расчету наступит какое-либо предельное состояние. В данной методике используются различные идеализированные функциональные зависимости изменения конкретных геометрических и механических характеристик конструкционных материалов за время эксплуатации [2, 11, 13, 18, 21, 22]. При выборе зависимостей учитываются конструктивные особенности, вид и агрессивность эксплуатационной среды, действующие усилия от внешних нагрузок и др. За остаточный ресурс принимается временной интервал T_i согласно рис. 1. В случаях, когда обследования конструкций проводились периодически и в разное время, остаточный ресурс можно прогнозировать с доверительной вероятностью.

Похожей на вышеописанную методику является методика расчета остаточного ресурса на основе изменения во времени коэффициентов запаса по двум группам предельных состояний и конструктивным требованиям [10]. Коэффициенты запаса представляют собой отношение правых и левых частей известных поверочных расчетов изгибаемых железобетонных элементов с коррозионными повреждениями [14]. Безопасная эксплуатация конструкций невозможна при значении минимального коэффициента запаса по первой группе предельных состояний меньше единицы. Обозначим, что в момент ввода объекта в эксплуатацию или ее возобновления после ремонта начальное состояние конструкций (с учетом дефектов и отклонений) характеризуется проектным

коэффициентом запаса $k(t_0)$, а в рассматриваемый момент эксплуатации текущим коэффициентом запаса $k(t_i)$. Тогда, при отсутствии других данных, изменение коэффициента запаса во времени может быть описано квадратичной функцией вида

$$t_u = t_i \sqrt{\left(k(t_0)-1\right) / \left(k(t_0)-k(t_i)\right)} \,. \qquad (8)$$

При наличии трех и более параметрических точек возможно применение более сложных аппроксимирующих зависимостей. Остаточный ресурс изгибаемых железобетонных элементов находится согласно рис. 1.

Заслуживает внимания методика расчета остаточного ресурса на основе показателей механики разрушения, где одним из основных является коэффициент интенсивности напряжений (КИН), определяемый экспериментальным путем. Установлено, что с уменьшением величины КИН остаточный ресурс уменьшается, что в результате позволяет прогнозировать остаточный ресурс эксплуатируемых железобетонных конструкций [15]. На наш взгляд, некоторые положения этой методики требуют корректировок и дополнительных исследований, что на сегодня сдерживает ее практическое применение.

При обследовании технического состояния несущих конструкций производственного здания с периодом эксплуатации 54 года в г. Белгороде на основе рассмотренных выше методик была выполнена расчетная оценка остаточного ресурса сборных железобетонных плит перекрытия, имеющих коррозионные повреждения бетона и арматуры (рис. 3).

Рис. 3. Характерный вид обследуемых железобетонных плит перекрытия с коррозионными повреждениями бетона и арматуры

Расчеты выполнялись в соответствии с требованиями действующих норм и правил, а также фактическими нагрузками, размерами, деформативно-прочностными характеристиками материалов конструкций, расчетными схемами и другими сведениями, установленными при натурных обследованиях и на основании проектной документации и типовых серий.

Среда в производственной части здания среднеагрессивная, температурно-влажностный режим нормальный.

Плиты перекрытия – железобетонные ребристые плиты размером в плане 1,0×6,0 м, марки П2 согласно серии 1-82-Р5.

Бетон конструкций соответствует классу по прочности на сжатие В15 (марка М200). Армирование продольных ребер выполнено арматурными стержнями Ø22 25ГС. Текущая глубина коррозионных повреждений стальной арматуры равна 2,0 мм. Величина защитного слоя составляет 10 мм.

Установлено, что возникающий в сечении плиты изгибающий момент от внешней нагрузки равен $M_{внеш}$ = 29,34 кНм. Прочность нормального сечения плиты перекрытия на момент обследования равна $M_{факт}$ = 30,45 кНм.

Ширина продолжительного раскрытия трещин составляет $a_{crc}^{факт}$ = 0,20 мм, что не превышает предельно допустимого значения $[a_{crc}]$ = 0,3 мм. Ширина непродолжительного раскрытия трещин составляет $a_{crc}^{факт}$ = 0,28 мм, что не превышает предельно допустимого значения $[a_{crc}]$ = 0,4 мм.

Прогиб конструкций составляет $f_{факт}$ = 1,48 мм, что не превышает предельно допустимого значения $[f]$ = 2,93 мм.

Результаты расчета остаточного ресурса представлены в таблице.

Определение остаточного ресурса железобетонных плит перекрытия производственного здания с коррозионными повреждениями

Методика расчета остаточного ресурса конструкций	Формула расчета	Обоснование расчета	Остаточный ресурс, лет
1. По нормативам срока службы конструкций	(1)	Методика определения нормативных сроков эксплуатации строительных конструкций. Проект приказа Минстроя РФ	26
2. По фактическим срокам службы конструкций объектов-аналогов	(2)	Экспертные отчеты по техническому состоянию идентичных конструкций ООО «Строительная экспертиза», г. Белгород	28
3. По физическому износу конструкций, изменение несущей способности которых описывается экспоненциальным законом	(4)	Экспертный отчет по текущему техническому состоянию рассчитываемых конструкций ООО «Строительная экспертиза», г. Белгород	14
4. По физическому износу конструкций, выраженному в процентах, через среднее время безотказной работы	(5)		15
5. По физическому износу, выраженному в процентах, через время эксплуатации до предельного износа	(5) с учетом (7)		16

Окончание таблицы

Методика расчета остаточного ресурса конструкций	Формула расчета	Обоснование расчета	Остаточный ресурс, лет
6. На основе изменения во времени коэффициентов запаса по двум группам предельных состояний и конструктивным требованиям	по рис 1.	Экспертный отчет по текущему техническому состоянию рассчитываемых конструкций ООО «Строительная экспертиза», г. Белгород, СП 63	12
7. На основе экстраполяции текущих значений повреждений конструкций до предельных значений	по рис. 1		11

Анализ результатов расчета показывает, что наименьшие значения остаточного ресурса получены с применением методик, основанных на изменении коэффициентов запаса по предельным состояниям и экстраполяции повреждений до предельных значений, которые наиболее полно учитывают влияние накопленных коррозионных повреждений на прочность и деформативность изгибаемых железобетонных элементов.

Стоит отметить, что в любом случае окончательно остаточный ресурс изгибаемых железобетонных элементов с коррозионными повреждениями следует устанавливать согласно выражению

$$T_n = \frac{T_i}{\gamma_t}, \qquad (9)$$

где γ_t – коэффициент надежности по ресурсу, назначаемый в зависимости от уровня ответственности рассматриваемого объекта, вида эксплуатационной среды, величины коррозионных повреждений и др. Кроме того, остаточный ресурс не должен превышать интервала времени, на котором велось наблюдение за несущими железобетонными конструкциями здания или сооружения.

Анализ всех рассмотренных выше методов и основанных на них методик расчета остаточного ресурса изгибаемых железобетонных элементов с коррозионными повреждениями позволяет заключить следующее:

– имеется многообразие расчетных методик по определению остаточного ресурса, при этом считать какую-либо методику универсальной нельзя из-за большого числа факторов, влияющих на прогноз срока службы железобетонных конструкций;

– определение остаточного ресурса целесообразно выполнять на основе результатов натурных обследований железобетонных конструкций, когда в различных расчетных сечениях выявлены максимальные значения коррозионных повреждений бетона и арматуры;

– наиболее перспективным и приемлемым для оценки и прогнозирования остаточного ресурса является физико-статистический подход, который применительно к изгибаемым железобетонным элементам, находящимся в условиях силового и средового воздействия, в настоящее время разработан недостаточно углубленно;

– с учетом все возрастающих случаев преждевременной потери несущей способности железобетонных конструкций из-за развития коррозионных повреждений во времени назрела необходимость внесения в строительные нормы проектирования обязательных требований расчета по новому (третьему) предельному состоянию – по долговечности.

Библиографический список

1. *Бондаренко В.М., Колчунов В.И.* Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 2. С. 28–31.
2. *Селяев В.П., Бондаренко В.М., Селяев П.В.* Прогнозирование ресурса железобетонных изгибаемых элементов, работающих в агрессивной среде, по первой стадии предельных состояний // Региональная архитектура и строительство. 2017. № 2 (31). С. 14–24.
3. *Пшеничкина В.А., Сухина К.Н., Бабалич В.С., Сухин К.А.* Оценка остаточного ресурса несущих железобетонных конструкций эксплуатируемых промышленных зданий. Москва : Изд-во АСВ, 2017. 176 с.
4. *Васкевич В.М., Андреев Н.В., Старчуков Д.С.* Прогнозирование долговечности изгибаемых железобетонных элементов с трещинами и коррозионными повреждениями // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2010. № 629. С. 29–35.
5. *Острейковский В.А.* Теория надежности. Москва : Высш. шк., 2003. С. 225–236.
6. *Добромыслов А.Н.* Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. Москва : Изд-во АСВ, 2008. 72 с.
7. *Дегтярь А.Н., Серых И.Р., Панченко Л.А., Чернышева Е.В.* Остаточный ресурс конструкций зданий и сооружений // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 94–97.
8. *Беляев С.М.* Расчет остаточного ресурса зданий с учетом запаса несущей способности конструкций // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 3 (11). С. 22–25.
9. *Байбурин А.Х., Байбурин Д.А.* Некоторые аспекты оценки остаточного ресурса строительных конструкций // Наука и безопасность. 2011. № 1 (9). С. 16–22.
10. *Шматков С.Б.* Расчет остаточного ресурса строительных конструкций зданий и сооружений // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2007. № 22 (94). С. 56–57.
11. *Селяев В.П., Селяев П.В., Сорокин Е.В., Кечуткина Е.Л.* Прогнозирование долговечности железобетонных изгибаемых элементов методом деградационных функций // Жилищное строительство. 2014. № 12. С. 8–18.
12. *Шмелев Г.Д.* Систематизация определяющих параметров для прогноза остаточного срока службы строительных конструкций // Вестник МГСУ. 2013. № 8. С. 89–96.
13. *Шмелев Г.Д., Николайчев И.В.* Параметрические методы прогнозирования остаточных сроков службы железобетонных строительных конструкций // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. 2013. № 7. С. 167–175.
14. *Белов В.В., Никитин С.Е.* Диахронная модель деформирования коррозионно-поврежденных железобетонных элементов с трещинами // Вестник гражданских инженеров. 2011. № 4 (29). С. 18–25.
15. *Скоробогатов С.М., Куршпель А.В.* К расчету остаточного ресурса железобетонных конструкций существующих зданий и сооружений // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2016. № 3 (31). С. 148–155.
16. *Карпенко Н.И., Карпенко С.Н., Ярмаковский В.Н., Ерофеев В.Т.* О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций // Academia. Архитектура и строительство. 2015. № 1. С. 93–102.
17. *Моисеенко Р.П.* Новый вариант расчета долговечности конструкций // Строительная механика и расчет сооружений. 2015. № 3 (260). С. 12–17.

18. *Fatima T., Arab N., Zemskov E.P., Muntean A.* Homogenization of a reaction – diffusion system modeling sulfate corrosion of concrete in locally periodic perforated domains // Journal of Engineering Mathematics, 2011. V. 69. I. 2–3. P. 261–276.
19. *Казачек В.Г.* Проблемы нормирования сроков службы зданий и сооружений // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки. 2010. № 6. С. 56–71.
20. *Nygaard P., Geiker M., Elsener B.* Corrosion rate of steel in concrete: evaluation of confinement techniques for on -site corrosion rate measurements // Materials and Structures 2009. V. 420. Pp. 1059–1076.
21. *Andrade C., Alonso C.* Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method // Materials and Structures. 2004. V. 37. P. 623–643.
22. *Stewart M.G.* Reliability Safety Assessment of Corroding Reinforced Concrete Structures Based on Visual Inspection Information // ACI Structural Journal. 2010. V. 107. P. 671–679.

REFERENCES

1. *Bondarenko V.M., Kolchunov V.I.* Kontseptsiya i napravleniya razvitiya teorii konstruktivnoi bezopasnosti zdanii i sooruzhenii pri silovykh i sredovykh vozdeistviyakh [The concept and direction of theory development of building safety and environmental impacts]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2013. V. 2. Pp. 28–31. (rus)
2. *Selyaev V.P., Bondarenko V.M., Selyaev P.V.* Prognozirovanie resursa zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov, rabotayushchikh v agressivnoi srede, po pervoi stadii predel'nykh sostoyanii [Resource life prediction of steel concrete flexural elements in aggressive environment according to the ultimate limit state]. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2017. V. 2 (31). Pp. 14–24. (rus)
3. *Pshenichkina V.A., Sukhina K.N., Babalich V.S., Sukhin K.A.* Otsenka ostatochnogo resursa nesushchikh zhelezobetonnykh konstruktsii ekspluatiruemykh promyshlennykh zdanii: Monografiya [Estimation of residual life of bearing reinforced concrete structures of industrial buildings]. Moscow: ASV, 2017. 176 p. (rus)
4. *Vaskevich V.M., Andreev N.V., Starchukov D.S.* Prognozirovanie dolgovechnosti izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov s treshchinami i korrozionnymi povrezhdeniyami [Prediction of durability of flexural reinforced concrete elements with cracks and corrosion damage]. *Trudy Voenno-kosmicheskoi akademii im. A.F. Mozhaiskogo*. 2010. V. 629. Pp. 29–35. (rus)
5. *Ostreikovskii V.A.* Teoriya nadezhnost [Reliability theory]. Moscow: Vysshaya shkola, 2003. Pp. 225–236. (rus)
6. *Dobromyslov A.N.* Otsenka nadezhnosti zdanii i sooruzhenii po vneshnim priznakam [Assessment of building reliability]. Moscow: ASV, 2008. 72 p. (rus)
7. *Degtyar' A.N., Serykh I.R., Panchenko L.A., Chernysheva E.V.* Ostatochnyi resurs konstruktsii zdanii i sooruzhenii [Residual life of building structures]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2017. V. 10. Pp. 94–97. (rus)
8. *Belyaev S.M.* Raschet ostatochnogo resursa zdanii s uchetom zapasa nesushchei sposobnosti konstruktsii [Calculation of residual life of buildings taking into account reserve bearing capacity of structures]. *Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arkhitektura*. 2013. V. 3 (11). Pp. 22–25. (rus)
9. *Baiburin A.Kh., Baiburin D.A.* Nekotorye aspekty otsenki ostatochnogo resursa stroitel'nykh konstruktsii [Assessment of residual life of buildings]. *Nauka i bezopasnost'*. 2011. No. 1 (9). Pp. 16–22. (rus)
10. *Shmatkov S.B.* Raschet ostatochnogo resursa stroitel'nykh konstruktsii zdanii i sooruzhenii [Calculation of residual life of buildings]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2007. V. 22 (94). Pp. 56–57. (rus)
11. *Selyaev V.P., Selyaev P.V., Sorokin E.V., Kechutkina E.L.* Prognozirovanie dolgovechnosti zhelezobetonnykh izgibaemykh elementov metodom degradatsionnykh funktsii [Prediction of durability of reinforced concrete bent elements by degradation functions]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. V. 12. Pp. 8–18. (rus)

12. *Shmelev G.D.* Sistematizatsiya opredelyayushchikh parametrov dlya prognoza ostatochnogo sroka sluzhby stroitel'nykh konstruktsii [Systematization of parameters for prediction of building residual life]. *Vestnik MGSU*. 2013. V. 8. Pp. 89–96. (rus)
13. *Shmelev G.D., Nikolaichev I.V.* Parametricheskie metody prognozirovaniya ostatochnykh srokov sluzhby zhelezobetonnykh stroitel'nykh konstruktsii [Parametric methods for predicting residual life of reinforced concrete structures]. *Nauchnyi vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser. Fiziko-khimicheskie problemy i vysokie tekhnologii stroitel'nogo materialovedeniya*. 2013. V. 7. Pp. 167–175. (rus)
14. *Belov V.V., Nikitin S.E.* Diakhronnaya model' deformirovaniya korrozionno-povrezhdennykh zhelezobetonnykh elementov s treshchinami [Diachronic deformation model of corrosion-damaged reinforced concrete elements with cracks]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2011. V. 4 (29). Pp. 18–25. (rus)
15. *Skorobogatov S.M., Kurshpel' A.V.* K raschetu ostatochnogo resursa zhelezobetonnykh konstruktsii sushchestvuyushchikh zdanii i sooruzhenii [Calculation of residual life of reinforced concrete of buildings]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya*. 2016. V. 3 (31). Pp. 148–155. (rus)
16. *Karpenko N.I., Karpenko S.N., Yarmakovskii V.N., Erofeev V.T.* O sovremennykh metodakh obespecheniya dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruktsii [Modern methods of ensuring durability of reinforced concrete structures]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2015. V. 1. Pp. 93–102. (rus)
17. *Moiseenko R.P.* Novyj variant rascheta dolgovechnosti konstrukcij [A new way for calculating structural durability]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij*. 2015. V. 3 (260). Pp. 12–17. (rus)
18. *Fatima T., Arab N., Zemskov E.P., Muntean A.* Homogenization of a reaction – diffusion system modeling sulfate corrosion of concrete in locally periodic perforated domains. *Journal of Engineering Mathematics*. 2011. V. 69. No. 2–3. Pp. 261–276.
19. *Kazachek V.G.* Problemy normirovaniya srokov sluzhby zdanii i sooruzhenii [Normalizing building durability]. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. F: Stroitel'stvo. Prikladnye nauki*. 2010. V. 6. Pp. 56–71. (rus)
20. *Nygaard P., Geiker M., Elsener B.* Corrosion rate of steel in concrete: evaluation of confinement techniques for on-site corrosion rate measurements. *Materials and Structures*. 2009. V. 420. Pp. 1059–1076.
21. *Andrade C., Alonso C.* Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method. *Materials and Structures*. 2004. V. 37. Pp. 623–643.
22. *Stewart M.G*. Reliability Safety Assessment of Corroding Reinforced Concrete Structures Based on visual inspection information. *ACI Structural Journal*. 2010. V. 107. Pp. 671–679.

Сведения об авторах

Смоляго Геннадий Алексеевич, докт. техн. наук, профессор, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, tpk-psv@yandex.ru

Фролов Николай Викторович, аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, frolov_pgs@mail.ru

Authors Details

Gennady A. Smolyago, DSc, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46, Kostyukova, 308012, Belgorod, Russia, tpk-psv@yandex.ru

Nikolay V. Frolov, Research Assistant, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46, Kostyukova, 308012, Belgorod, Russia, frolov_pgs@mail.ru

УДК 69.07 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-101-114

А.А. КОЯНКИН[1], В.М. МИТАСОВ[2], И.Я. ПЕТУХОВА[1], Т.А. ЦХАЙ[1],
[1]Сибирский федеральный университет,
[2]Новосибирский государственный
архитектурно-строительный университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОЭТАПНОГО ВОЗВЕДЕНИЯ И ЗАГРУЖЕНИЯ СБОРНО-МОНОЛИТНОГО ИЗГИБАЕМОГО ЭЛЕМЕНТА НА ЕГО НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

Важной особенностью, влияющей на напряжённо-деформированное состояние сборно-монолитного элемента, является поэтапность монтажа и загружения. Нормативные документы РФ указывают на необходимость выполнения расчёта сборно-монолитных конструкций для следующих двух стадий работы конструкции: до и после приобретения монолитным бетоном заданной прочности. При этом расчёт необходимо производить с учётом начальных напряжений и деформаций, проявившихся в сборных элементах до приобретения бетоном омоноличивания заданной прочности.

Однако сам вопрос поэтапности возведения и загружения и связанный с этим процесс накопления напряжений и деформаций в нормативных документах и каких-либо других рекомендациях не раскрыт. Кроме того, данный вопрос также недостаточно изучен в научно-технической литературе.

В связи с этим авторами данной статьи проведены соответствующие экспериментальные исследования, целью которых являлось изучение влияния предварительного загружения сборной части на характер последующего напряжённо-деформированного состояния и несущую способность сборно-монолитного изгибаемого элемента.

В процессе проведения экспериментальных исследований проводились исследования образцов с предварительно загружаемой сборной частью (выполнялось до набора монолитным бетоном требуемой прочности) и дальнейшее сопоставление полученных результатов с одномоментно загружаемыми экспериментальными образцами. При этом остальные параметры экспериментальных моделей были полностью идентичны у всех. В общей сложности было испытано 5 экспериментальных образцов (3 образца поэтапно загружаемых и 2 одномоментно загружаемых образца).

Проведённые исследования показали существенное влияние предварительного нагружения сборной части на последующее напряжённо-деформированное состояние сборно-монолитной конструкции и ее итоговую несущую способность.

Ключевые слова: сборно-монолитные конструкции; железобетонные конструкции; поэтапность монтажа; предварительное загружение; экспериментальные исследования.

Для цитирования: Коянкин А.А., Митасов В.М., Петухова И.Я., Цхай Т.А. Экспериментальные исследования влияния поэтапного возведения и загружения сборно-монолитного изгибаемого элемента на его напряжённо-деформированное состояние // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 101–114.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-101-114

© Коянкин А.А., Митасов В.М., Петухова И.Я., Цхай Т.А., 2019

A.A. KOYANKIN[1], V.M. MITASOV[2], I.YA. PETUHOVA[1], T.A. TSHAY[1],
[1]Siberian Federal University,
[2]Novosibirsk State University of Architecture and Construction

STRESS-STRAIN STATE OF PREFABRICATED MONOLITHIC BENDING ELEMENT AT GRADUAL INSTALLATION AND LOADING

The stress-strain state of the prefabricated monolithic element depends on its gradual installation and loading. Regulatory documents of the Russian Federation indicate the need to calculate precast-monolithic structures for two stages of construction: before and after the specified monolithic concrete strength acquired. In this case, the stress-strain state that appeared in the prefabricated elements before the specified monolithic concrete strength should be considered.

However, the construction and loading stages at issue and accumulation of stresses and strains are not disclosed in the regulatory documents. In addition, this problem is insufficiently studied.

In this regard, the aim of this paper is to study the pre-loading effect of the prefabricated element on its stress-strain state and the load-bearing capacity.

During the experiments, a pre-loaded prefabricated part is studied. The obtained results are compared with instantaneously loaded test samples. Other parameters of the experimental models are completely identical. In all, 5 samples are tested (step-by-step loading of 3 samples and instantaneous loading of 2 samples).

It is shown that pre-loading of the preloaded prefabricated part significantly affects the stress-strain state of the whole structure and its total load-bearing capacity.

Keywords: precast-monolithic structures; reinforced concrete structures; phased installation; pre-loading; experimental studies.

For citation: Koyankin A.A., Mitasov V.M., Petuhova I.Ya., Tshay T.A. Eksperimental"nye issledovaniya vliyaniya poetapnogo vozvedeniya i zagruzheniya sborno-monolitnogo izgibaemogo elementa na ego napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie [Stress-strain state of prefabricated monolithic bending element at gradual installation and loading]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 101–114.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-101-114

Введение

Последние двадцать-тридцать лет сборно-монолитное домостроение существенно усилило свои позиции на строительном рынке России, изрядно потеснив другие строительные системы, включая выполняемые из сборного и монолитного бетона [1, 5–8, 10, 11, 14]. Однако следом за темпами производства и строительства далеко не всегда поспевает научная подоснова [12, 16], что, в свою очередь, приводит к недостаточно качественному проектированию. И действительно, несмотря на имеющийся к данному моменту объём накопленных экспериментальных данных [2–4, 12, 13, 16], остаётся недостаточно изученным вопрос влияния поэтапности возведения и загружения сборно-монолитного элемента на его напряжённо-деформированное состояние и несущую способность. Вместе с тем данный вопрос является крайне актуальным [9, 15], ведь сам по себе процесс возведения сборно-монолитных конструкций неизбежно сопровождается первоначальным включением в процесс деформирования сборного

бетона, нагружением его монтажными нагрузками (включая и нагрузки от свежеуложенного монолитного бетона), и только после набора монолитным бетоном требуемой прочности он (монолитный бетон) включается в процесс восприятия внешней нагрузки совместно со сборной частью. Здесь необходимо понимать, что к моменту «старта» деформирования монолитного бетона сборный бетон и размещённая в нём арматура испытывают напряжения от ранее приложенной монтажной нагрузки. Причём усилия в сборном элементе могут быть достаточно существенными, и нельзя их игнорировать при выполнении расчётов строительных конструкций и их конструировании.

Исходя из вышеобозначенного авторами были проведены экспериментальные исследования, целью которых являлась оценка влияния поэтапности возведения и загружения сборно-монолитного изгибаемого элемента на его напряжённо-деформированное состояние. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1) экспериментальные исследования поэтапно монтируемых и загружаемых сборно-монолитных балок;

2) экспериментальные исследования одномоментно загружаемых сборно-монолитных балок;

3) проведение сопоставительного анализа.

Методы

Для проведения данных исследований были изготовлены и испытаны в лаборатории испытания строительных конструкций Сибирского федерального университета в общей сложности пять экспериментальных образцов (рис. 1), которые, в свою очередь, делились на 2 типа серий:

1-й тип (серия Б2, включала 3 образца) – загружение образцов происходило в 2 этапа, где на 1-м этапе предварительному загружению ($2P$ = 2,36 кН, величина изгибающего момента составила M = 0,62 кН·м), моделирующему монтажную нагрузку (собственный вес, вес сборных элементов и свежеуложенного монолитного бетона), подвергалась только лишь сборная часть образца, после чего, не снимая нагрузку, укладывался монолитный бетон. После набора монолитным бетоном требуемой прочности осуществлялось догружение уже сборно-монолитной балки вплоть до разрушения нагрузкой, моделирующей в реальной конструкции дополнительную монтажную (вес конструкций пола, перегородок, ненесущих стен) и эксплуатационную нагрузку.

2-й тип (серия Б5, включала 2 образца) – производилось одноэтапно загружение полностью готового сборно-монолитного образца вплоть до разрушения.

По схеме статической работы экспериментальные образцы, как на 1-м, так и на 2-м этапах загружения, представляли собой однопролётные шарнирно опёртые балки одинакового пролёта 1,5 м. Нагрузка прикладывалась в виде свободных весов (железобетонные блоки различной формы и металлические блоки), подвешенных на тросах в двух точках.

Параметры экспериментальных образцов следующие (рис. 1):

– сборная часть – размеры 1700×80×80(h) мм, тяжёлый бетон кл. В25, продольная арматура 1Ø10А240, поперечная арматура в опорной зоне Ø4В500 с шагом 50 мм, поперечное армирование в центральной зоне отсутствовало;

– монолитная часть – длина и ширина аналогично размерам сборной части, высота 60 мм, лёгкий бетон (конструкционный керамзитобетон) кл. В12,5, продольное армирование отсутствовало, поперечное армирование было только в опорной зоне арматурой за счёт выпусков сборной части. Общие итоговые размеры сборно-монолитных балок составили 1700×80×140(*h*) мм.

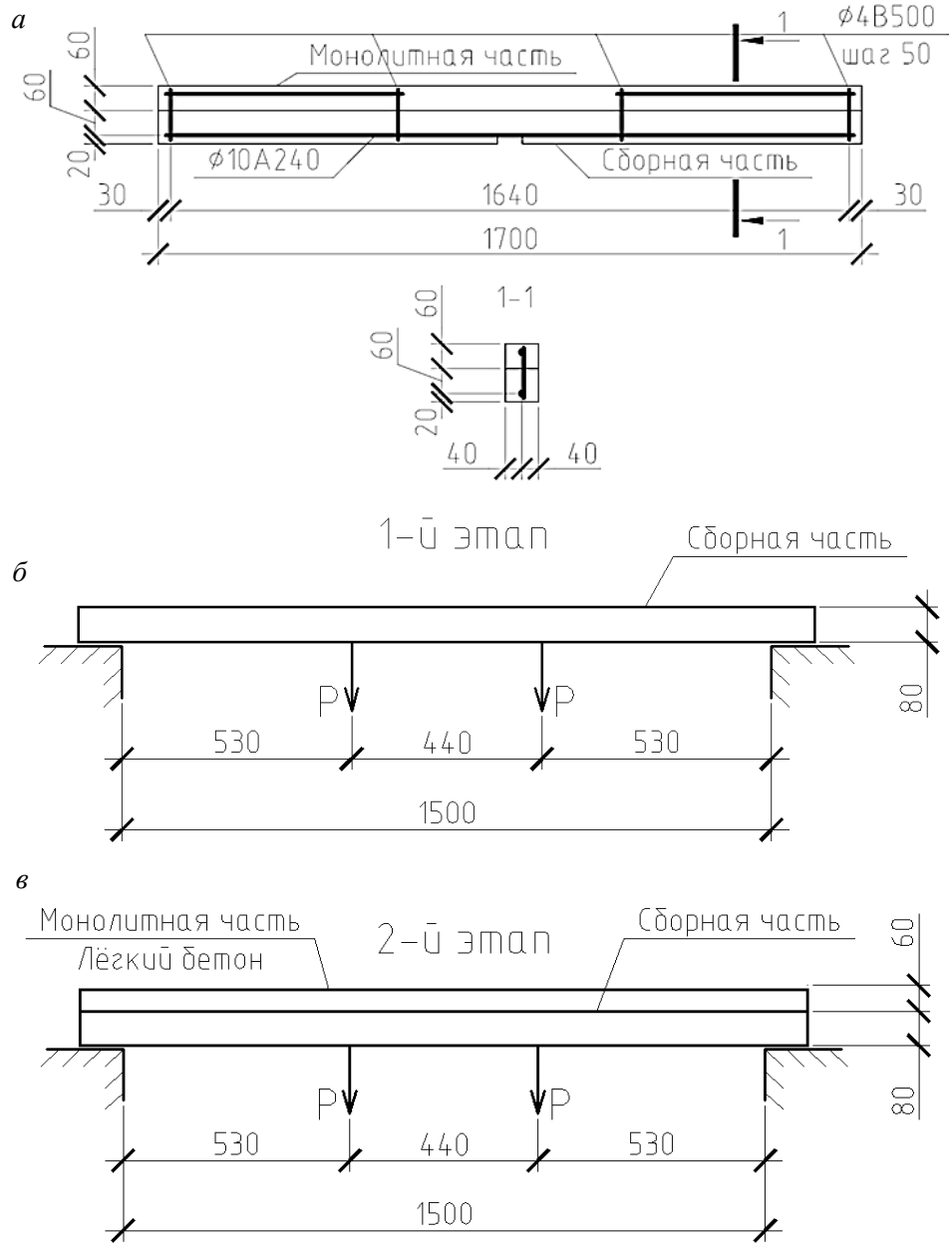


Рис. 1. Экспериментальные образцы:
а – чертёж; *б, в* – схемы приложения нагрузки на 1-м и 2-м этапах загружения

г

д

Рис. 1. Экспериментальные образцы:
г, д – фото процесса загружения на 1-м и 2-м этапах

В итоге образцы серий Б2 и Б5 были полностью идентичны с точки зрения конструктивного исполнения и схемы статической работы, но различались процессом монтажа и загружения.

Фиксация напряжённо-деформированного состояния экспериментальных образцов осуществлялась с использованием следующих приборов и оборудования: индикаторы часового типа ИЧ-10, тензометрические датчики и система измерительная тензометрическая ММТС-64 (фиксация деформаций арматуры и бетона), прогибомер 5ПАО-ЛИСИ (фиксация прогибов), микроскоп МПБ-3 (фиксация ширины раскрытия трещин).

Результаты

Проведённые экспериментальные исследования показали следующие результаты (рис. 2, *а*):

– во всех образцах серии Б2, загружение которых происходит поэтапно, чётко фиксируется разная средняя интенсивность (рост показателя на 1 кН или 1 кН·м увеличения нагрузки *P* или усилия *M*) прироста прогибов на каждом этапе загружения. На 1-м этапе, когда включена в процесс деформирования только сборная часть, нарастание прогибов происходит более интенсивно (средняя интенсивность составила 1,85 мм/кН), нежели на этапе 2 (средняя интенсивность составила 0,71 мм/кН), когда в процесс деформирования уже включился монолитный бетон. Данный процесс абсолютно логичен, т. к. после набора монолитным бетоном требуемой прочности изгибная жёсткость образцов существенно увеличивается;

– нарастание прогибов в образцах серии Б5, которые нагружаются, будучи в состоянии полной готовности сборно-монолитного элемента, происходит равномерно без каких-либо заметных и ярко выраженных изменений средней интенсивности роста прогибов на всём протяжении нагружения (среднее значение составило 1,26 мм/кН).

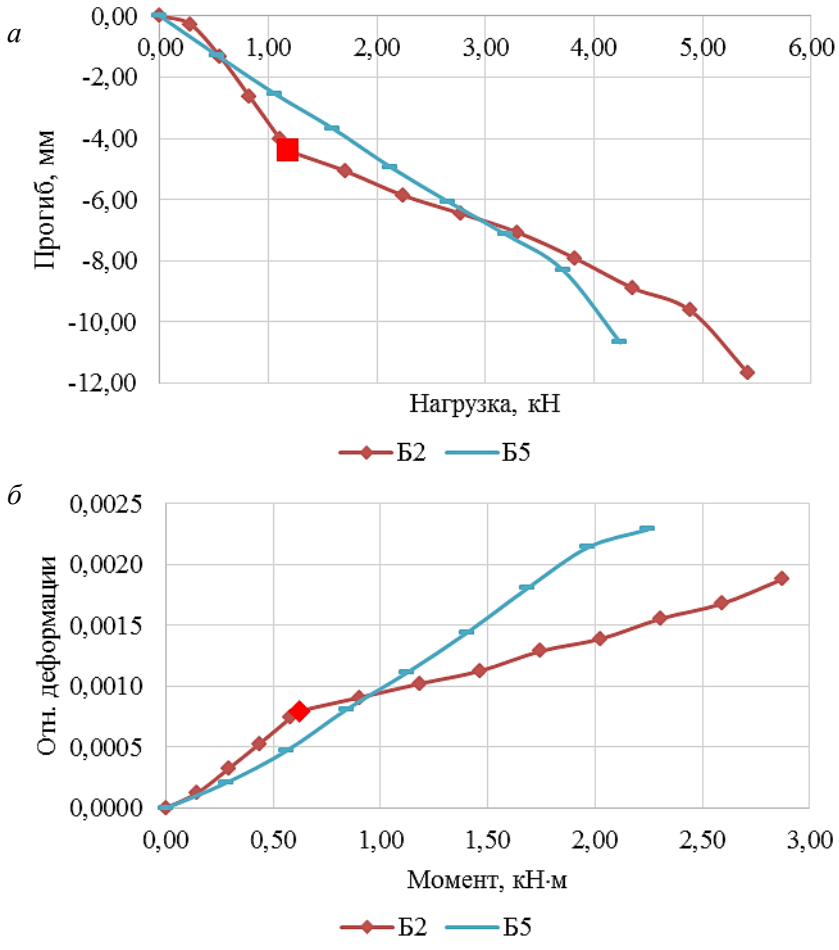


Рис. 2. Графики средних прогибов (*а*); деформаций арматуры (*б*)

Итоговые значения средних прогибов сборной балки образцов серии Б2 при нагрузке P = 1,18 кН (окончание 1-го этапа загружения) составили 4,37 мм. При этом этот же показатель в сборно-монолитных балках образцов серии Б5 оказался существенно меньше и составил 2,80 мм, что является следствием бóльшей первоначальной изгибной жёсткости элементов.

Однако после включения в процесс деформирования монолитного бетона в образцах серии Б2 произошло резкое снижение интенсивности роста прогибов (даже меньше, чем в образцах серии Б5). В результате при нагрузке P, примерно равной 3,0 кН, средние прогибы образцов серии Б5 «обгоняют» значения прогибов образцов серии Б2, и при нагрузке P = 4,0 кН средний прогиб образца Б5 оказался на 1,37 мм больше, нежели в образцах серии Б2 (8,23 мм против 9,60 мм).

Таким образом, поэтапное вовлечение в процесс восприятия внешней нагрузки (вначале сборного, а затем монолитного бетонов) оказывает положительное влияние на деформативность сборно-монолитного изгибаемого элемента.

Первые трещины в образцах серии Б2 фиксировались на 1-м этапе загружения, т. е. в процессе деформировании только сборной части (рис. 3), на 2-м (P = 0,55 кН и M = 0,29 кН·м) или 3-м (P = 0,83 кН и M = 0,44 кН·м) шагах загружения – в середине пролёта балки. Глубина распространения трещины в момент её образования составляла 30–40 мм, а ширина раскрытия не превышала 0,05 мм.

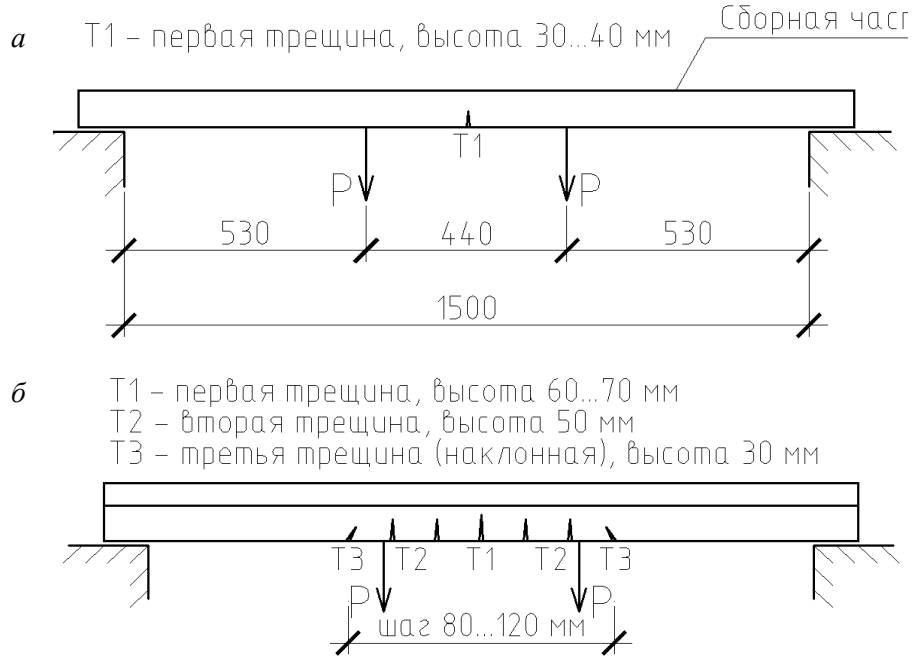


Рис. 3. Трещинообразование:
а – схема образования трещин образцов серии Б2 на 1-м этапе загружения; *б* – схема образования трещин в образцах серии Б2 на 2-м этапе загружения и образцах серии Б5

К моменту окончания загружения по этапу 1 во всех образцах серии Б2 была обнаружена только одна трещина, высота развития которой составила 45–50 мм, а ширина раскрытия порядка 0,08–0,10 мм.

На 2-м этапе развитие картины трещинообразования в образцах серии Б2 можно описать следующим образом:

– происходило развитие ранее образовавшихся и появление новых трещин;

– не фиксировались какие-либо горизонтальные трещины, в том числе и по шву сопряжения бетонов;

– расстояние между образовавшимися трещинами составляло порядка 80–120 мм;

– ширина раскрытия критических трещин при нагрузке, предшествующей разрушению, составляла от 0,7 до 1,1 мм;

– высота развития критических трещин составила порядка 60–75 мм;

– образование и развитие трещин происходило только в сборном бетоне, и они не переходили в монолитную часть экспериментальных образцов.

Образование трещин в образцах серии Б5 начинается при более поздних нагрузках, что, собственно, вполне естественно, т. к. высота сечения элемента, а следом и изгибная жёсткость данных образцов выше, нежели сборных частей образцов серии Б2. К примеру, в балках Б5-1 и Б5-2 образование трещин произошло при нагрузках P = 1,06 кН (M = 0,56 кН·м) и P = 1,59 кН (M = 0,84 кН·м) соответственно. При этом первые трещины образовались первоначально только в сборной части в зоне максимального изгибающего момента, и высота их распространения составила 45–50 мм, а ширина раскрытия первоначально образованной трещины не превысила 0,05 мм.

По мере увеличения нагрузки происходило раскрытие ранее образованной трещины, а также появление новых. Перехода трещин в монолитную часть в образцах серии Б5 зафиксировано не было.

Трещина, которая возникла первой, в дальнейшем имела наибольшее развитие, высоту распространения и ширину раскрытия. Она, по сути, и являлась критической трещиной. На этапе, предшествующем разрушению, критическая трещина в образцах серии Б5 полностью проходила сборную часть, останавливаясь по шву сопряжения сборного и монолитного бетонов, и имела ширину раскрытия 0,6–0,8 мм. При этом перехода трещины в монолитную часть зафиксировано не было, но наблюдалось незначительное раскрытие горизонтального шва сопряжения бетонов на ширину не более 0,4 мм по длине 20–30 мм в каждую сторону от конца вертикальной трещины.

Характер нарастания деформаций продольной арматуры, по мере увеличения внешней нагрузки, при проведении экспериментальных исследований позволяет выявить следующие закономерности (см. рис. 2, *б*):

– в поэтапно загружаемых экспериментальных образцах серии Б2, после набора монолитным бетоном требуемой прочности и вовлечения его в процесс деформирования, интенсивность прироста относительных деформаций продольной арматуры существенно снижается с 0,001284 до 0,000481 $(\text{кН}\cdot\text{м})^{-1}$, что связано с увеличением рабочей высоты сечения;

– в образцах серии Б5, загружаемых в состоянии полной готовности сборно-монолитного элемента, рост деформаций продольной арматуры про-

исходит равномерно без каких-либо заметных изменений. Среднее значение интенсивности роста относительных деформаций составило 0,001018 $(кН·м)^{-1}$.

Средние относительные деформации продольной арматуры ε_s в образцах серии Б2 по окончании загружения в рамках 1-го этапа (усилие M = 0,62 кН·м) составили 0,000796. При таком же усилии M в образцах серии Б5 средние относительные деформации продольной арматуры составили 0,000543. Однако после того как монолитный бетон в образцах серии Б2 набрал требуемую прочность и включился в процесс восприятия нагрузки, относительные деформации продольной арматуры образцов серии Б5, аналогично, как и в ситуации с прогибами, «обогнали» деформации арматуры в образцах серии Б2 при примерном усилии M = 0,90 кН·м. В результате при усилии M = 2,1 кН·м средние относительные деформации в образцах серии Б2 составили 0,001433, а в образцах серии Б5 – 0,002212.

Относительно картины деформирования бетонов (сборного и монолитного) образцов серии Б2 отметим следующее (рис. 4, *а*):

– на 2-м или 3-м шагах 1-го этапа загружения фиксируется достижение предельных растягивающих значений деформаций. Обращаем внимание на то, что и трещины фиксировались при таких же значениях нагрузки;

– на 1-м этапе загружения в сборной части происходит классическое деформирование изгибаемого элемента с возникновением деформаций растяжения в нижней зоне и деформаций сжатия в верхней, которые после 1-го этапа загружения составили 0,000253–0,000699. В рамках 2-го этапа сохраняется прирост деформаций растяжения в нижней зоне сборной части, однако в верхней первоначально сжатой зоне прирост деформаций сжатия прекращается и отмечается снижение или неизменность возникших на 1-м этапе загружения значений относительных деформаций. Данный факт говорит о том, что после набора монолитным бетоном требуемой прочности и включением его в процесс деформирования меняется положение нейтральной оси элемента в связи с изменением его высоты, и ранее сжатая зона сборного бетона начинает растягиваться;

– деформирование монолитного бетона происходит с начала 2-го этапа загружения с нулевых значений напряжений. В нижней зоне монолитного бетона нарастание деформаций происходит равномерно, без каких-либо резких скачков и перегибов на графике деформирования. В образцах серии Б2 были зафиксированы либо деформации сжатия, которые были достаточно малы (до 0,000182) и не превысили предельных значений;

– деформирование верхней зоны монолитного бетона происходит равномерно и не достигает предельных значений (на сжатие) во всех экспериментальных образцах серии Б2. Максимальные относительные деформации сжатия, которые были зафиксированы в ходе испытаний, составили 0,000483–0,000644. Отсутствие каких-либо видимых признаков разрушения при визуальном осмотре подтверждает полученные данные.

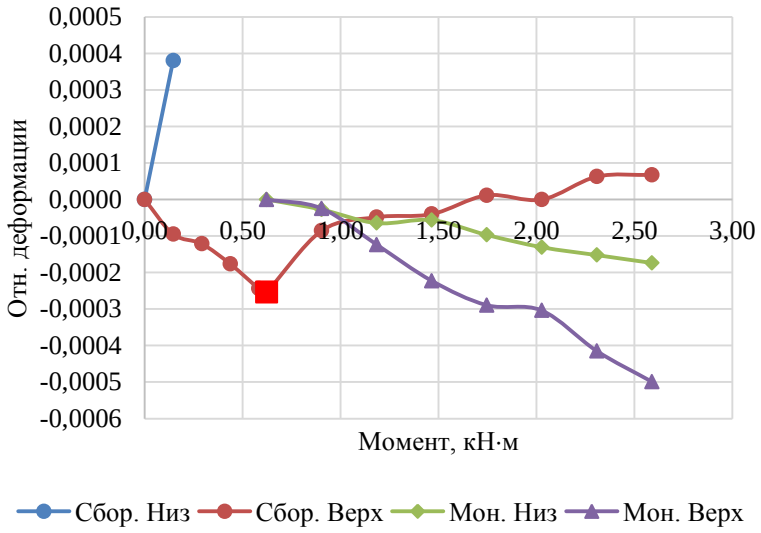
В одноэтапно загружаемых образцах серии Б5 (рис. 4, *б*):

– верхняя зона сборного бетона оказалась растянутой, причём относительные деформации верхней части сборного бетона хотя и не превысили предельных значений бетона на растяжение, но на стадиях, предшествующих разрушению, находились около предельных значений (достигали 0,000102);

– деформации нижней части монолитного бетона фиксировались либо в районе нулевых значений, либо имели небольшие сжимающие значения (до 0,000080);

– верхняя зона монолитного бетона на протяжении всего периода нагружения испытывала равномерно прирастающие сжимающие деформации, которые не достигли предельных деформаций на сжатие. На шаге загружения, предшествующем разрушению, максимальные деформации сжатия составили 0,000560–0,000795.

а



б

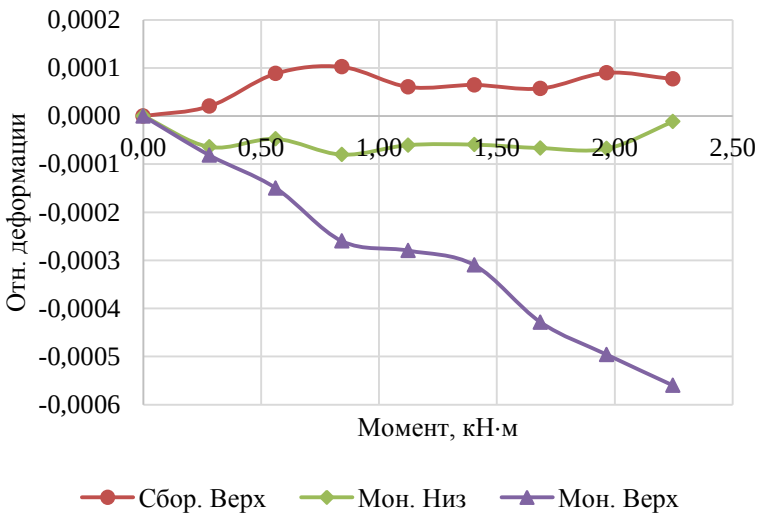


Рис. 4. Графики относительных деформаций бетонов экспериментальных образцов серий Б2 и Б5 (*а, б*)

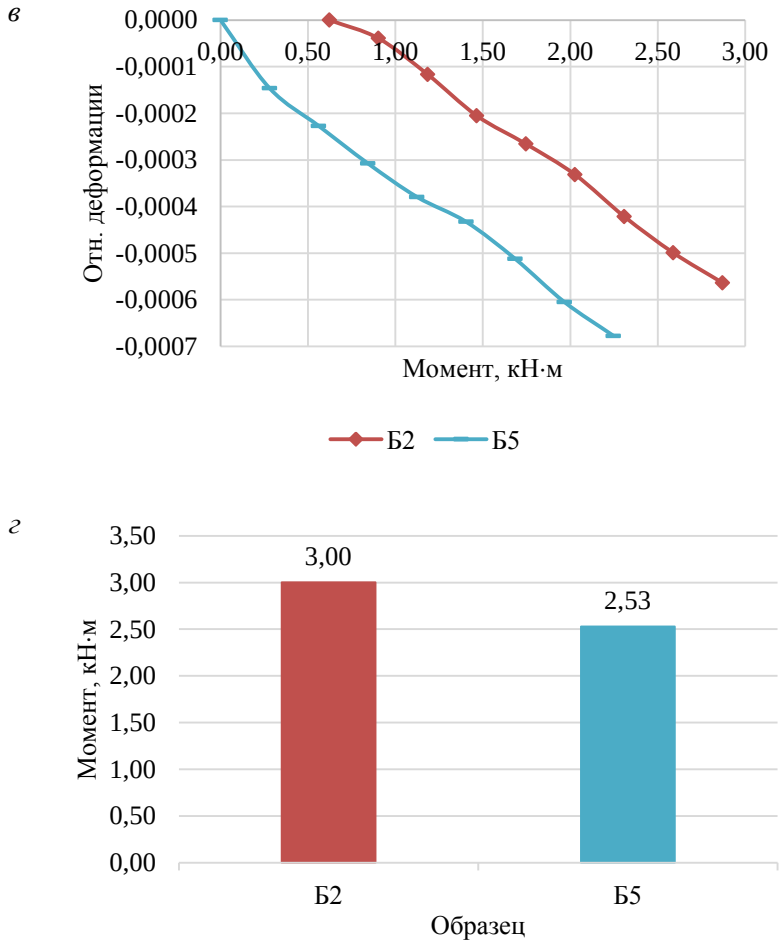


Рис. 4. Графики сопоставления средних относительных деформаций верхней части монолитного бетона образцов серий Б2 и Б5 (*в*); средней несущей способности образцов серий Б2 и Б5 (*г*)

Средние относительные деформации на 2-м этапе загружения при усилии $M = 2{,}1$ кН·м составили (рис. 4, *в*): образцов серии Б2 – 0,000355, образцов серии Б5 – 0,000639. Причём интенсивность прироста деформаций по мере загружения также оказалась выше в образцах серии Б5 (0,000296 $(\text{кН·м})^{-1}$), чем в образцах серии Б2 (0,000250 $(\text{кН·м})^{-1}$).

Таким образом, чётко видно, что более позднее включение в процесс деформирования монолитного бетона приводит к существенно меньшей величине деформаций, а следовательно, и напряжений в монолитном бетоне. Данный факт позволяет отказаться от применения тяжёлого бетона и применить менее прочный лёгкий бетон, снизив таким образом массу конструкции.

Среднее значение изгибающего момента, при котором произошло исчерпание несущей способности, составило в образцах серии Б2 – 3,00 кН·м, а в образцах серии Б5 – 2,53 кН·м, т. е. несущая способность поэтапно загру-

жаемых образцов оказалась практически на 18 % выше, чем в таких же образцах, но монтируемых и загружаемых одномоментно.

Причиной разрушения всех экспериментальных образцов являлось достижение предела текучести арматуры, о чём наглядно свидетельствовали следующие факторы:

– достижение предельных деформаций растяжения в продольной арматуре, зафиксированное тензометрическими датчиками на стадии разрушения;

– недостижение предельных деформаций в сжатом бетоне (сборном и монолитном), что также было зафиксировано тензометрическими датчиками;

– интенсивное нарастание прогибов, которые уже не стабилизировались в момент приложения предельной разрушающей нагрузки;

– отсутствие визуальных признаков разрушения сборного и монолитного бетонов.

Заключение

Проведённые экспериментальные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Учёт поэтапного монтажа и вовлечения в процесс деформирования сборного и монолитного бетонов существенно меняет картину напряжённо-деформированного сборно-монолитного изгибаемого элемента. Данный факт приводит к обязательной необходимости учёта этих этапов при проектировании сборно-монолитных конструкций.

2. Во всех экспериментальных образцах разрушение произошло в результате достижения предела текучести в продольной арматуре. При этом полностью отсутствовали признаки разрушения сборного и монолитного бетонов.

3. Поэтапное вовлечение в процесс деформирования монолитного бетона положительно сказывается на несущей способности и характере напряжённо-деформированного состояния сборно-монолитного элемента в целом, в сравнении с одномоментно изготавливаемыми и включаемыми в процесс деформирования элементами. На это указывает:

– меньшая величина итогового прогиба (при значениях нагрузки, близкой к предельной) – разница составила 14 %;

– меньшее итоговое значение относительных деформаций продольной арматуры – разница достигает 30 %;

– меньшее итоговое значение относительных деформаций наиболее напряжённой части монолитного бетона – разница достигает 50 %;

– наибольшая величина вовлечения в процесс деформирования сборного бетона, что выражается в бóльших значениях напряжений и деформаций, возникающих в сборном бетоне в процессе деформирования элемента;

– бóльшее значение несущей способности – разница достигает 18 %.

Библиографический список

1. *Теплова Ж.С., Виноградова Н.А.* Сборно-монолитные перекрытия системы «МАРКО» // Строительство уникальных зданий. 2015. № 8. С. 48–59.
2. *Клюева Н.В., Колчунов В.И., Рыпаков Д.А., Бухтиярова А.С.* Прочность и деформативность сборно-монолитных каркасов жилых зданий пониженной материалоёмкости при запроектных воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 1. С. 5–9.

3. *Поветкин М.С.* Напряжённо-деформированное состояние усиленных под нагрузкой железобетонных изгибаемых преднапряжённых элементов : дис. … канд. техн. наук. Курск, 2009. 187 с.
4. *Никоноров Р.М.* Совместная сопротивляемость, деформативность железобетонных элементов перекрытия сборно-монолитных каркасов с плоскими плитами и скрытыми ригелями : дис. … канд. техн. наук. Москва, 2008. 219 с.
5. *Паращенко Н.А., Горшков А.С., Ватин Н.И.* Частично-ребристые сборно-монолитные перекрытия с ячеистобетонными блоками // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 6. С. 50–55.
6. *Chepurnenko A.S.* Stress-strain state of three-layered shallow shells under conditions of nonlinear creep // Magazine of Civil Engineering, 2017. V. 8 (74). P. 156–168.
7. *Медведев В.Н., Семенюк С.Д.* Прочность и деформативность балочных изгибаемых элементов с внешним листовым армированием // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 3(63). С. 3–15.
8. *Drakatos I.S., Muttoni A., Beyer K.* Internal slab-column connections under monotonic and cyclic im-posed rotations // Engineering Structures. 2016. V. 123. P. 501–516.
9. *Koyankin A.A., Mitasov V.M.* Stress-strain state of precast and cast-in place building // Magazine of Civil Engineering. 2017. V. 6 (74). P. 175–184.
10. *Шаленный В.Т., Паперныk Р.Б.* Повышение технологичности проектных решений монолитных и сборно-монолитных зданий и сооружений // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 2. С. 19–21.
11. *Шембаков В.А.* Сборно-монолитное каркасное домостроение. Руководство к принятию решения. Чебоксары : ООО «Чебоксарская типография № 1», 2005. 119 с.
12. *Коянкин А.А., Митасов В.М.* Некоторые результаты натурных испытаний фрагмента каркасного здания в сборно-монолитном исполнении // Бетон и железобетон. 2015. № 5. С. 18–20.
13. *Семченков А.С., Хавкин А.К., Соколов Б.С.* Испытание натурного фрагмента каркаса «РАДИУСС» с применением круглопустотных плит // Бетон и железобетон. 2008. № 6. С. 2–5.
14. *Qian K., Li B.* Resilience of Flat Slab Structures in Different Phases of Progressive Collapse // ACI Structural Journal. 2016. V. 113. P. 537–548.
15. *Коянкин А.А.* Облегчённое сборно-монолитное перекрытие // Вестник МГСУ. 2017. № 6 (105). С. 636–641.
16. *Коянкин А.А., Митасов В.М.* Испытания сборно-монолитного перекрытия на строящемся жилом доме // Бетон и железобетон. 2016. № 3. С. 20–22.

REFERENCES

1. *Teplova Zh.S., Vinogradova N.A.* Sborno-monolitnye perekrytiya sistemy «MARKO» [Prefabricated monolithic floors of the MARCO system]. Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii. 2015. No. 8. Pp. 48–59. (rus)
2. *Klyueva N.V., Kolchunov V.I., Rypakov D.A., Bukhtiyarova A.S.* Prochnost' i deformativnost' sborno-monolitnykh karkasov zhilykh zdanii ponizhennoi materialoemkosti pri zaproektnykh vozdeistviyakh [Strength and deformability of prefabricated monolithic frames of residential buildings of reduced material consumption for beyond-design impacts]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2015. No. 1. Pp. 5–9. (rus)
3. *Povetkin M.S.* Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie usilennykh pod nagruzkoi zhelezobetonnykh izgibaemykh prednapryazhennykh elementov: dis. … kand. tekhn. nauk [Stress-strain state of reinforced concrete bent prestressed elements reinforced under load. PhD Thesis]. Kursk, 2009. 187 p. (rus)
4. *Nikonorov R.M.* Sovmestnaya soprotivlyaemost', deformativnost' zhelezobetonnykh elementov perekrytiya sborno-monolitnykh karkasov s ploskimi plitami i skrytymi rigelyami: dis. … kand. tekhn. nauk [Joint resistance, deformability of reinforced concrete elements of overlapping precast-monolithic frames with flat plates and hidden crossbars]. Moscow, 2008. 219 p. (rus)
5. *Parashchenko N.A., Gorshkov A.S., Vatin N.I.* Chastichno-rebristye sborno-monolitnye perekrytiya s yacheistobetonnymi blokami [Partially ribbed precast-monolithic floors with cellular concrete blocks]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2011. No. 6. Pp. 50–55. (rus)

6. *Chepurnenko A.S.* Stress-strain state of three-layered shallow shells under conditions of nonlinear creep. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. V. 8 (74). Pp. 156–168.
7. *Medvedev V.N., Semenyuk S.D.* Prochnost' i deformativnost' balochnykh izgibaemykh elementov s vneshnim listovym armirovaniem [Strength and deformability of bending elements with external steel reinforcement]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2016. No. 3(63). Pp. 3–15. (rus)
8. *Drakatos I.S., Muttoni A., Beyer K.* Internal slab-column connections under monotonic and cyclic im-posed rotations. *Engineering Structures*. 2016. V. 123. Pp. 501–516.
9. *Koyankin A.A., Mitasov V.M.* Stress-strain state of precast and cast-in place building. *Magazine of Civil Engineering*. 2017. V. 6 (74). Pp. 175–184.
10. *Shalennyi V.T., Papernyk R.B.* Povyshenie tekhnologichnosti proektnykh reshenii monolitnykh i sborno-monolitnykh zdanii i sooruzhenii [Improving manufacturability of design solutions for monolithic and precast monolithic buildings]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2010. No. 2. Pp. 19–21. (rus)
11. *Shembakov V.A.* Sborno-monolitnoe karkasnoe domostroenie. Rukovodstvo k prinyatiyu resheniya [Prefabricated monolithic frame housing construction. Decision making guide]. Cheboksary: Cheboksarskaya tipografiya, 2005. 119 p. (rus)
12. *Koyankin A.A., Mitasov V.M.* Nekotorye rezul'taty naturnykh ispytanii fragmenta karkasnogo zdaniya v sborno-monolitnom ispolnenii [Some results of full-scale tests of frame building in precast-monolithic design]. *Beton i zhelezobeton*. 2015. No. 5. Pp. 18–20. (rus)
13. *Semchenkov A.S., Khavkin A.K., Sokolov B.S.* Ispytanie naturnogo fragmenta karkasa «RADIUSS» s primeneniem kruglopustotnykh plit [Testing natural fragment of the RADIUSS framework using round hollow slabs]. *Beton i zhelezobeton*. 2008. No. 6. Pp. 2–5. (rus)
14. *Qian K., Li B.* Resilience of flat slab structures in different phases of progressive collapse. *ACI Structural Journal*. 2016. V. 113. Pp. 537–548.
15. *Koyankin A.A.* Oblegchennoe sborno-monolitnoe perekrytie [Lightweight prefabricated monolithic ceiling]. *Vestnik MGSU*. 2017. No. 6 (105). Pp. 636–641. (rus)
16. *Koyankin A.A., Mitasov V.M.* Ispytaniya sborno-monolitnogo perekrytiya na stroyashchemsya zhilom dome [Tests of precast-monolithic floors on a residential building under construction]. *Beton i zhelezobeton*. 2016. No. 3. Pp. 20–22 (rus)

Сведения об авторах

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

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

Петухова Инна Яковлевна, канд. техн. наук, доцент, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79.

Трофим Анатольевич Цхай, магистрант, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, vadershow@gmail.com

Authors Details

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

Valery M. Mitasov, DSc, Professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering, 113, Leningradskaya Str., 630008, Novosibirsk, Russia. MitassovV@mail.ru.

Inna Ya. Petuhova, PhD, A/Professor, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia.

Trofim A. Tshay, Graduate Student, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia. vadershow@gmail.com

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 691.421.24 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-115-121

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩЕГО ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В работе исследуется возможность использования отходов металлургического комбината, состоящих из углеродсодержащих компонентов. Исследованы физико-механические характеристики полученных изделий в зависимости от составов и гранулометрии исходного сырья. Установлено, что использование углеродсодержащих отходов позволяет получать керамические кирпичи со следующими характеристиками: $\rho \sim 2150$ кг/м^3, $R_{сж} \sim 42$ МПа, $W \sim 3{,}4$ %, морозостойкостью более 50 циклов. Представлены результаты процессов фазообразования при получении керамических изделий. Установлено, что использование углеродсодержащих соединений позволяет получать алюмосиликатные соединения типа анортитов, которые придают прочностные характеристики готовым изделиям.

Ключевые слова: техногенный отход; керамика; строительство; свойства; кирпич; рентгенофазовый анализ.

Для цитирования: Скрипникова Н.К., Власов В.А., Семеновых М.А., Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В. Исследование возможности использования углеродсодержащего техногенного сырья при производстве керамических изделий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 115–121.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-115-121

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

CARBON-CONTAINING TECHNOGENIC RAW MATERIALS IN CERAMIC PRODUCT PRODUCTION

The paper explores the possibility of using carbon-containing waste produced by a metallurgical plant. The physico-mechanical characteristics of the obtained products are studied depending on the compositions and the grain size of the feedstock. It is found that the use of carbon-containing waste

© Скрипникова Н.К., Власов В.А., Семеновых М.А., Волокитин Г.Г., Шеховцов В.В., 2019

allows producing ceramic bricks with the following parameters: ρ ~ 2150 kg/m^3, R_{sg} ~ 42 MPa, W ~ 3.4 %, and the frost resistance of over 50 cycles. The results of phase formation in ceramic products are presented. It is shown that the use of carbon-containing waste allows to obtain aluminosilicate compounds, such as anorthites and quartz-containing compounds, which give strength characteristics to finished products.

Keywords: waste; ceramics; construction; properties; brick; X-ray phase analysis.

For citation: Skripnikova N.K., Vlasov V.A., Semenovykh M.A., Volokitin G.G., Shekhovtsov V.V. Issledovanie vozmozhnosti ispol"zovaniya uglerodsoderzhashchego tekhnogennogo syr"ya pri proizvodstve keramicheskikh izdelii [Carbon-containing technogenic raw materials in ceramic product production]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 115–121.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-115-121

Современные темпы развития промышленного и гражданского строительства сопровождаются увеличением объемов производства строительных материалов и изделий различного назначения. Одно из ведущих мест на рынке строительных материалов занимает керамическая промышленность. Главной проблемой для отрасли является обеспечение предприятий высококачественным сырьем, которое невосполнимо истощается. В производство керамического кирпича вовлекается все больше низкосортного сырья, использование которого без корректирующих добавок не позволяет получать изделия с требуемыми характеристиками. Одним из решений указанной проблемы может стать использование отходов металлургических комбинатов. Кроме того, использование отходов металлургической промышленности в производстве строительных материалов позволит предотвращать негативное воздействие на окружающую среду, а также развивать экологически безопасные энергоэффективные технологии.

Углеродсодержащие отходы образуются на металлургических предприятиях в процессе обогащения и выплавки металлов. В силу высокого содержания углерода (более 10 % масс.) представляется возможность их использования в производстве строительных керамических изделий, т. к. прогнозируется, что этот отход в композициях с глиносодержащим сырьем улучшает пластичность сырьевой массы, при обжиге является выгорающей добавкой, следовательно, снижает температуру образования первичного расплава [1–6].

Целью настоящей работы является разработка составов и исследование свойств полученного керамического кирпича с применением углеродсодержащих отходов металлургической промышленности.

Сырьевыми материалами, используемыми в работе, являются техногенный отход и глинистое сырье. С целью идентификации кристаллических фаз и определения их относительных концентраций сырьевые материалы были исследованы с помощью рентгенофазового анализа (РФА). Данные, полученные с помощью РФА, представлены на рис. 1.

В работе использовалось глинистое сырье Верхового месторождения Томской обл. В ходе работ были исследованы его химический, гранулометрический составы. Химический состав глин представлен следующими оксидами: Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, CaO, MgO, K_2O, TiO_2. Значительное содержание кремнезе-

ма в глине (до 80 %) может говорить либо о запесоченности, либо о том, что ее главным глинообразующим минералом является не каолинит. Высокий процент глинозема (до 40 %) свидетельствует об огнеупорности сырья. Глины, содержащие мало глинозема и большое количество щелочноземельных (CaO и MgO) и щелочных (K_2O) оксидов, являются легкоплавкими и пригодны для изготовления изделий строительной керамики. Рентгенофазовый анализ глинистого сырья (рис. 1, *а*) показал, что глина представлена в основном фазами кварца, глинистые минералы определены фазами иллита, биотита и монтмориллонита. Карбонатные включения представлены кальцитом. На основе анализа глину можно отнести к группе монтмориллонито-гидрослюдистых с небольшим содержанием каолинита, обогащенной кварцем и слегка закарбонизованной кальцитовыми включениями. По гранулометрическому анализу глина представляет собой дисперсную породу, состоящую из частиц пластинчатых минералов, в основном в виде фракции от 1 до 0,01 мкм, и сопутствующих примесей иных минералов в виде крупных включений карбонатов (кальцитов, доломитов), песка и др.

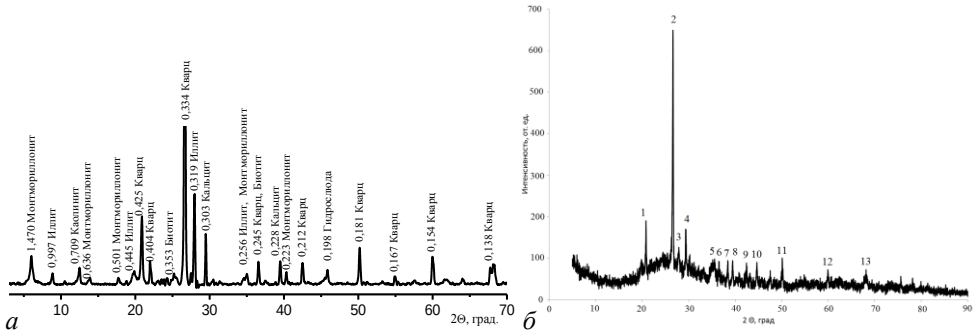


Рис. 1. Дифрактограмма используемого сырья:
а – глинистого сырья; *б* – техногенного сырья

Рентгенофазовый анализ (рис. 1, *а*) показал, что глина представлена в основном фазами кварца. Глинистые минералы определены фазами иллита, биотита и монтмориллонита. Карбонатные включения представлены кальцитом.

В качестве вторичного сырья в работе используется техногенное сырье, отобранное из шламохранилища металлургического комбината, которое образуется посредством накопления многотоннажных отходов производства. Техногенный отход изучен на предмет соответствия компонентному составу для производства керамических изделий и представляет собой углеродсодержащий материал со следующим составом компонентов: C – до 11 %, SiO_2 – до 12 %, Al_2O_3 – до 5 %, CaO – до 3 %, FeO – до 3 %, остальное – вода.

Из анализа дифрактограммы (рис. 1, *б*) следует, что углеродсодержащие фазы представлены пиками *1, 2, 3, 8, 9, 13*.

По результатам РФА можно констатировать, что техногенный отход представлен углеродсодержащими соединениями и аморфной стеклофазой. Проведенные исследования состава данного отхода показали возможность использования его в составах керамических изделий в качестве выгорающих компонентов

в виде углерода и образования центров кристаллизации при получении комплексных алюмосиликатных, а именно анортитоподобных соединений [7, 8].

Техногенный отход, используемый при получении керамического кирпича, представляет собой мелкодисперсную скоагулированную шламовую массу. Поэтому предварительно сырье необходимо подвергать обработке, что включает сушку и последующий помол. После обработки полученное тонкодисперсное сырье просеивалось через сито с диаметром ячеек 14 мкм.

Изготовление изделий осуществлялось полусухим способом формования. В составах лабораторных образцов содержание техногенного сырья варьируется от 10 до 50 %. Формовочная влажность образцов составляла 10 % при давлении формования 25 ± 0,5 МПа.

Для статистической обработки экспериментальных данных изготавливалось по 10 образцов для каждого экспериментального состава.

Исследование полученных образцов проводили путем изучения их физико-механических характеристик: прочность при сжатии, плотность, водопоглощение и морозостойкость. Данные, полученные в процессе исследования, представлены в таблице.

Физико-механические показатели керамических изделий

Состав	Плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	Морозостойкость, цикл
Глина 100 %	2200	45,7	12,6	>50
Глина/отход – 90/10 %	2150	48,8	3,4	>50
Глина/отход – 80/20 %	2100	46,5	7,5	>50
Глина/отход – 50/50 %	1950	42,8	8,6	46

Анализ таблицы показывает, что изделия, изготовленные с применением техногенных отходов, в сравнении с контрольным образцом (100 % глины), обладают меньшим водопоглощением, близким по величине значением плотности, достаточной устойчивостью к морозу, при этом наблюдается увеличение прочностных качеств. Увеличение прочностных показателей объясняется тем, что углеродсодержащие компоненты, входящие в состав сырья, при обжиге образуют первичный расплав, который, переходя в стеклофазу, армирует изделие.

С целью изучения фазообразования в процессе обжига керамических изделий проведен РФА готовых образцов. На основании результатов физико-механических испытаний была отобрана партия с наиболее высокими показателями, которая в дальнейшем сравнивалась с пробой контрольного образца. Результаты РФА представлены на рис. 2.

Из представленных данных следует, что при введении углеродсодержащего компонента снижается относительная интенсивность полос, характерных для кристаллических фаз. Количество фаз, характерных для анортитоподобных соединений и кварца, несколько снизилось за счет большего образования стеклосодержащих компонентов. При этом увеличивается количество аморфной фазы. Жидкая фаза, образующаяся при температуре обжига, при охлаждении превращается в стекло [9, 10]. Конечными фазами, присутствующими в матери-

але, являются стекло, анортит и кварц в количествах, зависящих от состава и условий температурной обработки [11]. С увеличением количества углеродсодержащих компонентов в сырье (30–50 % масс.) наблюдается большее количество анортитоподобных компонентов, образуется большее количество кремнеземистой жидкой фазы при более низких температурах. При этом прослеживается высокая степень остеклованности [12–15].

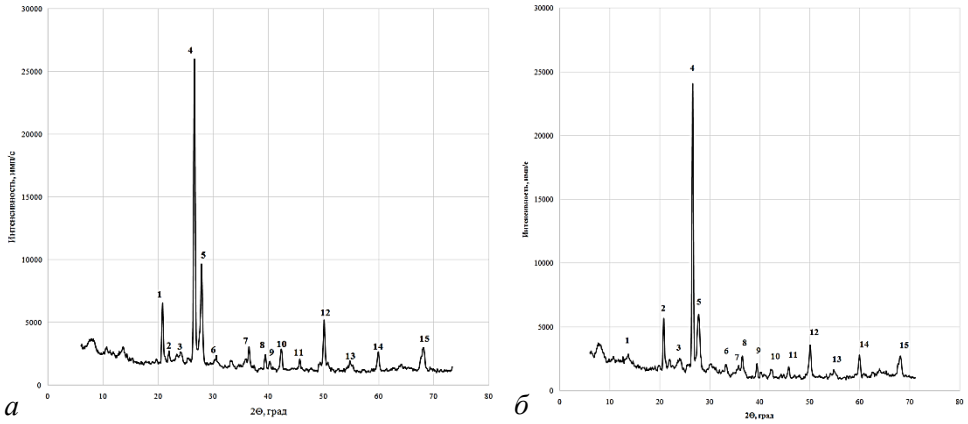


Рис. 2. Дифрактограмма полученных изделий:
а – контрольного образца; *б* – с использованием техногенного отхода

Таким образом, использование углеродсодержащих отходов в составе шихты для производства керамических изделий позволяет получать стеновые керамические кирпичи марки М200. Параллельно с этим решается и экологическая проблема загрязнения окружающей среды за счет использования данного техногенного отхода.

Библиографический список

1. *Яценко Н.Д., Вильбицкая Н.А., Яценко А.И.* Формирование структуры и свойств эффективной стеновой керамики на основе отходов металлургического производства // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2019. № 2 (202). С. 43–47.
2. *Кайракбаев А.К., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З.* Использование отходов обогащения цветной и черной металлургии Казахстана в производстве керамических материалов // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 6. С. 12–16.
3. *Беккалиев Н.М., Тауышев О.У., Умерешова С.Г. и др.* Использование производственных отходов в производстве керамического кирпича // European Journal of Technical and Natural Sciences. 2019. № 2. С. 12–18.
4. *Скрипникова Н.К., Семеновых М.А., Волокитин О.Г.* Обжиговые строительные материалы с использованием металлургических отходов // Евразийский союз ученых. 2018. № 2-1 (47). С. 47–49.
5. *Кара-сал Б.К.О., Серен Ш.В., Сат Д.Х.О.* Клинкерный кирпич на основе нетрадиционных материалов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 4 (712). С. 51–58.
6. *Имангазин М.К., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. и др.* Инновационные направления использования отходов черной металлургии в производстве керамического кирпича // Металлург. 2017. № 2. С. 22–25.

7. *Kotova O.B., Ignatiev G.V., Shushkov D.A., Harja M., Broekmans M.A.T.M.* Preparation and Properties of Ceramic Materials from Coal Fly Ash // 9th Geoscience Conference for Young Scientists: Minerals: structure, properties, methods of investigation. Ekaterinburg: Ural Fed Univ., 2020. P. 101–107.
8. *Gineika A., Baltakys K., Dambrauskas T.* The application of silica gel waste for the two-step synthesis of wollastonite in temperature range of 200–950 degrees C // Journal of thermal analysis and calorimetry. 2019. V. 103. № 3. P. 2263–2273.
9. *Kenzour A., Belhouchet H., Kolli M. et al.* Sintering behavior of anorthite-based composite ceramics produced from natural phosphate and kaolin // Ceramics international. 2019. V. 45. № 16. P. 20258–20265.
10. *Hossain, S.K.S.,Roy, P.K.* Fabrication of sustainable ceramic board using solid-wastes for construction purpose // Construction and building materials. 2019. V. 222. P. 26–40.
11. *Wang S.X., Wang H., Chen Z.W. et al.* Fabrication and characterization of porous cordierite ceramics prepared from fly ash and natural minerals // Ceramics international. 2019. V. 45. № 13. P. 18306–18314.
12. *Sutcu M., Erdogmus E., Gencel O., Gholampour A., Atan E., Ozbakkaloglu, T.* Recycling of bottom ash and fly ash wastes in eco-friendly clay brick production // Journal of cleaner production. 2019. V. 233. P. 753–764.
13. *Ma B.Y., Su C., Ren X., et al.* Preparation and properties of porous mullite ceramics with high-closed porosity and high strength from fly ash via reaction synthesis process // Journal of alloys and compounds. 2019. V. 803. P. 981–991.
14. *Скрипникова Н.К., Луценко А.В., Литвинова В.А. и др.* Обжиговые строительные материалы с использованием отходов теплоэнергетики // Инновационные технологии в машиностроении : сб. трудов VIII Международной научно-практической конференции. Юргинский технологический институт, 2017. С. 231–233.
15. *Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G. et al.* Bottom ash waste used in different construction materials // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. P. 012013.

REFERENCES

1. *Yatsenko N.D., Vil'bitskaya N.A., Yatsenko A.I.* Formirovanie struktury i svoistv effektivnoi stenovoi keramiki na osnove otkhodov metallurgicheskogo proizvodstva [The formation of structures and properties of building wall ceramics based on metallurgical production waste]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Seriya: Tekhnicheskie nauki*. 2019. No. 2 (202). Pp. 43–47. (rus)
2. *Kairakbaev A.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z.* Ispol'zovanie otkhodov obogashcheniya tsvetnoi i chernoi metallurgii kazakhstana v proizvodstve keramicheskikh materialov [The use of enrichment waste from non-ferrous and ferrous metallurgy in Kazakhstan in the production of ceramic materials]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2019. V. 23. No. 6. Pp. 12–16. (rus)
3. *Bekkaliev N.M., Tauyshev O.U., Umereshova S.G., et al.* Ispol'zovanie proizvodstvennykh otkhodov v proizvodstve keramicheskogo kirpicha [Industrial waste in the production of ceramic bricks]. *European Journal Technical and Natural Sciences*. 2019. No. 2. Pp. 12–18. (rus)
4. *Skripnikova N.K., Semenovykh M.A., Volokitin O.G.* Obzhigovye stroitel'nye materialy s ispol'zovaniem metallurgicheskikh otkhodov [Calcined building materials based on metallurgical waste]. *Evraziiskii soyuz uchenykh*. 2018. No. 2-1 (47). Pp. 47–49. (rus)
5. *Kara-sal B.K.O., Seren Sh.V., Sat D.Kh.O.* Klinkernyi kirpich na osnove netraditsionnykh materialov [Clinker brick based on unconventional materials]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2018. No. 4 (712). Pp. 51–58. (rus)
6. *Imangazin M.K., Abdrakhimova E.S., Abdrakhimov V.Z., et al.* Innovatsionnye napravleniya ispol'zovaniya otkhodov chernoi metallurgii v proizvodstve keramicheskogo kirpicha [Innovative use of ferrous metallurgy waste in the production of ceramic bricks]. *Metallurg*. 2017. No. 2. Pp. 22–25. (rus)
7. *Kotova O.B., Ignatiev G.V., Shushkov D.A., Harja M., Broekmans M.A.T.M.* Preparation and properties of ceramic materials from coal fly ash. *Proc. 9th Geoscience Conf. for Young Scientists 'Minerals: Structure, Properties, Methods of Investigation'*. Ekaterinburg, 2020. Pp. 101–107.

8. *Gineika A., Baltakys K., Dambrauskas T.* The application of silica gel waste for the two-step synthesis of wollastonite in temperature range of 200–950 degrees C. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2019. V. 103. No. 3. Pp. 2263–2273.
9. *Kenzour A., Belhouchet H., Kolli M., et al.* Sintering behavior of anorthite-based composite ceramics produced from natural phosphate and kaolin. *Ceramics International*. 2019. V. 45. No. 16. Pp. 20258–20265.
10. *Hossain, S.K.S., Roy, P.K.* Fabrication of sustainable ceramic board using solid-wastes for construction purpose. *Construction and Building Materials*. 2019. V. 222. Pp. 26–40.
11. *Wang S.X., Wang H., Chen Z.W. et al.* Fabrication and characterization of porous cordierite ceramics prepared from fly ash and natural minerals. *Ceramics International*. 2019. V. 45. No. 13. Pp. 18306–18314.
12. *Sutcu M., Erdogmus E., Gencel O., Gholampour A., Atan E., Ozbakkaloglu T.* Recycling of bottom ash and fly ash wastes in eco-friendly clay brick production. *Journal of Cleaner Production*. 2019. V. 233. Pp. 753–764.
13. *Ma B.Y., Su C., Ren X., et al.* Preparation and properties of porous mullite ceramics with high-closed porosity and high strength from fly ash via reaction synthesis process. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. V. 803. Pp. 981–991.
14. *Skripnikova N.K., Lutsenko A.V., Litvinova V.A., et al.* Obzhigovye stroitel'nye materialy s ispol'zovaniem otkhodov teploenergetiki [Calcined building materials based on heat-power engineering waste]. In: "Innovatsionnye tekhnologii v mashinostroenii sbornik trudov" VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. Yurginskii tekhnologicheskii institute (*Proc. 7th Int. Sci. Conf. 'Innovative Technologies in Engineering'*). 2017. Pp. 231–233. (rus)
15. *Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., et al.* Bottom ash waste used in different construction materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. P. 012013.

Сведения об авторах

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

Власов Виктор Алексеевич, докт. физ.-мат. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, rector@tsuab.ru

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

Волокитин Геннадий Георгиевич, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, vgg-tomsk@mail.ru

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

Authors Details

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

Viktor A. Vlasov, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, rector@tsuab.ru

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

Gennadii G. Volokitin, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, vgg-tomsk@mail.ru

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

УДК 666.712;666.5 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-122-133

В.И. ВЕРЕЩАГИН[1], Н.В. МОГИЛЕВСКАЯ[2], Т.В. САФОНОВА[3],
[1]Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
[2]Сибирский федеральный университет,
[3]Филиал Иркутского государственного технического университета в г. Усолье-Сибирском

СПЕКАНИЕ И ПРОЧНОСТЬ СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ И ФАЯНСА ИЗ КОМПОЗИЦИЙ ГЛИНИСТОГО И ДИОПСИДСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Приведены обобщенные результаты исследования влияния добавок природного диопсидсодержащего сырья на спекание и прочность стеновой керамики на основе легкоплавких глин и суглинков, фаянса на основе каолина и тугоплавкой глины. Определены физико-механические свойства керамических материалов после обжига в зависимости от содержания диопсида. Установлено, что в зависимости от содержания и введения глинистых минералов можно применять как грубодисперсное (0,5–1 мм), так и тонкодисперсное (0,06 мм, доминирующие размеры частиц 0,01–0,015 мм) диопсидовое сырье. При этом для суглинков с содержанием глинистых минералов менее 10 % масс. эффективны добавки высокодисперсного диопсидового сырья, что обеспечивает спекание керамики при температуре 1000–1100 °С и увеличение прочности в 1,5–2 раза. Введение добавок дисперсного диопсида в фаянсовую массу снижает температуру обжига с 1250 до 1150 °С с одновременным увеличением прочности.

Ключевые слова: суглинок; глина; монтмориллонит; гидрослюда; каолинит; диопсид; стеновая керамика; фаянс; водопоглощение; прочность.

Для цитирования: Верещагин В.И., Могилевская Н.В., Сафонова Т.В. Спекание и прочность стеновой керамики и фаянса из композиций глинистого и диопсидсодержащего сырья // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 122–133.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-122-133

V.I. VERESHCHAGIN[1], N.V. MOGILEVSKAYA[2], T.V. SAFONOVA[3],
[1]National Research Tomsk Polytechnic University,
[2]Siberian Federal University,
[3]Usolye-Sibirskoye Affiliate of National Research Irkutsk State Technical University

SINTERING AND DURABILITY OF CLAY- AND DIOPSIDE-CONTAINING CERAMIC AND FAIENCE WALL MATERIALS

The paper summarizes the research results of sintering and durability of wall ceramic materials modified by diopside-containing raw products and based on low-melting-point clays and loams, and kaolin- and high-melting-point clay faience. Mechanical-and-physical properties of ceramic materials are identified and studied after annealing, depending on the diopside content. It is shown that depending on the content and introduction of clay minerals in the ceramic mixture, both coarse (0.5–1 mm) and fine (0.06 mm, dominating particle size of 0.01–0.015 mm) dispersed diopside particles can be used. It is found that for loams with the clay mineral content of less than 10 wt.%, the addition of finely-dispersed diopside particles is more efficient. The latter

© Верещагин В.И., Могилевская Н.В., Сафонова Т.В., 2019

provides ceramic sintering at 1000–1100 °C and increases its strength by 1.5–2 times. The introduction of dispersion diopside particles in the faience mixture lowers the annealing temperature from 1250 to 1150 °C with a simultaneous increase in its strength.

Keywords: loam; clay; montmorillonite; illite; kaolin; diopside; wall ceramic material; faience; water absorption; strength.

For citation: Vereshchagin V.I., Mogilevskaya N.V., Safonova T.V. Spekanie i prochnost" stenovoi keramiki i fayansa iz kompozitsii glinistogo i diopsid-soderzhashchego syr"ya [Sintering and durability of clay- and diopside-containing ceramic and faience wall materials]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 122–133.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-122-133

Эффективность добавок диопсида в количестве 20–25 % в фарфоровые массы установлена на синтетическом диопсиде еще в 1978 г. в бывшей ГДР [1]. С 1985 г. по настоящее время на кафедре технологии силикатов и наноматериалов Томского политехнического университета активно ведутся исследования по использованию диопсидсодержащих пород в технологии силикатных материалов [2]. Исследованы железосодержащие диопсидовые породы Алданского месторождения и маложелезистые диопсидовые породы Южного Прибайкалья [3–5].

Маложелезистые диопсидовые породы исследовались в первую очередь как основной компонент для изготовления керамических диэлектриков и в качестве добавок в керамическую плитку и шихты глазурей и фарфора. Железосодержащие диопсидиты исследовались в качестве сырья для всех видов керамических облицовочных плиток как альтернатива волластонитовым породам, а также в качестве монокомпонента при получении минеральной ваты. В меньшей степени диопсидовые породы исследованы в качестве добавок в глиносодержащие массы для изготовления керамического кирпича и фаянса.

В настоящей статье рассматриваются результаты исследований по влиянию добавок природного диопсида на спекание и прочность стеновой керамики и фаянса с учетом видов и количества глинистых минералов, дисперсности и количества добавок диопсидовой породы.

В работе использовались железистые диопсиды Алданского месторождения и маложелезистые диопсидовые породы Южного Прибайкалья. Химический состав диопсидного сырья приведен в табл. 1.

Основным минералом маложелезистой породы Слюдянского месторождения является диопсид (75–85 % масс.). Примесными минералами являются кварц и кальцит. Особенностью диопсидовых пород Южного Прибайкалья является малое содержание оксидов железа – 0,1 % масс. [5]. В композициях с глинами использован верхний слой диопсидовой породы Бурутуйского участка Слюдянского месторождения с содержанием Fe_2O_3 1,6 % масс.

Минеральный состав используемой алданской диопсидовой породы включает: диопсид – 75 % масс., скалонит – 17 % масс., флогонит – не более 3 % масс. и 0,5 % масс. примеси других минералов. Отличительной особенностью алданских пород является меньшее содержание диопсида (70–75 % масс.) и повышение содержания оксидов железа(4–6 % масс.) [Там же].

Таблица 1

Химический состав диопсидового сырья

Наименование сырья	Содержание оксидов, масс. %								$\Delta m_{пр}$
	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	
Маложелезистая диопсидовая порода (Слюдянское месторождение, Бурутуйский участок)	54,34	0,635	0,15	1,61	18,58	23,89	0,12	0,11	0,74
Железистая диопсидная порода Алданского месторождения	48,62	5,34	0,81	5,26	14,62	24,23	0,14	0,12	0,86

Для исследования выбраны две группы глинистого сырья – пластичные глины с содержанием глинистых минералов 45–50 % масс. (число пластичности 23–24) и малопластичные суглинки с содержанием глинистых минералов 7–10 % масс. (число пластичности 10–12). Пластичные глины представляют глинистое сырье Хакасии. Суглинки представлены глинистым сырьем Иркутской области. Химический состав глинистого сырья приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав глинистого сырья

Наименование сырья	Содержание оксидов, масс. %								$\Delta m_{пр}$
	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	
Глина белоярская (Хакасия)	58,04	12,16	0,20	7,86	3,95	5,86	0,44	0,26	11,23
Глина изыхская (Хакасия)	61,86	16,45	0,35	4,76	1,67	4,82	0,43	0,32	9,34
Суглинок тимлюйский*	60,50	17,15	0,99	7,07	2,80	2,71	2,63	2,33	3,82
Суглинок олонский*	56,12	14,70	0,80	5,91	2,71	8,40	1,43	1,95	7,98
Суглинок мальтинский*	53,99	13,33	0,87	6,35	6,56	8,53	1,41	1,67	7,29
Суглинок максимовский*	57,75	15,95	0,92	7,12	3,14	4,95	1,65	1,91	6,61

* Суглинки Иркутской области.

Минеральный состав суглинков приведен в табл. 3. Непластичные минералы представлены, главным образом, кварцем и полевыми шпатами, в не-

больших количествах присутствуют гематит, кальцит и вермикулит. Количество непластичных минералов в суглинках 90 ± 1 %.

Глинистые минералы в суглинках представлены каолинитом, гидрослюдами и монтмориллонитом.

Таблица 3

Минеральный состав суглинков Иркутской области по данным термического и рентгенофазового анализа

Наименование сырья	Кварц	Альбит	Микроклин	Ортоклаз	Плагиоклаз	Гематит	Кальцит	Каолинит	Гидрослюда	Монтмориллонит
Тимлюйский суглинок	+	–	–	–	+	+	–	+	+	+
Олонский суглинок	+	–	–	–	+	+	+	+	+	+
Мальтинский суглинок	+	+	+	–	–	+	+	+	+	+
Максимовский суглинок	+	+	+	+	–	+	–	+	+	–

Содержание оксидов железа для глин и суглинков находится в одних границах 5,0–8,0 % масс. Природа и количество глинистых минералов и число пластичности сырья приведены в табл. 4.

Таблица 4

Содержание глинистых минералов и пластичность глинистого сырья

Наименование сырья	Содержание глинистой составляющей в породах (фракция < 0,001 мм), масс. %	Глинистые минералы (по уменьшению содержания)	Число пластичности
Глина белоярская	45,05	Каолинит, монтмориллонит	24
Глина изыхская	47,10	Каолинит, монтмориллонит	22
Суглинок тимлюйский	7,35	Гидрослюда, каолинит	9
Суглинок олонский	11,60	Гидрослюда, монтмориллонит	12
Суглинок мальтинский	9,35	Гидрослюда, каолинит, монтмориллонит	10
Суглинок максимовский	9,00	Каолинит, гидрослюда	10

По числу пластичности глины пригодны для изготовления керамического кирпича с использованием метода пластического формования, а суглинки – методом полусухого прессования. Влияние добавок грубодисперсных диоп-

сидовых пород размером частиц 0,5–1,0 мм исследовалось на пластичном глинистом сырье. В суглинки добавляли диопсидовые породы в тонкодисперсном состоянии (> 0,06 мм). В первом случае использовались диопсидовые породы Алданского и Слюдянского месторождений, во втором – диопсидовые породы Слюдянского месторождения. В исследованиях фаянсовых масс использовались слюдянские диопсидовые породы с содержанием оксидов железа менее 0,1 % по массе.

Добавки диопсидовых пород дисперсностью 0,5–1,0 мм в пластичные легкоплавкие глины в количестве 10 % приводят к увеличению прочности при сжатии более чем на 10 МПа обожженных образцов, при этом уменьшается усадка и водопоглощение. Результаты исследований приведены в табл. 5. Промышленное использование диопсидовых пород на кирпичных заводах Иркутской области подтвердило увеличение марки кирпича и снижение брака при сушке при количестве добавок 10 %.

Таблица 5

Свойства образцов строительной керамики из пластичных глин без добавок и с добавками диопсида после обжига при 1000 °С

Характеристики	Белоярская глина			Изыхская глина		
	Добавка диопсида, % масс.			Добавка диопсида, % масс.		
	0	10	25	0	10	25
Водопоглощение, %	14,2	13,1	12,3	14,8	13,7	12,8
Прочность при сжатии, МПа	25	36	44	22	31	39
Усадка, %	2,0	1,2	0,7	10	0,6	0,2

Исследования показали, что добавки диопсидовой породы с размером частиц более 0,1 мм в малопластичные суглинки ухудшают спекаемость изделий стеновой керамики [6]. При этом увеличивается водопоглощние и снижается прочность изделий, т. к. уменьшается глинистая компонента массы, а взаимодействие грубодисперсного диопсида с продуктами дегидратации глины не обеспечивает преодоления негативного фактора уменьшения глинистых минералов. Эффект добавок диопсида на спекания суглинков проявляется при дисперсности 15–20 мкм [14, 15].

Установлено, что действие дисперсного диопсида (доминирующий размер частиц 15 мкм) при обжиге суглинков (950–1100) °С определяется двумя факторами: содержанием глинистых минералов в суглинке (рис. 1) и долей (содержанием монтмориллонита) в глинистой части суглинка (табл. 5).

Количество добавок диопсида составляет 40–50 % от содержания глинистых минералов в суглинках, т. е. от 3 до 6 % масс. в шихте, при этом прочность увеличивается в 1,5–2 раза при одинаковых температурах обжига с образцами керамики без добавок (табл. 6). Прирост прочности от добавок диопсида не наблюдается при отсутствии монтмориллонита в суглинке (максимовский). С увеличением относительного содержания монтмориллонита в глинистой составляющей суглинка коэффициент прироста прочности увеличивается (табл. 6).

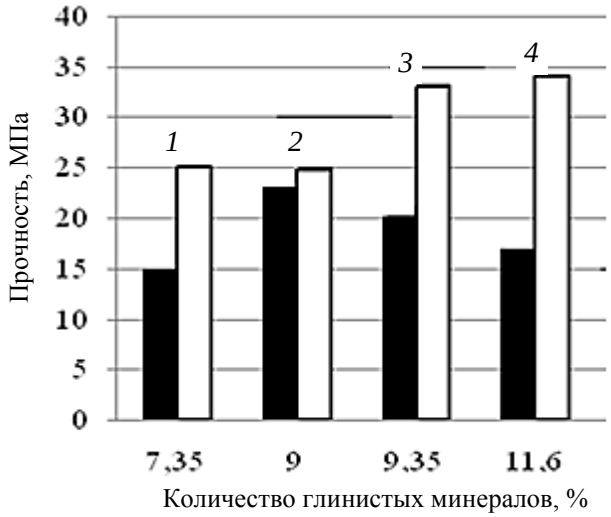


Рис. 1. Прочность при сжатии керамических материалов на основе легкоплавких суглинков с различным содержанием глинистых минералов без добавок и с добавками диопсида:
1 – тимлюйский ($t_{обж}$ 1050 °С); *2* – максимовский ($t_{обж}$ 1100 °С); *3* – мальтинский ($t_{обж}$ 1000 °С); *4* – олонский ($t_{обж}$ 950 °С); □ – массы с диопсидом; ■ – массы без добавок

Таблица 6

Прочность при сжатии образцов керамики на основе суглинков с различным содержанием монтмориллонита и добавками диопсида

Суглинок	Относительное содержание монтмориллонита в глинистой составляющей суглинка (общее содержание равно 1,0)	Прочность обожженных образцов без диопсида, МПа	Прочность образцов с добавками диопсида, МПа	Коэффициент увеличения прочности
Тимлюйский	0,05	17	25,5	1,5
Олонский	0,16	20	34	1,7
Мальтинский	0,43	17	34	2,0
Максимовский	–	22	23	1,0

Прочность при сжатии достигает значений 23–34 МПа в зависимости от содержания глинистых минералов в суглинках и относительного содержания монтмориллонита [14]. Высокая дисперсность диопсида 60 мкм (частицы размерами 10–15 мкм составляют 75 ± 5 % масс.) создает условия взаимодействия его с продуктами разложения глинистых минералов (монтмориллонит, гидрослюда).

Упрочняющее действие диопсида в композициях с глинистыми минералами при обжиге до температур 900–1050 °С определяется взаимодействием дисперсного диопсида с продуктами разложения глинистых минералов [7, 14].

В силу своего неоднородного состава и наличия примесных элементов в структуре монтмориллонит является наиболее легкоплавким глинистым минералом и в большей степени активным при обжиге по сравнению с остальными. До 600 °С монтмориллонит остается неизмененным [8]. При повышении температуры до 800 °С его структурная решетка расширяется, при температурах от 850 °С она разрушается, и образуется алюмокремниевая шпинель:

$$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O \xrightarrow{650\ ^\circ C} Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 + nH_2O \xrightarrow{850\ ^\circ C} Al_2O_3 \cdot SiO_2 + 3SiO_2$$

Монтмориллонит полностью разлагается при 800–850 °С. Развивающиеся высокотемпературные фазы различны для монтмориллонитов, что объясняется колебанием химического состава и характера структур в пределах этой группы. В зависимости от природы и количества примесей в минералах монтмориллонитовой группы при их обжиге может протекать синтез кордиерита или анортита с участием диопсида. Характер взаимной упорядоченности алюмосиликатных слоёв и наличие в их структуре монтмориллонита изоморфных примесей предопределяют протекание реакции в твёрдой фазе уже при температурах его разложения [15].

В исследованных пластичных глинах содержание глинистых минералов составляет 45–47 % масс. (см. табл. 4), они выполняют роль пластичной матрицы и обеспечивают прочность керамики после обжига. При добавках диопсида дисперсностью 0,5–1,0 мм в количестве 10–25 % масс. (рис. 2, *а*) глинистая составляющая сохраняет роль пластичной матрицы, что позволяет применять метод пластичного формования изделий. При этом добавки диопсида уменьшают количество глинистой составляющей в пластичной массе, что приводит к снижению чувствительности при сушке и уменьшению усадки при обжиге. В процессе обжига происходит взаимодействие продуктов разложения глинистых минералов с поверхностью частиц диопсида. Уменьшение количества глинистой матрицы и твердофазовое взаимодействие продуктов разложения глинистых минералов с частицами диопсида обеспечивают повышение прочности стеновой керамики более чем на 10 МПа (см. табл. 5).

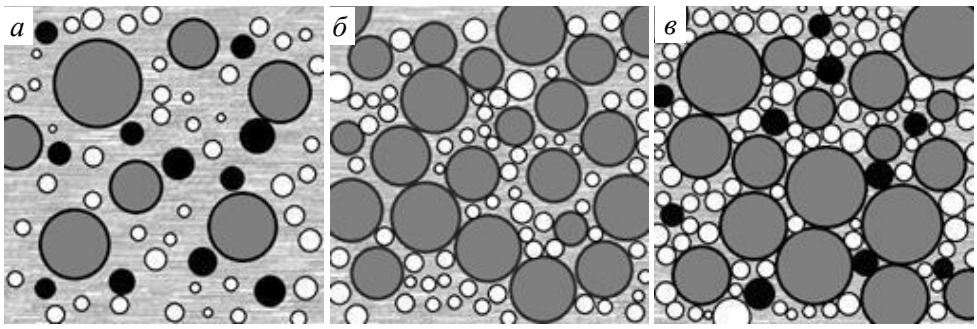


Рис. 2. Модели распределения частиц кварца и диопсида в пластичных глинах (*а*) и суглинках (*б*, *в*):
– песчаные частицы кварца (SiO_2); – пылеватые частицы кварца (SiO_2);
– частицы диопсида ($CaMgS_2O_6$); – глинистая матрица (*а*), глиносвязка (*б*, *в*)

Добавка диопсидового компонента в пластичные глины в количестве 30 % масс. и более приводит к уменьшению пластичности масс и к необходимости полусухого прессования изделий, что было реализовано в технологии керамических облицовочных плиток [5].

В исследованных суглинках количество глинистых минералов составляет 7–11 % масс. (см. табл. 4), что не обеспечивает достижения необходимого водопоглощения стеновой керамики (менее 14 %) при полусухом способе формования. Это связано с тем, что глинистых минералов недостаточно для связывания песчаных и пылеватых частиц кварца (рис. 2, *б*). Добавки диопсида дисперсностью 0,5–1,0 мм только ухудшают все характеристики стеновой керамики из суглинков. Использование диопсида после измельчения до дисперсности 60 мкм (доминирующие размеры частиц 15 мкм) при количествах добавок 3–6 % обеспечивает увеличение прочности керамики в 1,5–2,5 раза по сравнению с прочностью керамики без добавок. При этом количество дисперсного диопсида составляет 40–45 % от общего содержания глинистых минералов. Количество комбинированной связки «глинистые минералы – диопсид» достигает 13,5–15,5 % (рис. 2, *в*), что оказалось достаточным для получения высокомарочного кирпича из суглинков при полусухом прессовании изделий.

Влияние добавок диопсида (60 мкм) исследовалось при спекании керамических масс для санитарно-технического фаянса [16]. Компонентные составы масс представлены в табл. 7. Количество глинистых минералов составляет 50 % масс.

Таблица 7

Компонентный состав фаянсовых масс

Компонент	Масса без диопсида, ФЭ	Масса с диопсидом, ФД
Каолин просяновский	36	36
Глина веселовская	14	14
Кварцевый песок глуховецкий	28	20
Полевой шпат чупинский	20	20
Глинозем	2	–
Диопсидовый концентрат	–	10

Массы готовились совместным мокрым помолом компонентов шихты до прохождения через сито № 0,06 (60 мкм) с доведением влажности до пластичного состояния масс в гипсовых ёмкостях. Распределение частиц непластичных компонентов в глинистой матрице соответствует модели рис. 2, *а*. Результаты экспериментальных исследований усадки при спекании фаянсовых масс при пластичном формовании изделий приведены на рис. 3.

Сравнительный анализ кривых усадки при обжиге образцов исследуемых масс показывает (рис. 3), что общая усадка образцов всех исследуемых масс одинакова и составляет 16,5 %. Интенсивная усадка эталонной массы начинается с 1100 °С. При введении диопсидового компонента в массу усадка начинается с 980 и заканчивается при 1100 °С.

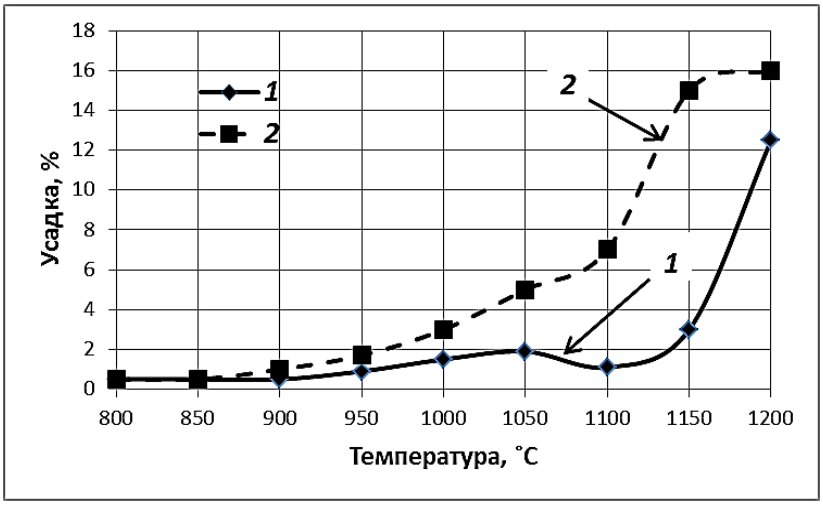


Рис. 3. Изменение усадки образцов фаянса после обжига при различных температурах до 1200 °С:
1 – исходная масса (ФЭ); *2* – масса с диопсидом (ФД)

Активное спекание фаянсовых масс с температуры 980 °С обеспечивает снижение водопоглощения до значений, близких к нулевому, уже при обжиге 1150 °С (рис. 4).

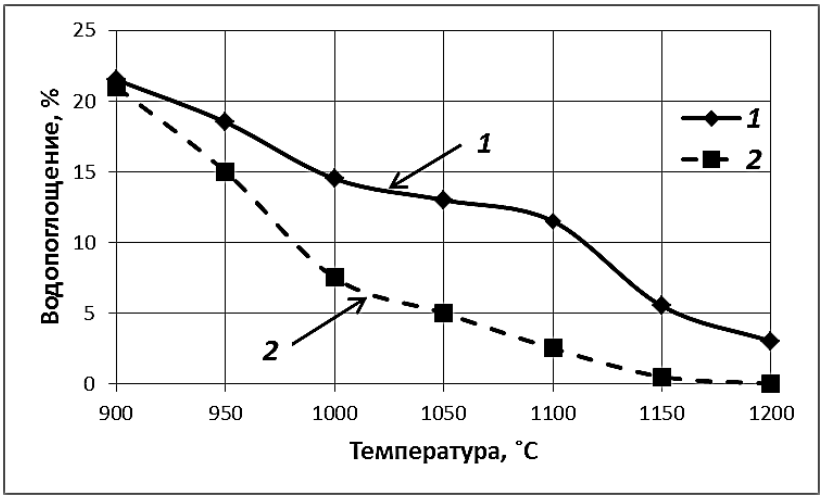


Рис. 4. Изменение водопоглощения образцов фаянса после обжига при различных температурах до 1200 °С:
1 – исходная масса (ФЭ); *2* – масса с диопсидом (ФД)

Свойства фаянса после обжига при 1150 °С приведены в табл. 8.

При использовании диопсидового концентрата в количестве 10 % масс. температура спекания фаянсовых масс по сравнению с эталонной массой снижается на 100–150 °С.

Таблица 8

Свойства фаянсовых изделий без добавок и при введении диопсида после обжига при 1150 °С

Характеристики	Керамика из массы без диопсида, ФЭ	Керамика из массы с диопсидом, ФД
Водопоглощение, %	7,0	0,5
Прочность при сжатии, МПа	16	34
Усадка, %	4,3	14

Анализ результатов исследований показывает, что диопсид с содержанием примесей железа можно использовать в шихтах для производства строительного кирпича. В зависимости от пластичности глинистого компонента в данных массах диопсид вводится различных фракций. В массы, где число пластичности глинистого сырья 9–12, целесообразно вводить мелкодисперсный диопсид с размером частиц менее 0,06 мм (доминирующий размер 0,015 мм). Для глин с числом пластичности более 20 целесообразно добавлять грубодисперсный диопсид с размером 0,5–1 мм. Для снижения температуры спекания изделий санитарно-технического фаянса рекомендуется использовать диопсидовое сырье с содержанием оксидов железа менее 1,0 % масс. при совместном мокром помоле компонентов шихты до дисперсности непластичных компонентов 0,06 мм (60 мкм). Количество диопсидового компонента в шихте достаточно 10 % по массе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Kurzyk N.G.* Diopsid and Wollastonit – synthetische Rohstoffe für die Kermik. Anwendung von synthetischen Erdalkalisilicaten in keramischen Massen // Ber.Deutsche Keram.Ges. 1978. V. 55. № 5. S. 262–265.
2. *Верещагин В.И., Козик В.В., Сырямкин В.И., Погребенков В.М., Борило Л.П.* Полифункциональные неорганические материалы на основе природных и искусственных соединений / под ред. В.И. Верещагина. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002. 359 с.
3. *Верещагин В.И., Резницкий Л.З., Васильев Е.П., Алексеев Ю.И.* Диопсидные породы – сырье многоцелевого назначения // Стекло и керамика. 1989. № 1. С. 37–38.
4. *Резницкий Л.З., Вишняков В.Н., Васильев В.П. и др.* Безжелезистые диопсидные породы – новый вид минерального сырья // ДАН СССР. 1968. Т. 303. № 6. С. 1434–1437.
5. *Верещагин В.И. и др.* Диопсидовые породы – универсальное сырье для производства керамических и других силикатных материалов // Керамическая промышленность. Серия 5. Аналитический обзор. ВНИИЭСМ, 1991. 60 с.
6. *Верещагин В.И., Шильцына А.Д., Селиванов Ю.М.* Моделирование структуры и оценка прочности строительной керамики из грубодисперсных масс // Строительные материалы. 2007. № 6. С. 65–61.
7. *Вакалова Т.В. Погребенков В.М.* Рациональное использование природного и техногенного сырья в керамических технологиях // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 45–50.
8. *Августинник А.И.* Керамика. Ленинград : Стройиздат, 1975. 959 с.
9. *Масленникова, Г.Н., Конешева Т.И.* Действие минерализаторов на спекание фарфоровых масс // Стекло и керамика. 1987. № 4. С. 13–15.
10. *Масленникова Г.Н.* Физико-химические процессы образования структуры фарфора // Химия и технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Ленинград : Наука, 1989. С. 202–215.

11. *Масленникова Г.Н., Платов Ю.Т.* Процесс образования фарфора в присутствии добавок // Стекло и керамика. 1998. № 2. С. 19–24.
12. *Энциклопедия неорганических материалов*. Т. 1 / под ред. И.Н. Федорченко, главная редакция УСЭ. 1977. С. 776–777.
13. *Справочник по производству строительной керамики* / под ред. М.О. Юшкевича. – Москва : Стройиздат, 1961. Т. 1. 464 с.
14. *Сафонова Т.В., Верещагин В.И., Баяндина Е.В.* Строительная керамика на основе композиций низко- и среднепластичного глинистого и диопсидового сырья // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. № 3. С. 154–182.
15. *Сафонова Т.В., Зыкова Ю.А.* Физико-химические процессы взаимодействия диопсида с полиминеральным малопластичным глинистым сырьем // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2012. № 10. С. 188–194.
16. *Верещагин В.И., Могилевская Н.В., Горбачев Д.В.* Фарфор низкотемпературного обжига с добавками диопсида и маршалита // Стекло и керамика. 2012. № 12. С. 12–16.

REFERENCES

1. *Kurzyk N.G.* Diopsid and Wollastonit – synthetische Rohstoffe fu¨r die Kermik. Anwendung von synthetischen Erdalkalisilicaten in keramischen Massen. *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft*. 1978. V. 55. No. 5. Pp. 262–265.
2. *Vereshchagin V.I., Kozik V.V., Syryamkin V.I., Pogrebenkov V.M., Borilo L.P.* Polifunktsional'nye neorganicheskie materialy na osnove prirodnykh i iskusstvennykh soedinenii [Multifunctional inorganic materials based on natural and artificial compounds], V.I. Vereshchagin, Ed. Tomsk: TSU, 2002. 359 p. (rus)
3. *Vereshchagin V.I., Reznitskii L.Z., Vasil'ev E.P., Alekseev Yu.I.* Diopsidnye porody – syr'e mnogotselevogo naznacheniya [Diopside rocks as multi-purpose raw materials]. *Steklo i keramika*. 1989. No. 1. Pp. 37–38. (rus)
4. *Reznitskii L.Z., Vishnyakov V.N., Vasil'ev V.P., et al.* Bezzhelezistye diopsidnye porody – novyi vid mineral'nogo syr'ya [Iron-free diopside rocks, a new type of mineral raw material]. *DAN SSSR*. 1968. V. 303. No. 6. Pp. 1434–1437. (rus)
5. *Vereshchagin V.I., et al.* Diopsidovye porody – universal'noe syr'e dlya proizvodstva keramicheskikh i drugikh silikatnykh materialov [Diopside rocks as universal raw material for ceramic and other silicate material production]. Keramicheskaya promyshlennost'. Seriya 5. Analiticheskii obzor. VNIIESM, 1991. 60 p. (rus)
6. *Vereshchagin V.I., Shil'tsyna A.D., Selivanov Yu.M.* Modelirovanie struktury i otsenka prochnosti stroitel'noi keramiki iz grubodispersnykh mass [Structural modeling and strength assessment of building ceramics with coarse particles]. *Stroitel'nye materialy*. 2007. No. 6. Pp. 65–61. (rus)
7. *Vakalova T.V. Pogrebenkov V.M.* Ratsional'noe ispol'zovanie prirodnogo i tekhnogennogo syr'ya v keramicheskikh tekhnologiyakh [Rational use of natural and man-made raw materials in ceramic technologies]. *Stroitel'nye materialy*. 2007. No. 4. Pp. 45–50. (rus)
8. *Avgustinnik A.I.* Keramika [Ceramics]. Leningrad: Stroiizdat, 1975. 959 p. (rus)
9. *Maslennikova, G.N., Konesheva T.I.* Deistvie mineralizatorov na spekanie farforovykh mass [The effect of mineralizers on sintering porcelain mixtures]. *Steklo i keramika*. 1987. No. 4. Pp. 13–15. (rus)
10. *Maslennikova G.N.* Fiziko-khimicheskie protsessy obrazovaniya struktury farfora [Physicochemical processes of porcelain structure formation]. In: Khimiya i tekhnologiya silikatnykh i tugoplavkikh nemetallicheskikh materialov [Chemistry and technology of silicate and refractory non-metallic materials]. Leningrad: Nauka, 1989. Pp. 202–215. (rus)
11. *Maslennikova G.N., Platov Yu.T.* Protsess obrazovaniya farfora v prisutstvii dobavok [Porcelain formation in the presence of additives]. *Steklo i keramika*. 1998. No. 2. Pp. 19–24. (rus)
12. *Fedorchenko I.N. (Ed.)* Entsiklopediya neorganicheskikh materialov [Encyclopedia of inorganic materials]. 1977. V. 1. Pp. 776–777. (rus)
13. *Yushkevich M.O. (Ed.)* Spravochnik po proizvodstvu stroitel'noi keramiki [Handbook of building ceramics production]. Moscow: Stroiizdat, 1961. V. 1. 464 p. (rus)

14. *Safonova T.V., Vereshchagin V.I., Bayandina E.V.* Stroitel'naya keramika na osnove kompozitsii nizko- i credneplastichnogo glinistogo i diopsidovogo syr'ya [Building ceramics based on compositions of low- and medium-plastic clay and diopside materials]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2012. No. 3. Pp. 154–182. (rus)
15. *Safonova T.V., Zykova Yu.A.* Fiziko-khimicheskie protsessy vzaimodeistviya diopsida s polimineral'nym maloplastichnym glinistym syr'em [Physicochemical processes of interaction between diopside and polymineral low-plastic clay raw materials]. *Vestnik of National Research Irkutsk State Technical University*. 2012. No. 10. Pp. 188–194. (rus)
16. *Vereshchagin V.I., Mogilevskaya N.V., Gorbachev D.V.* Farfor nizkotemperaturnogo obzhiga s dobavkami diopsida i marshalita [Porcelain of low-temperature firing with diopside and marshallite additives]. *Steklo i keramika*. 2012. No. 12. Pp. 12–16. (rus)

Сведения об авторах

Верещагин Владимир Иванович, докт. техн. наук, профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, vver@tpu.ru

Могилевская Наталья Викторовна, канд. техн. наук, доцент, Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный 79/10, moginatalya@yandex.ru

Сафонова Татьяна Валерьевна, канд. техн. наук, доцент, филиал Иркутского государственного технического университета в г. Усолье-Сибирском, 665470, г. Усолье-Сибирское, ул. Менделеева, 65, Tanya1082@mail.ru

Authors Details

Vladimir I. Vereshchagin, DSc, Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, vver@tpu.ru

Natal'ya V. Mogilevskaya, PhD, A/Professor, Novosibirsk State University of Architecture, Design and Fine Arts, 38, Krasnyi Ave., 630099, Novosibirsk, Russia; Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, moginatalya@yandex.ru

Tat'yana V. Safonova, PhD, A/Professor, Usolye-Sibirskoye Affiliate of National Research Irkutsk State Technical University, 65, Mendeleev Str., 665470, Usolye-Sibirskoye, Russia, Tanya1082@mail.ru

УДК 666.9-127 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-134-139

В.В. ШЕХОВЦОВ, О.Г. ВОЛОКИТИН, Р.Е. ГАФАРОВ,
М.А. СЕМЕНОВЫХ,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОСФЕР НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ АЛЮМОСИЛИКАТНОЙ ГРУППЫ*

Разработка новых энергоэффективных методов получения строительных материалов всегда актуальна. Одним из таких материалов является микросфера, которую можно получить с помощью энергии плазмы. Изучение физических процессов, протекающих при формировании микросфер различной плотности, позволит определить оптимальные параметры производства качественных строительных материалов. Статья посвящена технологическим особенностям получения микросфер на основе материалов алюмосиликатной группы. Исследованы режимы истечения плазменной струи и их влияние на морфологию и структуру получаемых микросфер. Установлена возможность получения микросфер с различной морфологией за счет регулирования расхода плазмообразующего газа.

Ключевые слова: микросферы; плазма; рентгенограмма; зола; кварцевый песок; бемит.

Для цитирования: Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Гафаров Р.Е., Семеновых М.А. Получение микросфер на основе материалов алюмосиликатной группы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 134–139.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-134-139

V.V. SHEKHOVTSOV, O.G. VOLOKITIN, R.E. GAFAROV,
M.A. SEMENOVYKH,
Tomsk State University of Architecture and Building

ALUMINOSILICATE MICROSPHERE PRODUCTION

The development of new energy-efficient methods in the production of building materials is always important. One of such materials is microspheres which can be obtained by plasma energy. A study of physical processes during the formation of microsphere density determines the optimum parameters for the production of high-quality building materials. The article is devoted to production process of microspheres based on aluminosilicates. The plasma jet modes and their effect on the morphology of generated microspheres are investigated. It is shown that microspheres with different morphology can be produced by using a plasma gas control.

Keywords: microspheres; plasma; X-ray diffraction pattern; ash; silica sand; boehmite.

For citation: Shekhovtsov V.V., Volokitin O.G., Gafarov R.E., Semenovykh M.A. Poluchenie mikrosfer na osnove materialov alyumosilikatnoi gruppy [Aluminosilicate microsphere production]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 134–139.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-134-139

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Субъекта РФ в рамках научного проекта № 18-48-703004.

© Шеховцов В.В., Волокитин О.Г., Гафаров Р.Е., Семеновых М.А., 2019

Сегодня микросферы широко применяются при производстве теплоизоляционных материалов, радиопрозрачных керамик и специальных видов цемента, однако разрабатываются и новые технологии их применения в различных областях промышленности. И если в строительной и огнеупорной сферах требования к качеству микросфер невысокие, то уже в медицине и авиастроении они резко возрастают [1–5]. Одним из основных требований, предъявляемых к микросферам на сегодняшний день, является термическая и кислотная стойкость. К таким материалом можно отнести высококремнеземистые и глиноземистые материалы. Температура плавления (1993/2350 K) данных материалов повышает требования к источникам тепловой энергии [6–8]. Перспективным источником нагрева-плавления тугоплавких материалов являются плазменные генераторы, позволяющие реализовывать высококонцентрированные среды со среднемассовой температурой до 10000 K [9–11]. В работе представлены результаты экспериментальных исследований в области получения микросфер на основе тугоплавких сырьевых материалов с использованием воздушно-плазменных гетерогенных потоков.

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории «Электроплазменные технологии» Томского государственного архитектурно-строительного университета. Для реализации воздушно-плазменного гетерогенного потока использовался электродуговой плазмотрон [12]. Производительность электродугового плазмотрона определяется расходом плазмообразующего газа и тепловой мощностью плазменной дуги. В ходе работы произведена разработка измерительной системы теплофизических характеристик электродугового плазмотрона. Фиксация плазмообразующего газа (G_g) осуществляется ротаметром марки LZT-06 (США), погрешность измерения составляет ±4 %. Сила тока (I) и напряжение (U) определяется цифровым вольтамперметром марки PVA400, погрешность измерения ±1 %. По установленным параметрическим характеристикам методом колориметрирования определялась среднемассовая температура (T_g) и скорость (u_g) воздушно-плазменной струи. Оценка режимов истечения плазменной струи определяется ламинарным или турбулентным состоянием. Данное явление описывается безразмерным соотношением (число Рейнольдса) $\mathrm{Re} = (\rho_g u_g d_s)/\mu_g$, где ρ_g, u_g, μ_g – плотность, скорость и вязкость нагретого газа (плазма), d_s – диаметр сопла (10 мм). На рис. 1 представлены снимки воздушно-плазменной струи при различном расходе плазмообразующего газа (воздух).

В зависимости от расхода плазмообразующего газа плазменная струя может находиться в ламинарном или турбулентном состоянии. При сравнении турбулентной и ламинарной струи видно, что зона активного нагрева (ядро) у ламинарного потока в два раза длиннее. Также стоит отметить, что ламинарный поток стабилен и позволяет обеспечить интенсивную обработку вводимых в него частиц [13–15].

С целью наглядного влияния режимов истечения плазменной струи и влияния ее на морфологию получаемых микросфер произведена обработка агломерированного порошка узкой фракцией 90–100 мкм на основе зольного остатка ГРЭС. На рис. 2 представлены снимки оптической микроскопии обработанных агломерированных порошков на основе зольного остатка ГРЭС

фракцией 90–100 мкм при различных режимах расхода плазмообразующего газа 0,5–1,5 г/с.

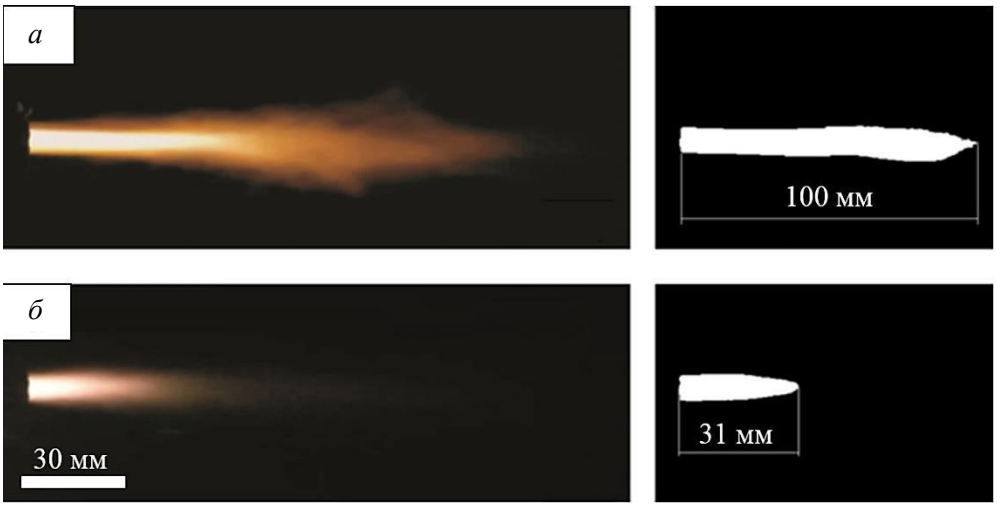


Рис. 1. Снимки формы плазменной струи при различном расходе плазмообразующего газа: *а* – ламинарное истечение плазменной струи, Re = 1300, G_g = 1,0 г/с; *б* – турбулентное истечение плазменной струи, Re = 2600, G_g = 1,5 г/с

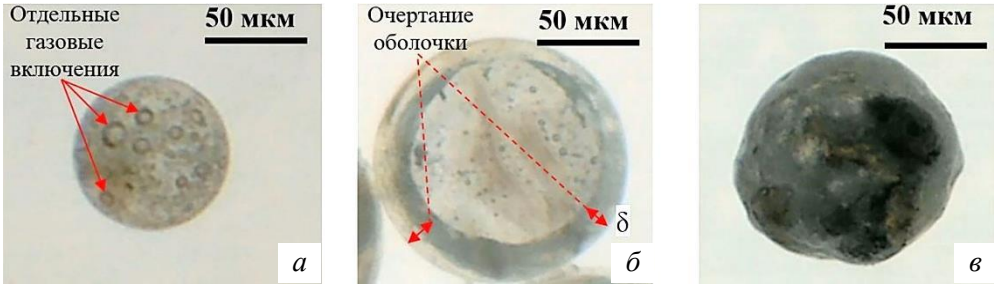


Рис. 2. Снимки оптической микроскопии обработанного агломерированного порошка на основе зольного остатка ГРЭС в плазменной струе фракцией 90–100 мкм: *а* – плотная микросфера с отдельными газовыми включениями в поверхностном слое; *б* – полая микросфера; *в* – остеклованный агломерат

При минимальном расходе 0,5 г/с осуществляется перегрев частиц с последующим формированием плотных микросфер (диаметр $D_{p,m}$ = (65 ± 3) мкм, плотность ρ_p = 1,98 г/см^3) с отдельными газовыми включениями в поверхностном слое. При расходе 1,0 г/с осуществляется рациональный режим нагрева, способствующий образованию полой микросферы ($D_{p,m}$ = (110 ± 2) мкм, ρ_p = 0,83 г/см^3) с толщиной стенки 4–5 мкм. Увеличение расхода до 1,5 г/с приводит к остекловыванию поверхности агломерата, формируется тонкая пленка $\leq$ 1 мкм, диаметр и плотность частицы находятся при начальных условиях ($D_{p,m}$ = (95 ± 2) мкм, ρ_p = 1,36 г/см^3). Стоит отметить, что процесс структурообразования полученных микросфер плотной и полой структуры при расходе плаз-

мообразующего газа 0,5–1,0 г/с можно считать завершенным за счет осветления стекломассы, при котором осуществляется рациональное остывание гомогенизированной массы путем исключения барьерных термических напряжений.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить возможность прогнозирования относительной толщины оболочки за счет истечения плазменной струи.

В зависимости от режима истечения плазменной струи возможно получать три вида частиц: плотную, полую микросферу и агломерат с пленкой конденсированного материала на поверхности.

На следующем этапе работы планируется провести исследования структурно-фазовых состояний оболочки микросфер.

Библиографический список

1. *Solonenko O.P.* Criterion conditions for the formation of hollow microspheres from plasma-treated agglomerated particles // Thermophysics and Aeromechanics. 2014. V. 21. № 6. P. 735–746.
2. *Перфилов В.А., Котляревская А.В., Канавец У.В.* Влияние полых стеклянных микросфер на свойства легких мелкозернистых бетонов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 43 (62). С. 93–103.
3. *Navid R., Carsten K.* Cenospheres: A review // Fuel. 2017 V. 207. № 1. P. 1–12.
4. *Gulyaev P.Yu., Gulyaev I.P., Milyukova I.V., Cui H.-Z.* Temperature measurements for ni-al and ti-al phase control in shs synthesis and plasma spray processes // High Temperatures – High Pressures. 2015. V. 44. № 2. P. 83–92.
5. *Kornienko E.E., Lapushkina E.J., Kuzmin V.I.* Air plasma sprayed coatings of self-fluxing powder materials // Journal of Physics: Conference Series. 2014. V. 567. № 1. P. 012010.
6. *Yi Li, Xiangpeng Gao, Hongwei Wu* Further Investigation into the Formation Mechanism of Ash Cenospheres from an Australian Coal-Fired Power Station // Energy Fuels. 2013. V. 27. № 2. P. 811–815.
7. *Shelby J.E.* Introduction to glass science and technology // Cambridge: The Royal Society of Chemistry. 2005. 312 p.
8. *Vassilev S.V., Menendez R., Diaz-Somoano M., Martinez-Tarazona M.R.* Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 2. Characterization of ceramic cenosphere and salt concentrates // Fuel. 2004. V. 83. P. 585–603.
9. *Донской А.В., Клубникин В.С.* Электроплазменные процессы и установки в машиностроении. Ленинград : Машиностроение, 1979. 221 с.
10. *Zhukov A.S., Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S., Gol'din V.D.* Evaluation of the morphology of particles produced by plasma-chemical synthesis of ceramic powders // Russian Journal of Physical Chemistry. 2013. V. 7 (6). P. 777–782.
11. *Гуляев И.П.* Обработка полых порошков в камере переменного давления // Вестник Югорского государственного университета. 2013. Т. 29. № 2. С. 23–30.
12. *Пат. № 2664287.* Устройство для получения микросфер и микрошариков из оксидных материалов / В.В. Шеховцов, Г.Г. Волокитин, Н.К. Скрипникова, О.Г. Волокитин, В.К. Чибирков. Опубл. 16.08.2018, Бюл. № 23.
13. *Келбалиев Г.И.* Коэффициенты сопротивления твердых частиц, капель и пузырей различной формы // Теоретические основы химической технологии. 2011. Т. 45. № 3. С. 264–283.
14. *Стернин Л.Е., Шрайбер А.А.* Многофазные течения газа с частицами. Москва : Машиностроение, 1994. 320 с.
15. *Архипов В.А., Усанина А.С.* Движение частиц дисперсной фазы в несущей среде. Томск : Изд. дом Томского гос. ун-та, 2014. 252 с.

REFERENCES

1. *Solonenko O.P.* Criterion conditions for the formation of hollow microspheres from plasma-treated agglomerated particles. *Thermophysics and Aeromechanics*. 2014. V. 21. No. 6. Pp. 735–746.
2. *Perfilov V.A., Kotlyarevskaya A.V., Kanavets U.V.* Vliyanie polykh steklyannykh mikrosfer na svoistva legkikh melkozernistykh betonov [The effect of hollow glass microspheres on the properties of light fine-grained concrete]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2016. No. 43 (62). Pp. 93–103. (rus)
3. *Navid R., Carsten K.* Cenospheres: A review. *Fuel*. 2017. V. 207. No. 1. Pp. 1–12.
4. *Gulyaev P.Yu., Gulyaev I.P., Milyukova I.V., Cui H.-Z.* Temperature measurements for Ni-Al and Ti-Al phase control in SHS synthesis and plasma spray processes. *High Temperatures – High Pressures.* 2015. V. 44. No. 2. Pp. 83–92.
5. *Kornienko E.E., Lapushkina E.J., Kuzmin V.I.* Air plasma sprayed coatings of self-fluxing powder materials. *Journal of Physics: Conference Series*. 2014. V. 567. No. 1. P. 012010.
6. *Yi Li, Xiangpeng Gao, Hongwei Wu*. Further investigation into the formation mechanism of ash cenospheres from an Australian coal-fired power station. *Energy Fuels*. 2013. V. 27. No. (2). Pp. 811–815.
7. *Shelby J.E.* Introduction to glass science and technology. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2005. 312 p.
8. *Vassilev S.V., Menendez R., Diaz-Somoano M., Martinez-Tarazona M.R.* Phase-mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 2. Characterization of ceramic cenosphere and salt concentrates. *Fuel*. 2004. V. 83. Pp. 585–603.
9. *Donskoi A.V., Klubnikin V.S.* Elektroplazmennye protsessy i ustanovki v mashinostroenii [Electroplasma processes and installations in mechanical engineering]. Leningrad: Mashinostroenie, 1979. 221 p. (rus)
10. *Zhukov A.S., Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S., Gol'din V.D.* Evaluation of the morphology of particles produced by plasma-chemical synthesis of ceramic powders. *Russian Journal of Physical Chemistry*. 2013. V. 7. No. 6. Pp. 777–782.
11. *Gulyaev I.P.* Obrabotka polykh poroshkov v kamere peremennogo davleniya [Hollow powder processing in a variable pressure chamber]. *Vestnik Yugorskogo gos. un-ta*. 2013. V. 29. No. 2. Pp. 23–30. (rus)
12. *Shekhovtsov V.V., Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Volokitin O.G., Chibirkov V.K.* Ustroistvo dlya polucheniya mikrosfer i mikrosharikov iz oksidnykh materialov [Device for producing microspheres and microballs from oxide materials]. Patent Russ. Fed. N 2664287, 2018. (rus)
13. *Kelbaliev G.I.* Koeffitsienty soprotivleniya tverdykh chastits, kapel' i puzyrei razlichnoi formy [Resistance coefficients of solid particles, droplets and bubbles of various shape]. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii*. 2011. V. 45. No. 3. Pp. 264–283. (rus)
14. *Sternin L.E., Shraiber A.A.* Mnogofaznye techeniya gaza s chastitsami [Multiphase gas flow with particles]. Moscow: Mashinostroenie, 1994. 320 Pp. (rus)
15. *Arkhipov V.A., Usanina A.S.* Dvizhenie chastits dispersnoi fazy v nesushchei srede [Particles motion of dispersed phase in a carrier medium]. Tomsk: TSU, 2014. 252 p. (rus)

Сведения об авторах

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

Волокитин Олег Геннадьевич, докт. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, volokitin_oleg@mail.ru

Гафаров Руслан Евгеньевич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, GreexRayne@gmail.com

Семеновых Марк Андреевич, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, markik90@gmail.com

Authors Details

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

Oleg G. Volokitin, DSc, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, volokitin_oleg@mail.ru

Ruslan E. Gafarov, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, GreexRayne@gmail.com

Mark A. Semenovykh, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, markik90@gmail.com

УДК 691.542 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-140-148

А.А. КУЛИКОВА, О.В. ДЕМЬЯНЕНКО,
Е.А. СОРОКИНА, Н.О. КОПАНИЦА,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

КОМПЛЕКСНЫЕ МОДИФИЦИРУЮЩИЕ ДОБАВКИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ЦЕМЕНТНОЙ ОСНОВЕ

В настоящее время актуальными являются исследования, направленные на использование отходов местного производства в виде минеральных тонкодисперсных добавок, схожих по вещественному составу с продуктами гидратации цемента, позволяющими направленно регулировать свойства вяжущего, достигать повышенных показателей качества (прочности, морозостойкости), формировать плотную структуру растворной смеси. Снижение расхода вяжущего в растворных и бетонных смесях за счет введения модифицирующих добавок также является актуальным направлением исследования. В работе представлены результаты, связанные с получением комплексной модифицирующей добавки, состоящей из отходов производства мрамора и нанодиоксида кремния, изучено ее влияние на свойства цементных систем. Показано, что введение комплексной добавки при уменьшении расхода цемента позволяет увеличить прочность на сжатие цементного камня до 78 %. С помощью рентгенофазового анализа определен состав новообразований модифицированного цементного камня. Определена эффективность использования отходов производства мрамора совместно с наноSiO_2 в качестве комплексной модифицирующей добавки для улучшения свойств цементных композиций.

Ключевые слова: комплексные добавки; микрокальцит; отходы производства; наномодификаторы; нанодиоксид кремния; цементные композиции.

Для цитирования: Куликова А.А., Демьяненко О.В., Сорокина Е.А., Копаница Н.О. Комплексные модифицирующие добавки для строительных смесей на цементной основе // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 140–148.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-140-148

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

COMPLEX MODIFYING ADDITIVES FOR CEMENT CONSTRUCTION MIXES

It is currently relevant to study the use of local waste based on mineral finely dispersed additives similar to substances that are formed as a result of cement hydration, which ensures high quality, increases frost resistance and forms a dense dissolved mixture. Reducing the consumption of a binder in mortar and concrete mixtures due to the introduction of modifying additives is also an important research field. The paper presents the results associated with producing a complex modifying additive consisting of waste products from marble and silicon dioxide nanoparticles and its effect on the properties of cement systems. It is shown that the introduction of a modifying additive, while reducing cement consumption, can increase the compressive strength of cement paste up to 56 %. The X-ray phase analysis is used to determine the composition of the modified cement paste. The efficiency of using marble production wastes together with SiO_2 nanoparticles as a complex modifying additive is evaluated to improve the properties of the cement mix.

© Куликова А.А., Демьяненко О.В., Сорокина Е.А., Копаница Н.О., 2019

Keywords: complex additive, microcalcite, production waste, nano-modifiers, silicon dioxide, cement mix.

For citation: Kulikova A.A., Dem'yanenko O.V., Sorokina E.A., Kopanitsa N.O., Kompleksnye modifitsiruyushchie dobavki dlya stroitel"nykh smesei na tsementnoi osnove [Complex modifying additives for cement construction mixes]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 140–148.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-140-148

Введение

Наполнение матрицы цементного вяжущего высокодисперсными минеральными частицами – один из способов улучшения физико-механических свойств строительных смесей. При этом не только улучшаются прочностные и деформативные характеристики материала, но и появляется возможность направленного формирования макро- и микроструктуры композиционного материала [1].

Тонкомолотые добавки вводят в сухие смеси в количестве 5–20 % и более от массы цемента (вяжущего). Они предназначены для снижения расхода вяжущего и получения более плотного раствора при малых расходах вяжущего, для повышения водоудерживающей способности и т. д. В качестве тонкомолотых добавок и наполнителей применяют активные минеральные добавки природного происхождения, а также золу-унос, молотый известняк, мел, молотые шлаки, кирпичную крошку и др. [2].

Актуальными являются исследования по снижению расхода вяжущего без изменения физико-механических характеристик конечного продукта путем введения различных модифицирующих добавок. Применение микрокальцита в качестве основы для модифицирующих добавок актуально, т. к. он является побочным продуктом при переработке мрамора. Еще одним преимуществом микрокальцита является его химическое сродство с продуктами гидратации цементного камня.

Производство современных композиционных строительных материалов (бетоны, растворы) различного назначения на основе цементных вяжущих базируется на широком использовании комплексов эффективных модифицирующих добавок, в том числе наномодификаторов, активно влияющих на повышение эксплуатационных свойств материалов и изделий и обеспечивающих возможности расширения ассортимента. В то же время использование добавок импортного производства в составе композиционных материалов приводит к существенному их удорожанию. Поэтому исследования по оценке влияния наномодифицирующих добавок отечественного производства на свойства растворных и бетонных смесей считаются актуальными.

Многие исследователи отмечают, что перспективным направлением при производстве бетонов и растворов является применение в качестве модифицирующих добавок нанодисперсных оксидных систем SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO [3–5], близких по составу и структуре к продуктам гидратации цемента, обладающих избыточной внутренней энергией и высокой химической активностью, что позволяет получить вяжущие с высокими физико-механическими характеристиками [6–8].

Среди широкого ассортимента наномодифицирующих объектов, используемых в различных областях, особый интерес для строительных композиционных материалов представляет нанодиоксид кремния, который по своим структурным характеристикам максимально приближен к новообразованиям твердеющего цементного камня [8].

Целью исследования является разработка комплексной модифицирующей добавки из тонкодисперсных минеральных составляющих карбонатной природы (микрокальцит) и Ts38 (нанодиоксид кремния) и исследование их влияния на физико-механические и физико-химические свойства цементных систем.

Материалы и методы

В процессе исследований были использованы следующие материалы:

а) вяжущее:

– портландцемент ЦЕМ I 42,5Н Топкинского цементного завода (ГОСТ 31108–2016). Удельная поверхность 0,3 $м^2/г$;

б) модифицирующие добавки:

– микрокальцит, отход производства при переработке мрамора (мраморная мука), тонкодисперсный порошок, соответствующий ГОСТ Р 56775–2015. Мрамор добывается на Ново-Ивановском карьере вблизи г. Полевского, разрабатываемый ООО «Эверест». Микрокальцит является отходом производства при переработке мрамора. Удельная поверхность 2 $м^2/г$;

– наномодификатор – диоксид кремния Ts38. Наноразмерный диоксид кремния (Таркосил), полученный способом испарения вещества под действием электронного пучка, создаваемого электронным ускорителем, получил название «Ts». Удельная поверхность 38 $м^2/г$ [5];

в) вода затворения (ГОСТ 23732–2011).

Исследования проведены на образцах-кубиках размером 20×20×20 мм из цементного теста нормальной густоты по ГОСТ 31108–2016. Образцы твердели в воздушно-влажных условиях (T = 18–20 °С, W = 90–100 %) и испытывались на прочность через 3, 7 и 28 сут по ГОСТ 310.1–76 «Цементы. Методы испытаний. Общие положения». Фазовый состав образцов исследовался на дифрактометре XRD-60000 на CuK-излучении. Анализ фазового состава проведен с использованием баз данных PCPDFWIN и PDF-4+, а также программы полнопрофильного анализа POWDERCELL 2.5.

Обсуждение результатов

В исследованиях [1] была установлена эффективность влияния микрокальцита как отхода при добыче мрамора на свойства цементного камня. При введении микрокальцита в цементную композицию в количестве 2,5 % от массы цемента прочность цементного камня через 28 сут увеличилась на 45 % по сравнению с контрольным образцом.

Также в работах [10, 11] исследовалось влияние наноразмерного диоксида кремния на основные свойства ЦК (прочность, водопотребность и др.), рациональное соотношение добавки было принято 0,03 % от массы цемента.

Выбор используемых добавок обоснован рабочей гипотезой исследований, которая предполагает, что введение в цементную систему комплексных

добавок, схожих по химическому составу с продуктами гидратации цемента, позволяет направленно воздействовать на микроструктуру цемента и способствовать образованию дополнительного объема низкоосновных гидросиликатов кальция в системе, повышая тем самым эксплуатационные характеристики затвердевшего цементного камня и бетона.

Для определения совместного влияния комплексной модифицирующей добавки (КМД) на физико-механические свойства цементного камня были изготовлены образцы с различным содержание микрокальцита – 2,5; 5; 7,5 и 10 % от массы цемента и наномодификатора в виде диоксида кремния в количестве 0,03 % от массы цемента.

Составы исследуемых образцов и результаты по определению прочности цементного камня при сжатии представлены в табл. 1.

Таблица 1

Составы образцов и результаты исследований

№ состава	Цемент, %	Микрокальцит (МСа), %	Ts38, %	Нормальная густота, %	Прочность при сжатии через 28 сут твердения, МПа
Контрольный	100	–	–	27,5	54,1
1	100	2,5	–	27,9	75,7
2	100	5	–	28,5	92,2
3	100	7,5	–	29,00	93,7
4	100	10	–	29,5	97,15
5	100	2,5	0,03	27,8	84,9
6	100	5	0,03	28,25	99,81
7	100	7,5	0,03	28,50	104
8	100	10	0,03	28,75	107

Анализ полученных данных показал, что добавка МСа повышает прочность цементного камня через 28 сут твердения от 45 до 75 % по сравнению с контрольным образцом. Максимальный прирост прочности при сжатии через 28 сут твердения у состава 8 (на 75 % выше контрольного состава). У состава 6 прирост прочности составил 70 % по сравнению с контрольным составом, при этом снизилась и водопотребность цементного теста. Таким образом, КМД, состоящая из МСа и наноSiO_2, является эффективной.

Важной задачей в производстве строительных материалов является экономия цемента. В работе представлены результаты исследований по возможности снижения расхода цемента в строительной смеси при введении предложенной комплексной добавки. Содержание портландцемента уменьшалось пропорционально количеству введенной комплексной добавки. Для сравнения готовились составы 1–4, где часть цемента пропорционально заменялась микрокальцитом (2,5–10 %), и составы 5–8, где часть цемента пропорционально заменялась комплексной добавкой. У образцов цементного теста размерами 20×20×20 мм нормальной густоты определялась прочность на сжатие через 28 сут. Составы вяжущего и результаты исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2

Составы исследуемых образцов и результаты исследований

№ состава	Цемент, %	Микро-кальцит, %	Ts38, %	Нормальная густота, %	Прочность при сжатии через 28 сут твердения, МПа
Контрольный	100	–	–	27,5	54,1
1	97,5	2,5	–	27,75	56,3
2	95	5	–	28,00	89,7
3	92,5	7,5	–	28,25	91,6
4	90	10	–	28,50	93,8
5	97,5	2,5	0,03	27,20	63,9
6	95	5	0,03	27,25	98,6
7	92,5	7,5	0,03	27,5	97,4
8	90	10	0,03	27,75	99,35

Из результатов, представленных в табл. 2, следует, что с введением микрокальцита водопотребность цементного теста меняется незначительно по сравнению с контрольным образцом, а прочность увеличивается при введении до 10 % микрокальцита от 54,1 до 99,35 МПа. Известно, что показатель водопотребности цементного теста в значительной степени зависит от минералогического состава вяжущего и от дисперсности компонентов цементной смеси [9]. $CaCO_3$ обладает низкой растворимостью, не образует кристаллогидратов, химически не взаимодействует с водой и содержит катионы, входящие в состав большинства клинкерных минералов. Более значительный прирост прочности цементного камня наблюдается при введении комплексной добавки для составов 6, 7, 8 при одновременном снижении расхода цемента. С введением комплексной добавки (микрокальцита 5 % и Ts38 0,03 %) и снижением расхода цемента на 5 % водопотребность теста снижается до 27,25 %, меняется его текстура, а прочность цементного камня повышается до 78 %. Полученный эффект повышения прочности цементного камня с введением комплексной добавки при уменьшении расхода портландцемента сохраняется и на ранних сроках твердения. Результаты испытаний цементного камня на прочность в разные сроки твердения представлены на рис. 1.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что добавка микрокальцита повышает прочность цементного камня на всех сроках твердения (от 3 до 28 сут) по сравнению с контрольным образцом до 78 %. При введении комплексной добавки 5 % микрокальцита и 0,03 % Ts38 с одновременным снижением расхода цемента на 5 % к 28-м сут твердения прочность цементного камня превышает прочность контрольного состава на 78 %.

Для изучения влияния предложенной добавки на процессы структурообразования цементного камня в работе представлены результаты рентгенофазового анализа модифицированных образцов цементного камня (рис. 2, 3).

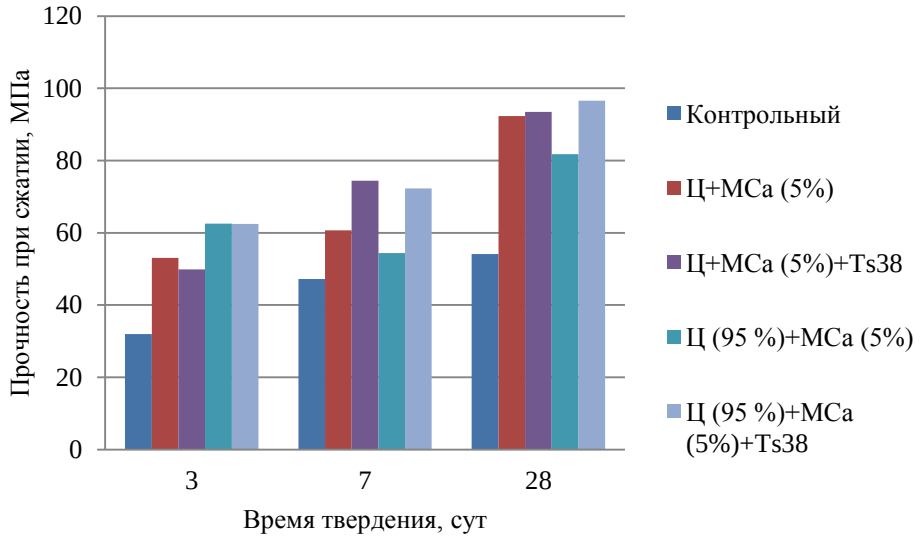


Рис. 1. Прочность при сжатии модифицированного цементного камня добавками на основе микрокальцита

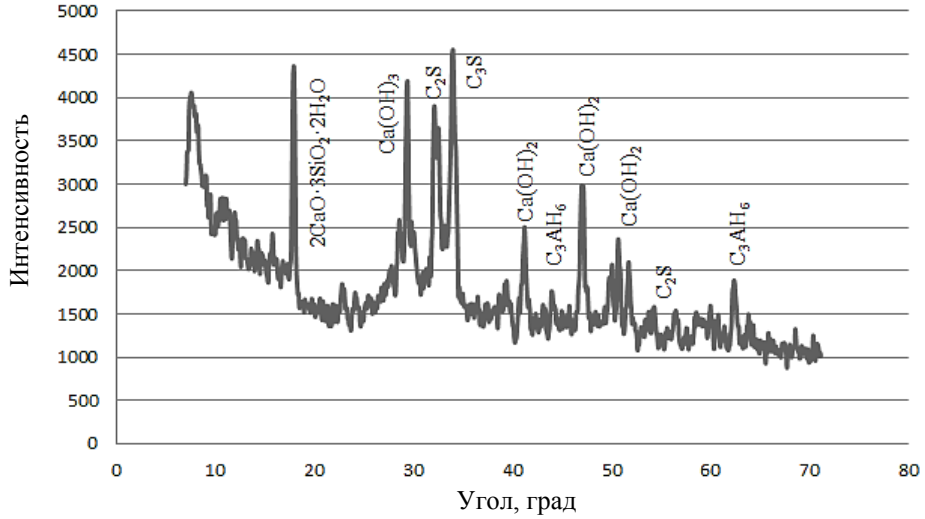


Рис. 2. Рентгенофазовый анализ контрольного образца

Сравнение дифрактограмм (рентгенофазовый анализ) образца контрольного цементного камня и цементного камня с комплексной модифицирующей добавкой подтверждает возможность образования новых кристаллических фаз в модифицированном цементном камне. С введением комплексной добавки на основе наномодифицированного диоксида кремния и микрокальцита в гидратированном цементе идентифицируются дополнительные пики низкоосновных гидросиликатов кальция, сходных по структуре с афвиллитом $C_3S_2H_3$ (1,924 Å). Кроме того, в модифицированном цементном камне появ-

ляются пики тоберморитоподобных соединений $C_5S_6H_5$ (3,02; 3,34; 2,61 Å), а также соединений, сходных по структуре с минералом гиролитовой группы трускоттитом $C_6S_{10}H_3$ (1,762 Å), гидрокарбоалюминат кальция и таумасит, что, возможно, и обеспечивает повышение прочности цементного камня.

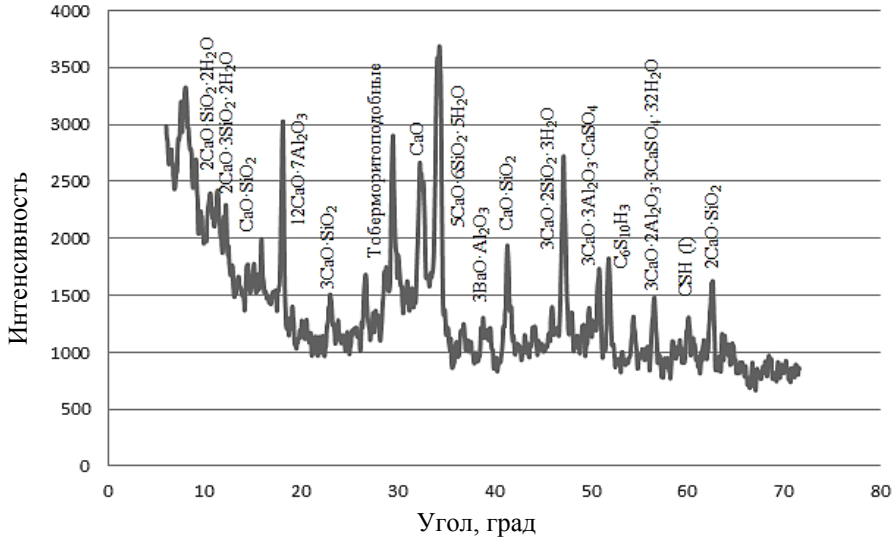


Рис. 3. Рентгенофазовый анализ образца, модифицированного комплексной добавкой

Интенсивность пиков $Ca(OH)_2$ в модифицированном цементном камне снизилась по сравнению с контрольным образцом. В цементных композициях частицы микрокальцита могут служить дополнительными центрами кристаллизации. Причиной химической активности карбонатных пород является образование в системе «карбонат – цемент» гидрокарбоалюмината кальция $3CaO·Al_2O_3·CaCO_3·11H_2O$, гидрокарбоната кальция $CaCO_3·Ca(OH)_2·H_2O$, гидросульфо-карбосиликата кальция (таумасит) $CaO·SiO_2·CaSO_4·CaCO_3·15H_2O$. Формирование дополнительного объема низкоосновных гидросиликатов кальция в модифицированном цементном камне обусловлено связыванием оксидов кальция, присутствующего в микрокальците и SiO_2 в нанодисперсном состоянии в системе «цемент – вода», что приводит к синергетическому эффекту в предложенной комплексной добавке.

Выводы

Проведенные исследования являются актуальными, т. к. предложенная авторами комплексная модифицирующая добавка, включающая отходы производства мрамора и нанодиоксида кремния, значительно улучшает эксплуатационные характеристики строительных смесей на основе цемента, а также позволяет снизить расход вяжущего.

Показано, что введение комплексной добавки с заменой цемента на 5 % позволяет увеличить прочность на сжатие цементного камня до 78 %. С введением комплексной добавки на основе наномодифицированного диок-

сида кремния и микрокальцита в гидратированном цементе идентифицируются дополнительные пики низкоосновных гидросиликатов кальция. Формирование дополнительного количества низкоосновных гидросиликатов кальция обусловлено связыванием оксидов кальция, присутствующего в микрокальците и SiO_2 в нанодисперсном состоянии в системе «цемент – вода».

Библиографический список

1. *Демьяненко О.В., Куликова А.А.* Эффективность применения микрокальцита в производстве цементных композиций на цементной основе // Избранные доклады IV Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы» (МНТ-2017). 2017. С. 39–41.
2. *Строительный мир*. URL : http://chem.eurohim.ru/main/div/dsss/modsh?s=2&g=40
3. *Лхасаранов С.А.* Модифицированный бетон на композиционных вяжущих с применением нанокремнезема: дис. … канд. техн. наук. Улан-Удэ : ВСГУТУ, 2013.
4. *Урханова Л.А., Лхасаранов С.А., Бардаханов С.П.* Модифицированный бетон с нанодисперсными добавками // Строительные материалы. 2014. № 8. С. 52–55.
5. *Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Демьяненко О.В.* Применение нанодисперсного кремнезема в производстве строительных смесей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 5 (58). С. 140–150.
6. *Космачев П.В., Демьяненко О.В., Копаница Н.О., Скрипникова Н.К., Власов В.А.* Композиционные материалы на основе цемента с нанодисперсным диоксидом кремния // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 4 (63). С. 139–146.
7. *Demyanenko O.V., Kopanitsa N.O., Sarkisov Y.S., Abzaev Y.A., Ikonnikova K.V., Ikonnikova L.F.* Quantitative phase analysis of modified hardened cement paste // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. № 87 (9) [092008] DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/9/092008
8. *Абзаев Ю.А., Копаница Н.О., Клименов В.А. и др.* Моделирование структурного состояния аморфного Таркосила // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 3. С. 121–133.
9. *Баженов Ю.М.* Технология бетона. Москва : Изд-во АСВ, 2002. 500 с.
10. *Демьяненко О.В.* Закономерности повышения прочности цементного камня при введении нанодиоксида кремния с разной степенью дисперсности // Перспективы развития фундаментальных наук : сб. научных трудов XIV Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. 2017. С. 80–82.
11. *Копаница Н.О., Саркисов Ю.С., Демьяненко О.В.* Применение нанодисперсного кремнезема в производстве строительных смесей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 5 (58). С. 140–150.

References

1. *Dem'yanenko O.V., Kulikova A.A.* Effektivnost' primeneniya mikrokal'cita v proizvodstve cementnyh kompozicij na cementnoj osnove [Microcalcite effectiveness in cement mix production]. In: Molodezh', nauka, tekhnologii: novye idei i perspektivy. Izbrannye doklady IV Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii studentov i molodyh uchenyh (*Proc. 4th Int. Sci. Conf. 'Youth, Science, Solutions: Ideas and Prospects'*). 2017. Pp. 39–41 (rus)
2. Stroitel'nyj mir [Building world] Available: http://chem.eurohim.ru/main/div/dsss/modsh?s=2&g=40 / (accessed August 11, 2019) (rus)
3. *Lhasaranov S.A.* Modificirovannyj beton na kompozicionnyh vyazhushchih s primeneniem nanokremnezema [Modified concrete with composite binders and nanosilica. PhD Thesis]. Ulan-Ude: VSGUTU, 2013. (rus)
4. *Urukhanova L.A., Lkhasaranov S.A., Bardakhanov S.P.* Modifitsirovannyi beton s nanodispersnymi dobavkami [Concrete modified by nanodisperesed additives]. *Stroitel'nye materialy*. 2014. No 8. Pp. 52–55. (rus)

5. *Kopanica N.O., Sarkisov YU.S., Dem'yanenko O.V.* Primenenie nanodispersnogo kremnezema v proizvodstve stroitel'nyh smesej [Nanodispersed Silicon Dioxide Used in the Production of Mix Mortars]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 5 (58). Pp. 140–150 (rus)
6. *Kosmachev P.V., Dem'yanenko O.V., Kopanica N.O., Skripnikova N.K., Vlasov V.A.* Kompozicionnye materialy na osnove cementa s nanodispersnym dioksidom kremniya [Composite Materials Based on Cement With Nanodispersed Silicon Dioxide]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2017. No. 4 (63). Pp. 139–146. (rus)
7. *Demyanenko O.V., Kopanitsa N.O., Sarkisov Y.S., Abzaev Y.A., Ikonnikova K.V., Ikonnikova L.F.* Quantitative phase analysis of modified hardened cement paste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017. No. 87(9) [092008]. DOI: https://doi.org/10.1088/1755-1315/87/9/092008
8. *Abzaev Yu.A., Kopanica N.O., Klimenov V.A.* Modelirovanie strukturnogo sostoyaniya amorfnogo Tarkosila [Structural state modeling of amorphous Tarkosil]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 3. Pp. 121–133. (rus)
9. *Bazhenov Yu.M.* Tekhnologiya betona [Concrete technology]. Moscow: ASV, 2002. 500 p. (rus)
10. *Dem'yanenko O.V.* Zakonomernosti povysheniya prochnosti tsementnogo kamnya pri vvedenii nanodioksida kremniya s raznoi stepen'yu dispersnosti [Cement stone strength improved by introduction of silicon dioxide nanoparticles with of different dispersion]. In: Perspektivy razvitiya fundamental'nykh nauk: sb. nauchnykh trudov XIV Mezhdunarodnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh (*Proc. 14th Int. Conf. of Students and Young Scientists "Prospects of Fundamental Sciences Development"*). 2017. Pp. 80–82. (rus)
11. *Kopanitsa N.O., Sarkisov Yu.S., Dem'yanenko O.V.* Primenenie nanodispersnogo kremnezema v proizvodstve stroitel'nykh smesei [Application of nanodispersed silica in the production of building mixtures]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2016. No. 5 (58). Pp. 140–150. (rus)

Сведения об авторах

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

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

Сорокина Екатерина Александровна, аспирант, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, rtak.5@mail.ru

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

Authors Details

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

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

Ekaterina A. Sorokina, Research Assistant, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, rtak.5@mail.ru

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

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 631.344.8 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-149-161

М.В. ПАВЛОВ, Д.Ф. КАРПОВ,
Вологодский государственный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕПЛОВУЮ МОЩНОСТЬ ЛУЧИСТО-КОНВЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗИМНЕЙ ТЕПЛИЦЫ

Как показала практика, традиционные системы отопления зимних теплиц (водяные, воздушные) являются малоэффективными с энергетической и экономической точек зрения. В связи с этим особый интерес в сельском хозяйстве представляют инновационные технологии в теплообеспечении культивационных сооружений. Использование геотермальных источников энергии, биотоплива, тепловых насосов и т. п. для обогрева теплиц не всегда оправданно, т. к. целесообразность их применения зависит от месторасположения объекта, факторов окружающей среды и т. д. Поэтому в настоящей работе рассмотрен вариант комбинированного отопления, включающий в себя конвективный обогрев помещения теплицы и поддержание заданного теплового режима почвы с помощью потолочных инфракрасных излучателей.

Цель работы: на основе разработанного метода расчета лучисто-конвективного отопления теплицы исследовать влияние температуры наружного воздуха, теплозащитных качеств ограждения теплицы и поглощательной способности поверхности почвы на расчетную тепловую мощность системы обогрева.

Метод расчета: система взаимосвязанных уравнений теплового и материального балансов теплицы, ее ограждения и поверхности почвы.

Результаты исследований: расчетные зависимости суммарной тепловой мощности, а также отдельно конвективной и лучистой составляющих от температуры наружного воздуха, термического сопротивления ограждения и коэффициента поглощения поверхности почвы.

Практическая значимость: полученные закономерности позволят в дальнейшем оценить эффективность применения лучисто-конвективной системы отопления зимней теплицы для конкретных климатических условий.

Новизна: метод расчета учитывает многократное отражение теплового излучения, идущего от инфракрасного излучателя, влияние массообменных процессов, происходящих в теплице, на потребление тепловой энергии, а также поглощательную способность поверхности почвы.

Ключевые слова: лучисто-конвективное отопление; инфракрасный излучатель; отопительный прибор; почва; теплица.

© Павлов М.В., Карпов Д.Ф., 2019

Для цитирования: Павлов М.В., Карпов Д.Ф. Исследование влияния различных факторов на тепловую мощность лучисто-конвективной системы отопления зимней теплицы // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 149–161.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-149-161

M.V. PAVLOV, D.F. KARPOV,
Vologda State University

INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON RADIANT AND CONVECTION HEATING OF GREENHOUSE

The traditional heating of greenhouses (based on liquid or air) lacks efficiency, when it concerns energy-saving or economic expenditures. The agricultural industry is therefore interested in the innovative approach to the power supply of greenhouses. The use of geothermal sources, biofuel, heating pumps and other conventional greenhouse heating methods is not always reasonable, as their application depends on location of an object, ecological factors and others. This research investigates a complex heating, when convection heating of the greenhouse territory is maintained by temperature using ceiling infrared radiators.

The aim of the paper is to study the influence of the outdoor air temperature, thermal properties of the perimeter walls and soil surface absorbing capacity on the heating power of a greenhouse within the proposed method of radiant and convection heating.

A system of complex heat- and material-balance equations is used to calculate the greenhouse perimeter walls and the soil surface.

The research results show the dependency of the total heating power when calculated with regard to the outdoor temperature, heat resistance properties of the perimeter walls and the soil surface absorbing capacity.

The results obtained can be used to justify the efficiency of the radiant and convection heating of the greenhouse in specific climatic conditions.

The scientific novelty of the paper is the proposed method of calculating which accounts of multiple heater reflection, the influence of the mass-exchange process inside the greenhouse as well as the absorbing soil properties.

Keywords: radiant and convection heating; infrared emitter; heater; soil; greenhouse.

For citation: Pavlov M.V., Karpov D.F. Issledovanie vliyaniya razlichnykh faktorov na teplovuyu moshchnost" luchisto-konvektivnoi sistemy otopleniya zimnei teplitsy [Influence of various factors on radiant and convection heating of greenhouse]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 149–161.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-149-161

Введение

Рациональное потребление невозобновляемых топливно-энергетических ресурсов в России и за рубежом касается не только промышленности, жилищно-коммунального сектора, транспорта, энергетики и др., но и сельского хозяйства. В этой приоритетной отрасли экономики любого государства большое количество энергоносителей расходуется на нужды теплообеспечения культивационных сооружений, к которым, прежде всего, относятся зимние теплицы, предназначенные для круглогодичного выращивания растений в закрытом

грунте [1]. Затраты на нужды отопления примерно составляют 30–60 % от общих производственных затрат [2]. Для решения данной проблемы современные теплицы должны [3]:

– иметь оптимальные объемно-планировочные решения (например, зимние теплицы рекомендуется ориентировать коньками в направлении восток-запад, использовать неравные углы наклона кровли и т. п.);

– обладать высокими теплозащитными свойствами;

– максимально использовать солнечную энергию;

– иметь эффективную систему отопления в холодный период года и т. д.

В качестве системы обогрева зимней теплицы на практике используются следующие виды отопления [4]: водяное; воздушное; электрическое; солнечное; биологическое (обогрев корневой системы растений осуществляется за счет разложения органических веществ).

Водяное и воздушное отопление являются традиционными способами обогрева теплиц. К присущим им недостаткам относятся габаритность конструкции, инерционность, значительные утечки воды при транспортировке теплоносителя от источника тепловой энергии до потребителя, избыточные тепловые потери в трубопроводной сети, сложность или невозможность автоматизации системы и т. д. Несмотря на существующие инновационные технологии в теплообеспечении зимних теплиц, к которым можно отнести использование солнечной энергии (гелиотеплицы) [5, 6], тепловых насосов [7, 8], геотермальных источников энергии [9, 10] и др., в данной работе рассмотрен вариант комбинированной системы отопления, включающей в себя конвективный обогрев помещения с помощью отопительных приборов и лучистый – с применением в качестве источников теплоты потолочных инфракрасных излучателей. Такая система отопления экономичнее водяной или воздушной на 30–50 % [11]. За счет применения систем лучистого обогрева без промежуточных теплоносителей появляется реальная возможность увеличить коэффициент использования топлива в 1,5–2 раза. Работа излучателей основана на генерации инфракрасных волн, максимально близких к естественному солнечному обогреву в южных широтах. Они могут быть использованы для выращивания цветов и многолетних растений [12], как, например, в Secor farms (г. Махва, шт. Нью-Джерси, США), овощей и т. п. В случае применения газовых установок лучистого обогрева расходы на содержание, обслуживание и ремонт оборудования невелики. Система газового инфракрасного обогрева также является оптимальной для рассадных отделений теплиц [13].

Отопление зимней теплицы предназначено для формирования необходимого теплового режима. В отличие от жилых и общественных зданий микроклимат в теплице определяется не только температурой и относительной влажностью внутреннего воздуха [14], но и температурой грунта. В таблице в качестве примера представлены требуемые параметры микроклимата в овощных теплицах круглогодичного использования до плодоношения[1].

[1] РД-АПК 1.10.09.01-14. Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады.

Температурно-влажностный режим теплицы (до плодоношения)

Культура	Температура воздуха, °С			Температура грунта, °С	Относительная влажность воздуха, %
	День		Ночь		
	Солнечно	Пасмурно			
Огурец (зимне-весенний оборот)	22–24	20–22	17–18	20–24	70–75
Огурец (осенний оборот)	25–26	22–23	19–20	22–24	70–75
Томат (зимне-весенний оборот)	22–24	19–20	16–17	18–20	60–65
Томат (осенний оборот)	24–26	18–20	16–18	18–19	60–70
Салат кочанный	20–23	16–18	10	15–16	70–80
Редис	20–22	7–9	5–6	15–16	60–70
Укроп, шпинат	17–18	8–12	5–6	15–16	65–80

Метод расчета

На рис. 1 изображена принципиальная схема лучисто-конвективного отопления зимней теплицы.

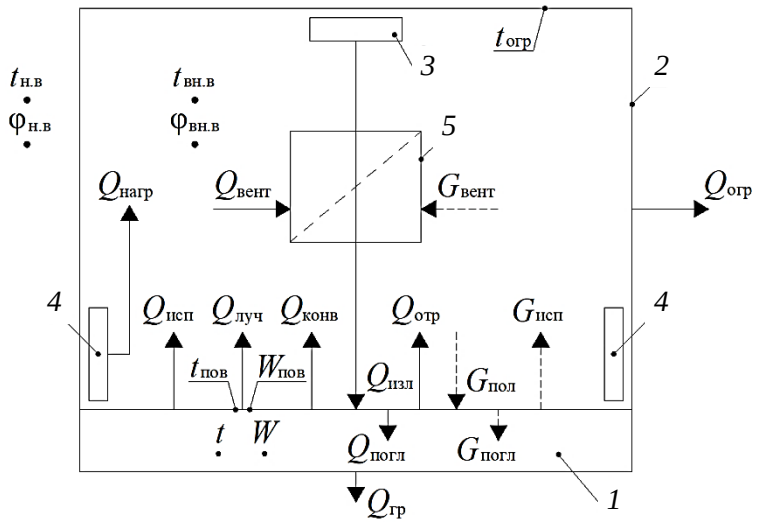


Рис. 1. Расчетная схема лучисто-конвективного отопления теплицы:
1 – почва; *2* – ограждение; *3* – источник инфракрасного излучения (излучатель); *4* – отопительные приборы; *5* – вентиляционный проем (приточный, вытяжной)

Поток теплового излучения $Q_{изл}$, Вт, идущий от излучателя *3*, падает на поверхность почвы *1* с температурой $t_{пов}$, °С. Тепловой поток $Q_{погл}$, поглощенный почвой *1*, расходуется на конвективный теплообмен с внутренним

воздухом теплицы $Q_{\text{конв}}$, на лучистый теплообмен с внутренней поверхностью ограждения *2* $Q_{\text{луч}}$, имеющей температуру $t_{\text{огр}}$, и на испарение влаги $Q_{\text{исп}}$. Часть теплоты величиной $Q_{\text{гр}}$ уходит безвозвратно в глубинные горизонты грунта. Тепловые потери в теплице также связаны с теплопередачей через ограждение *2* $Q_{\text{огр}}$ и с воздухообменом в помещении $Q_{\text{вент}}$, осуществляемым благодаря работе вентиляторов (условно не показаны) и системе приточно-вытяжных вентиляционных проемов *5*. Отраженный от поверхности почвы *1* тепловой поток $Q_{\text{отр}}$ в ходе многократных отражений и самооблучений поглощается ограждением *2* теплицы. С целью поддержания заданного теплового режима в теплице (таблица) часть теплоты величиной $Q_{\text{нагр}}$ внутренний воздух помещения получает от отопительных приборов *4*.

При поливе почвы водой в объеме $G_{\text{пол}}$, кг/с, происходит поглощение влаги растениями (листьями и корневой системой, условно не показаны) $G_{\text{погл}}$. Влага расходом $G_{\text{исп}}$, испарившаяся с поверхности почвы *1*, уходит из теплицы в количестве $G_{\text{вент}}$ вместе с вытяжным воздухом через вытяжной вентиляционный проем *5*. Влагосодержание почвы *1* поддерживается постоянным и равным на ее поверхности $W_{\text{пов}}$, кг/кг.

Температура и относительная влажность воздуха в теплице соответственно равны $t_{\text{вн.в}}$, °С, и $\varphi_{\text{вн.в}}$, %, те же параметры для наружного воздуха соответственно составляют $t_{\text{н.в}}$ и $\varphi_{\text{н.в}}$.

В соответствии с расчетной схемой (рис. 1) уравнение теплового баланса теплицы можно записать следующим образом:

$$Q_{\text{изл}} + Q_{\text{нагр}} = Q_{\text{огр}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{гр}}, \qquad (1)$$

где $Q_{\text{изл}}$ – лучистый тепловой поток, идущий от излучателя *3*, Вт; $Q_{\text{нагр}}$ – конвективный тепловой поток, идущий от отопительных приборов *4*, Вт; $Q_{\text{огр}}$ – потери теплоты теплопередачей через ограждение *2* теплицы, Вт; $Q_{\text{вент}}$ – потери теплоты с вентиляционным воздухом, уходящим из теплицы через вытяжной вентиляционный проем *5*, Вт; $Q_{\text{гр}}$ – потери теплоты в глубинные горизонты грунта, Вт.

Потери теплоты через ограждение *2* теплицы могут быть найдены по уравнению теплопередачи:

$$Q_{\text{огр}} = \frac{t_{\text{вн.в}} - t_{\text{н.в}}}{R_t} F_{\text{огр}} \left(1 + \beta_{\text{инф}}\right), \qquad (2)$$

где $t_{\text{вн.в}}$ – температура внутреннего воздуха, °С; $t_{\text{н.в}}$ – температура наружного воздуха, °С; R_t – сопротивление теплопередаче ограждения *2* теплицы, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; $F_{\text{огр}}$ – суммарная площадь ограждения *2* теплицы, м^2; $\beta_{\text{инф}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные затраты тепловой энергии на нагрев инфильтрующегося воздуха, обычно принимается равным 0,2 [15].

Потери теплоты с уходящим вентиляционным воздухом численно равны расходу теплоты на нагрев воздуха, поступающего из окружающей среды в теплицу через приточный вентиляционный проем *5*:

$$Q_{\text{вент}} = G_{\text{в}}\left(h_{\text{вн.в}} - h_{\text{н.в}}\right), \qquad (3)$$

где $G_{\text{в}}$ – массовый расход сухой части влажного воздуха, участвующего в воздухообмене в теплице, кг/с; $h_{\text{вн.в}}$ и $h_{\text{н.в}}$ – соответственно удельная энтальпия внутреннего и наружного влажного воздуха, Дж/кг.

Рассмотрим вариант принудительной системы вентиляции теплицы с механическим побуждением за счет работы вентиляторов. В этом случае расход сухой части воздуха будет определяться по формуле

$$G_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{н.в}} n_{\text{в}} F_{\text{пов}}}{60}, \qquad (4)$$

где $\rho_{\text{н.в}}$ – плотность сухой части наружного воздуха, кг/м^3; $n_{\text{в}}$ – нормативная кратность воздухообмена, м^3/ч на 1 м^2 расчетной площади. Для индивидуальных теплиц кратность воздухообмена должна составлять не менее 1,0 м^3/мин на 1 м^2 площади теплицы; для промышленных теплиц блочного типа – 1,5 м^3/мин; для ангарных теплиц – 2,0 м^3/мин, по данным [15]; $F_{\text{пов}}$ – площадь поверхности почвы *1*, м^2.

Потери теплоты в грунт упрощенно вычисляются по уравнению

$$Q_{\text{гр}} = \left(t_{\text{вн.в}} - t_{\text{н.в}}\right)\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{F_i}{R_i}\right), \qquad (5)$$

где F_i – расчетная площадь *i*-й зоны грунта в теплице при их общем количестве n, м^2; R_i – сопротивление теплопередаче *i*-й зоны грунта в теплице при их общем количестве n, м$^2 \cdot$К/Вт. Для первой зоны сопротивление теплопередаче равно $R_{\text{I}} = 2{,}1$ м$^2 \cdot$К/Вт; для второй – $R_{\text{II}} = 4{,}3$ м$^2 \cdot$К/Вт; для третьей – $R_{\text{III}} = 8{,}6$ м$^2 \cdot$К/Вт; для четвертой – $R_{\text{IV}} = 14{,}2$ м$^2 \cdot$К/Вт.

Для расчета тепловой мощности системы лучисто-конвективного отопления зимней теплицы, помимо формулы (2), необходимо дополнительное уравнение теплового баланса ограждения *2* теплицы, которое учитывает влияние инфракрасного излучения, идущего от источника теплоты *3*:

$$Q_{\text{огр}} = \left(1 - \frac{A_1}{1 - k_{\text{отр}}}\right)Q_{\text{изл}} + Q_{\text{луч}} + Q_{\text{конв2}}, \qquad (6)$$

где $k_{\text{отр}} = \left(1 - A_1\right)\left(1 - A_2\right)\dfrac{\varphi_{21}}{1 - \varphi_{22}\left(1 - A_2\right)}$ – коэффициент, учитывающий многократное отражение теплового излучения от поверхности почвы *1* и внутренней поверхности ограждения *2* теплицы; A_1 и A_2 – соответственно коэффициенты поглощения поверхности почвы *1* и внутренней поверхности огражде-

ния *2* теплицы; φ_{21} – коэффициент облученности с внутренней поверхности ограждения *2* теплицы на поверхность почвы *1*; φ_{22} – коэффициент самооблученности внутренней поверхности ограждения *2* теплицы; $Q_{\text{луч}}$ – результирующее тепловое излучение между поверхностью почвы *1* и внутренней поверхностью ограждения *2* теплицы, Вт; $Q_{\text{конв2}}$ – конвективная составляющая теплообмена между внутренним воздухом и внутренней поверхностью ограждения *2* теплицы, Вт.

Тепловой поток излучением между поверхностью почвы *1* и внутренней поверхностью ограждения *2* теплицы при условии, что $t_{\text{пов}} > t_{\text{огр}}$ и $\varphi_{12} = 1$ (все тепловое излучение, идущее с поверхности почвы *1*, полностью попадает на внутреннюю поверхность ограждения *2* теплицы), определяется по формуле

$$Q_{\text{луч}} = c_0 \varepsilon_{\text{пр12}} F_{\text{пов}} \left[\left(\frac{T_{\text{пов}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{огр}}}{100} \right)^4 \right], \qquad (7)$$

где c_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $5{,}67$ $\text{Вт}/\left(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4\right)$; $\varepsilon_{\text{пр12}}$ – приведенный относительный коэффициент теплового излучения поверхности почвы *1* и внутренней поверхности ограждения *2* теплицы; $T_{\text{пов}} = t_{\text{пов}} + 273{,}15$ и $T_{\text{огр}} = t_{\text{огр}} + 273{,}15$ – соответственно абсолютная температура поверхности почвы *1* и внутренней поверхности ограждения *2*, К.

Конвективная составляющая теплообмена между внутренним воздухом и внутренней поверхностью ограждения *2* теплицы рассчитывается по закону конвективного теплообмена Ньютона – Рихмана:

$$Q_{\text{конв2}} = \alpha_{\text{вн}} \left(t_{\text{вн.в}} - t_{\text{огр}} \right) F_{\text{огр}}, \qquad (8)$$

где $\alpha_{\text{вн}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения *2* теплицы, $\text{Вт}/\left(\text{м}^2 \cdot \text{К}\right)$.

Уравнение теплового баланса поверхности почвы *1* в теплице (рис. 1) будет иметь вид

$$\frac{A_1 Q_{\text{изл}}}{1 - k_{\text{отр}}} = Q_{\text{луч}} + Q_{\text{конв1}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{гр}}, \qquad (9)$$

где $Q_{\text{конв1}}$ – тепловой поток, вызванный конвективным теплообменом между поверхностью почвы *1* и приземным слоем воздуха в теплице (на рис. 1 обозначен как $Q_{\text{конв}}$), Вт; $Q_{\text{исп}}$ – тепловой поток, расходуемый на испарение влаги с поверхности почвы *1*, Вт.

Конвективный теплообмен между поверхностью почвы *1* и приземным слоем воздуха в теплице определяется также по закону Ньютона – Рихмана:

$$Q_{\text{конв1}} = \alpha_{\text{к}} \left(t_{\text{пов}} - t_{\text{вн.в}} \right) F_{\text{пов}}, \qquad (10)$$

где $\alpha_{\text{к}}$ – коэффициент теплоотдачи поверхности почвы *1*, $\text{Вт}/\left(\text{м}^2 \cdot \text{К}\right)$.

Тепловой поток, связанный с процессом парообразования на поверхности почвы *1*, рассчитывается по уравнению

$$Q_{\text{исп}} = G_{\text{исп}} r, \qquad (11)$$

где $G_{\text{исп}}$ – испарение влаги с поверхности почвы *1*, кг/с; r – удельная теплота фазового превращения (перехода), Дж/кг.

Результаты исследований

Рассмотрим на примере промышленной теплицы «Фермер 7.5» (рис. 2) влияние различных факторов на величину тепловой мощности системы лучисто-конвективного отопления культивационного сооружения.

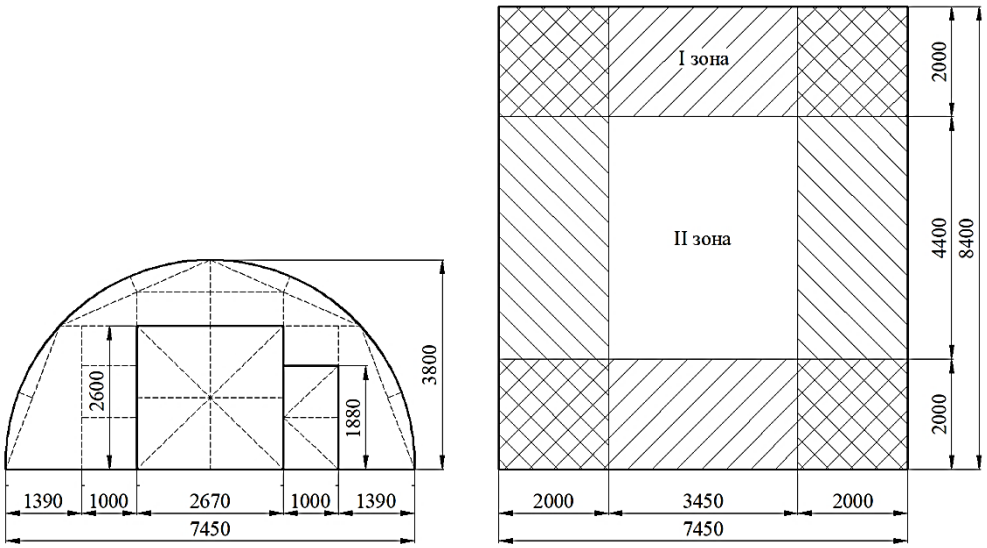


Рис. 2. Промышленная теплица «Фермер 7.5» и схема разбивки грунта на зоны

Исходные данные для выполнения расчета:

1. Размеры (габариты) теплицы: ширина $a = 7{,}45$ м; длина $b = 8{,}40$ м; высота $h = 3{,}80$ м.

2. Параметры поверхности почвы (огурцы до плодоношения в зимне-весенний оборот, согласно данным таблицы): температура $t_{\text{пов}} = 20$ °С; коэффициент поглощения $A_1 = 0{,}65$ (коэффициент отражения $R_1 = 0{,}35$); коэффициент теплового излучения (степень черноты) $\varepsilon_1 = A_1 = 0{,}65$.

3. Параметры ограждения: материал – сотовый поликарбонат с термическим сопротивлением ограждения $R_{\text{огр}} = 0{,}25$ м$^2 \cdot$К/Вт; коэффициент поглощения $A_2 = 0{,}94$ (коэффициент отражения $R_2 = 0{,}06$); коэффициент теплового излучения (степень черноты) $\varepsilon_2 = A_2 = 0{,}94$.

4. Расчетные параметры внутреннего воздуха (таблица): температура $t_{\text{вн.в}} = 22$ °С; относительная влажность $\varphi_{\text{вн.в}} = 70$ %.

5. Расчетные параметры наружного воздуха для условий г. Вологды[2]: температура $t_{\text{н.в}} = -32$ °С; относительная влажность $\varphi_{\text{н.в}} = 85$ %.

6. Параметры вентиляции: принудительная вентиляция с механическим побуждением; кратность воздухообмена $n_{\text{в}} = 1{,}0$ м^3/мин.

7. Параметры орошения: коэффициент орошения почвы $k_{\text{ор}} = 1$ (орошается вся поверхность почвы в теплице).

На рис. 3 показана зависимость расчетной тепловой мощности системы лучисто-конвективного отопления зимней теплицы (рис. 2) от температуры наружного воздуха $t_{\text{н.в}}$, °С, в течение отопительного сезона.

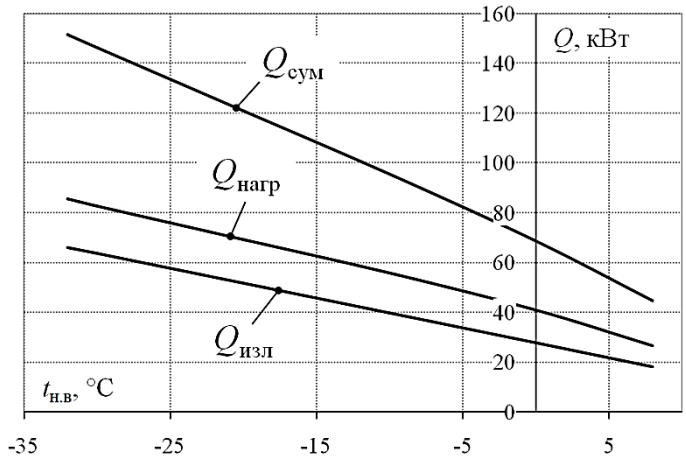


Рис. 3. Тепловая мощность системы отопления вида $Q = Q(t_{\text{н.в}})$

Как видно из рис. 3, с повышением температуры наружного воздуха $t_{\text{н.в}}$, °С, происходит уменьшение суммарной тепловой мощности системы лучисто-конвективного отопления $Q_{\text{сум}}$, Вт. Это связано с тем, что с повышением температуры $t_{\text{н.в}}$ закономерно уменьшаются тепловые потери теплопередачей через ограждение теплицы $Q_{\text{огр}}$ на нужды воздухообмена $Q_{\text{вент}}$ и в грунт $Q_{\text{гр}}$. В соответствии с уравнением теплового баланса теплицы (1) расчетная тепловая мощность отопительной системы должна быть уменьшена.

Зависимость между расчетной тепловой мощностью системы лучисто-конвективного отопления зимней теплицы и термическим сопротивлением ограждения $R_{\text{огр}}$, м$^2 \cdot$К/Вт, представлена на рис. 4.

Термическое сопротивление ограждения $R_{\text{огр}}$, м$^2 \cdot$К/Вт, играет важную роль в создании требуемого микроклимата в теплице. Применение сверхтонких светопрозрачных укрывных материалов в холодный период года, особенно для северных регионов страны с суровым климатом, нецелесообразно. Ограждение

[2]СП 131.13330.2012. Строительная климатология.

теплицы является одной из главных проблем в строительстве культивационных сооружений с точки зрения энергосбережения, т. к. оно должно одновременно эффективно пропускать солнечный свет (иметь высокий коэффициент светопропускания) и выполнять свои теплозащитные функции. Даже современные материалы, такие как сотовый поликарбонат с закрытой ячеистой структурой (сотами), обладают сравнительно невысокими теплоизоляционным качествами (например, при значительной толщине листа сотового поликарбоната $\delta = 32$ мм значение $R_{\text{огр}}$ не превышает 0,83 $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$). В соответствии с рис. 4 увеличение термического сопротивления $R_{\text{огр}}$ ведет к снижению расчетной тепловой мощности системы отопления. Стоит отметить, что суммарный тепловой поток $Q_{\text{сум}}$, Вт, уменьшается не так интенсивно, как ожидалось. Это связано с тем, что при расчетной температуре наружного воздуха $t_{\text{н.в}} = -32$ °С основная часть теплоты расходуется на нужды вентиляции с целью организации необходимого воздухообмена в помещении. Кроме того, происходит постепенное перераспределение тепловой нагрузки на отопление: для получения суммарной тепловой мощности $Q_{\text{сум}}$ при снижении лучистой составляющей $Q_{\text{изл}}$ наблюдается заметный рост $Q_{\text{нагр}}$.

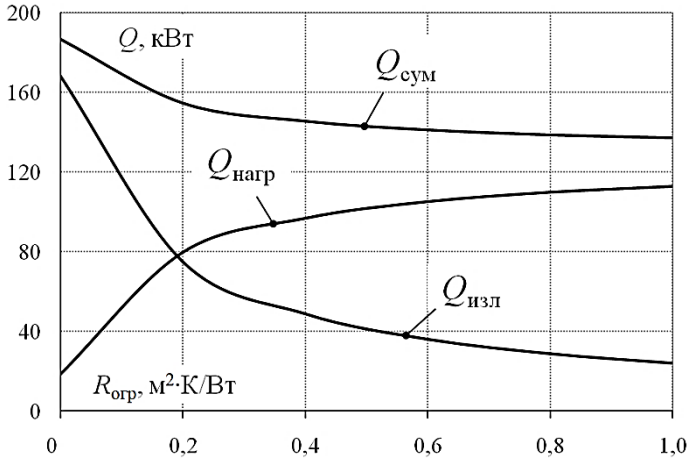


Рис. 4. Тепловая мощность системы отопления вида $Q = Q(R_{\text{огр}})$

Влияние на тепловой и материальный балансы почвы, а значит, и теплицы в целом при отоплении оказывает способность поверхности почвы поглощать (или отражать) тепловую энергию. На рис. 5 показана зависимость тепловой мощности системы лучисто-конвективного отопления зимней теплицы от коэффициента поглощения поверхности почвы A, %.

Суммарная тепловая мощность системы лучисто-конвективного отопления зимней теплицы не зависит от поглощательной способности поверхности почвы. Как известно, отопление предназначено для компенсации тепловых потерь в окружающую среду с целью поддержания заданного микроклимата в помещении (таблица).

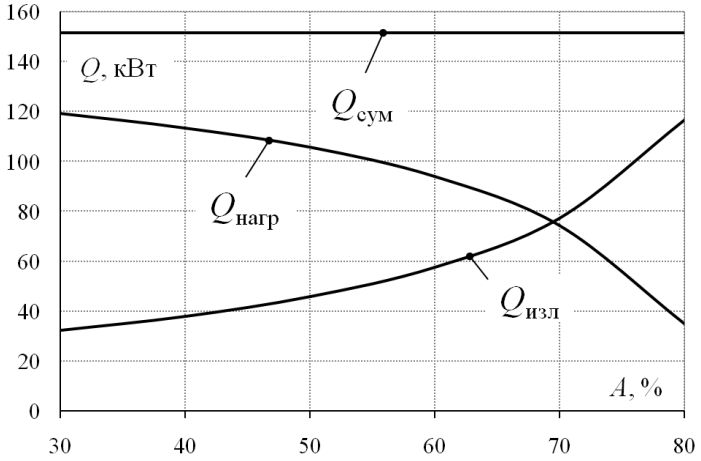


Рис. 5. Тепловая мощность системы отопления вида $Q = Q(A)$

Тепловые потоки $Q_{\text{огр}}$, Вт, $Q_{\text{вент}}$ и $Q_{\text{гр}}$ не зависят от коэффициента поглощения A, %, и их значения в данном случае остаются постоянными. Тогда в соответствии с уравнением (1) расчетная тепловая мощность должна быть также неизменной величиной. С целью поддержания требуемой температуры внутреннего воздуха и грунта тепловая мощность $Q_{\text{изл}}$, согласно формуле (6), должна увеличиваться при росте коэффициента поглощения A. При постоянной суммарной тепловой мощности системы отопления $Q_{\text{сум}}$ увеличение лучистой составляющей $Q_{\text{изл}}$ закономерно ведет к уменьшению тепловой мощности конвективного обогрева помещения $Q_{\text{нагр}}$.

Заключение

Полученные закономерности изменения расчетной тепловой мощности системы лучисто-конвективного отопления зимней теплицы от ряда ключевых факторов позволяют оценить целесообразность применения данного способа обогрева для конкретно заданных климатических условий. Кроме того, на основе построенных зависимостей возможно создание инженерной методики расчета комбинированной системы отопления, т. к. программный расчет требует определенного количества времени и соответствующего уровня квалификации специалиста. Данная методика может включать в себя график для нахождения базовой величины тепловой мощности системы отопления, а также ряд вспомогательных закономерностей с целью определения корректирующих (поправочных) коэффициентов, учитывающих различного рода факторы. Также имеет смысл выполнить оценку энергетической и, как вариант, экономической эффективности применения комбинированной (лучисто-конвективной) системы отопления зимней теплицы в сравнении с традиционном (конвективным) обогревом культивационного сооружения. В рассматриваемом случае целесообразным будет использование в качестве источников теплоты газовых инфракрасных излучателей темного типа.

Библиографический список

1. *Hanan J.J.* Greenhouses: advanced technology for protected horticulture. Colorado: CRC Press, 2017. 684 p.
2. *Липатов А.В., Спиридонова Е.В., Фролов А.Ф.* Повышение эффективности систем отопления теплиц // Инновационные технологии в строительстве, теплогазоснабжении и энергообеспечении : материалы V Международной научно-практической конференции. – Саратов, 2017. С. 108–112.
3. *Кубис В.А., Баканова С.В., Еремкин А.И., Орлова Н.А.* Оценка эффективности системы воздушного отопления в теплице // Градостроительство и архитектура. 2014. № 2 (15). С. 94–98.
4. *Ляшенко Т.А., Черемисина С.А.* Исследование энергоэффективности системы отопления в теплицах для условий Амурской области // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 35. С. 13–17.
5. *Романова М.И., Шерстюков В.В.* Энергоэффективный метод использования излишек тепла солнечного коллектора // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4 (23). С. 84.
6. *Pieters J.G., Deltour J.M.* Modelling solar energy input in greenhouses // Solar Energy. 1999. V. 67. № 1–3. P. 119–130.
7. *Мешков Р.Е., Сатышев А.В.* Применение тепловых насосов в отоплении теплиц // Молодежный вектор развития аграрной науки. 2018. С. 129–133.
8. *Шаталов И.К., Шаталова И.И.* Оценка эффективности применения инновационных технологий для энергообеспечения тепличного комплекса // Вестник Российского университета дружбы народов. 2017. Т. 18. № 2. С. 275–285.
9. *Таймасханов, Х.Э., Заурбеков Ш.Ш., Минцаев М.Ш., Якубов Т.В., Барзаева М.А.* Экономическая целесообразность использования геотермальной энергии для отопления теплиц // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2017. С. 167–172.
10. *Mihalakakou G., Psiloglou B., Santamouris M., Nomidis D.* Application of renewable energy sources in the Greek islands of the south Aegean Sea // Renewable Energy. 2002. V. 26. № 1. P. 1–19.
11. *Беляева Е.А., Хальметов А.А.* Система работы инфракрасного отопления с помощью пленочных электронагревателей // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды. 2019. С. 18–21.
12. *NJ greenhouses bloom* with radiant heating // Engineered Systems. 1999. V. 16. № 1. P. 32–33.
13. *Ловкис В.Б., Деменок Н.А.* Энергосберегающие технологии инфракрасного обогрева // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. 2014. С. 66–71.
14. *Paulauskaite S., Parfentieva N., Valancius K.* Results of the investigation of microclimate created by radiant heating/cooling system // 7th International conference on environmental engineering. 2008. P. 859–863.
15. *Климов В.В.* Оборудование теплиц для подсобных и личных хозяйств. Москва : Энергоатомиздат, 1992. 96 с.

References

1. *Hanan J.J.* Greenhouses: advanced technology for protected horticulture. Colorado: CRC Press, 2017. 684 p.
2. *Lipatov A.V., Spiridonova E.V., Frolov A.F.* Povyshenie effektivnosti sistem otopleniya teplic [Increase of heating efficiency of greenhouses]. *Innovacionnye tekhnologii v stroitel'stve, teplogazosnabzhenii i energoobespechenii*. 2017. Pp. 108–112. (rus)
3. *Kubis V.A., Bakanova S.V., Eremkin A.I., Orlova N.A.* Ocenka effektivnosti sistemy vozdushnogo otopleniya v teplice [Evaluation of air heating efficiency of greenhouses]. *Gradostroitel'stvo i arhitektura*. 2014. No. 2 (15). Pp. 94–98. (rus)
4. *Lyashenko T.A., Cheremisina S.A.* Issledovanie energoeffektivnosti sistemy otopleniya v teplicah dlya uslovij Amurskoj oblasti [Energy efficiency of greenhouse heating in the Amur region]. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2018. No. 35. Pp. 13–17. (rus)

5. *Romanova M.I., Sherstyukov V.V.* Energoeffektivnyj metod ispol'zovaniya izlishek tepla solnechnogo kollektora [Energy-efficient method of using excess heat of solar collector]. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2012. No. 4 (23). P. 84. (rus)
6. *Pieters J.G., Deltour J.M.* Modelling solar energy input in greenhouses. *Solar Energy*. 1999. V. 67. No. 1-3. Pp. 119–130.
7. *Meshkov R.E., Satyshev A.V.* Primenenie teplovyh nasosov v otoplenii teplic [Application of heat pumps in heating of greenhouses]. In: Molodezhnyj vektor razvitiya agrarnoj nauki. 2018. Pp. 129–133. (rus)
8. *Shatalov I.K., Shatalova I.I.* Ocenka effektivnosti primeneniya innovacionnyh tekhnologij dlya energoobespecheniya teplichnogo komplekse [Innovative technologies in energy supply of greenhouses]. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov*. 2017. V. 18. No. 2. Pp. 275–285. (rus)
9. *Tajmaskhanov H.E., Zaurbekov Sh.Sh., Mincaev M.Sh., Yakubov T.V., Barzaeva M.A.* Ekonomicheskaya celesoobraznost' ispol'zovaniya geotermal'noj energii dlya otopleniya teplic [Feasibility of using geothermal heating energy]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: problemy i rezul'taty*. 2017. Pp. 167–172. (rus)
10. *Mihalakakou G., Psiloglou B., Santamouris M., Nomidis D.* Application of renewable energy sources in the Greek islands of the south Aegean Sea. *Renewable Energy*. 2002. V. 26. No. 1. Pp. 1–19.
11. *Belyaeva E.A., Hal'metov A.A.* Sistema raboty infrakrasnogo otopleniya s pomoshch'yu plenochnyh elektronagrevatelej [Infrared heating operation using film electric heaters]. *Innovacii prirodoobustrojstva i zashchity okruzhayushchej sredy*. 2019. Pp. 18–21. (rus)
12. NJ greenhouses bloom with radiant heating. *Engineered Systems*. 1999. V. 16. No. 1. Pp. 32–33.
13. *Lovkis V.B., Demenok N.A.* Energosberegayushchie tekhnologii infrakrasnogo obogreva [Energy-saving technologies of infrared heating]. *Nauchno-tekhnicheskij progress v sel'skohozyajstvennom proizvodstve*. 2014. Pp. 66–71. (rus)
14. *Paulauskaite S., Parfentieva N., Valancius K.* Results of the investigation of microclimate created by radiant heating/cooling system. *Proc. Int. Conf. 7th on Environmental Engineering*. 2008. Pp. 859–863.
15. *Klimov V.V.* Oborudovanie teplic dlya podsobnyh i lichnyh hozyajstv [Greenhouse equipment for subsidiary and personal farms]. Moscow: Energoatomizdat, 1992. 96 p. (rus)

Сведения об авторах

Павлов Михаил Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Вологодский государственный университет, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15, pavlov_kaftgv@mail.ru

Карпов Денис Федорович, старший преподаватель, Вологодский государственный университет, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15, karpov_denis_85@mail.ru

Authors Details

Mihail V. Pavlov, PhD, A/Professor, Vologda State University, 15, Lenin Str., 160000, Vologda, Russia, pavlov_kaftgv@mail.ru

Denis F. Karpov, Senior Lecturer, Vologda State University, 15, Lenin Str., 160000, Vologda, Russia, karpov_denis_85@mail.ru

УДК 699.866 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-162-173

А.Н. БЕЛОУС, Е.А. ДМИТРЕНКО, Я.Ю. ГОНЧАРОВА, О.Е. БЕЛОУС,
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ СИЛОСОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

В статье произведен анализ различных конструктивных вариантов утепления несущих конструкций железобетонного силоса. На основании анализа выбран оптимальный вариант расположения утеплителя по минимальному температурному перепаду в толще стены. Рассмотрен вопрос, и установлены факторы, влияющие на тепловлажностные характеристики стен железобетонного силоса. Произведена оценка влияния теплопроводных включений на тепловлажностные характеристики ограждающих конструкций сооружения. Произведена оценка температурных перепадов в толще стены силоса. Рассчитаны температурно-влажностные моменты для различных вариантов конструирования, и подсчитан процент влагонакопления конструкцией за рассматриваемый период времени.

Ключевые слова: железобетон; силос; температурные напряжения; эпюры; влажность; напряженно-деформированное состояние.

Для цитирования: Белоус А.Н., Дмитренко Е.А., Гончарова Я.Ю., Белоус О.Е. Снижение температурно-влажностного воздействия на железобетонные конструкции силосов для хранения цементного клинкера // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 162–173.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-162-173

A.N. BELOUS, E.A. DMITRENKO, YA.YU. GONCHAROVA, O.E. BELOUS,
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

REDUCTION OF HEAT-MOISTURE IMPACT ON REINFORCED CONCRETE SILO FOR STORING CEMENT CLINKER

The paper analyzes various constructional options for insulation of load-bearing structures of reinforced concrete silo. Based on the analysis, the optimum insulation was selected according to the minimum temperature difference in the wall thickness. Factors affecting the heat-moisture characteristics of the walls of reinforced concrete silo are identified. The influence of heat-conducting inclusions on the heat-moisture characteristics of the building envelope is estimated. The temperature differences in the silo wall thickness are detected. The temperature and humidity are calculated for various design options and the moisture accumulation percentage of the construction is calculated for the specified time period.

Keywords: reinforced concrete; silage; temperature stresses; diagrams; humidity; stress-strain state.

For citation: Belous A.N., Dmitrenko E.A., Goncharova Ya.Yu., Belous O.E. Snizhenie temperaturno-vlazhnostnogo vozdeistviya na zhelezobetonnye konstruktsii silosov dlya khraneniya tsementnogo klinkera [Reduction of temperature-humid impact on reinforced concrete structures for storing cement clinker]. Vestnik Tomskogo

© Белоус А.Н., Дмитренко Е.А., Гончарова Я.Ю., Белоус О.Е., 2019

gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 162–173.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-162-173

Введение

Стены железобетонных силосов для хранения цементного клинкера подвергаются интенсивным тепловым и влажностным воздействиям окружающей среды [4, 11, 13], которые вызывают перепады температуры и влажности в толще стены. Вследствие колебаний температуры и влажности в стенах силосов возникают переменные деформации и напряжения, которые приводят к быстрому накоплению и появлению трещин [9, 10]. Появление таких деформаций [15] уменьшает способность бетона выполнять требуемые функции, в том числе способность защищать материал, который хранится внутри силоса, от переувлажнения [7]. Напряженно-деформированное состояние несущих конструкций, вызванное температурными и влажностными факторами, вызывают общий рост напряжения [3, 8, 16]. Арматурная сталь, которая используется в таких конструкциях, подвергается регулярным воздействиям перепада температур и влажности, следовательно, срок службы арматурных изделий уменьшается и снижается срок эксплуатации и долговечность конструкций [3]. Поэтому вопрос усовершенствования и разработки новых конструктивных решений несущих конструкций с учетом условия работы очень актуален на сегодняшний день.

Методы и материалы

Силосы по форме в плане бывают круглыми, квадратными, прямоугольными и многоугольными. Наиболее рациональной формой является круглая, у которой стенки работают преимущественно на растяжение.

Для данного исследования был выбран силос круглой формы в плане с размерами $h \times b$ = 18×12 м в соответствии с [17]. Класс бетона, из которого изготовлены несущие конструкции силоса, принят В30.

В качестве объекта исследования температурно-влажностного состояния был выбран конструктивный узел сопряжения несущей стены железобетонного силоса с металлической воронкой для загрузки и разгрузки цементного клинкера (рис. 1).

Для вычисления распределения температур в толще стены железобетонного силоса приняты стационарные условия теплопередачи температур. В общем случае движение теплоты может происходить во всех направлениях (по всем трем осям координат), дифференциальное уравнение теплопроводности будет иметь следующий вид:

$$\frac{dt}{dz} = a\left[\frac{dt^2}{dx^2} + \frac{dt^2}{dy^2} + \frac{dt^2}{du^2}\right]. \qquad (1)$$

В стационарных условиях теплопередачи температура в любых точках среды остается постоянной во времени, следовательно, в уравнении (1) при этом будем иметь $\frac{dt}{dz} = 0$, а так как в общем случае a не равно нулю, то нулю

должно быть равно выражение, стоящее в скобках в правой части уравнения, с учетом этого уравнение (1) будет иметь следующий вид:

$$\frac{dt^2}{dx^2}+\frac{dt^2}{dy^2}+\frac{dt^2}{du^2}=0. \qquad (2)$$

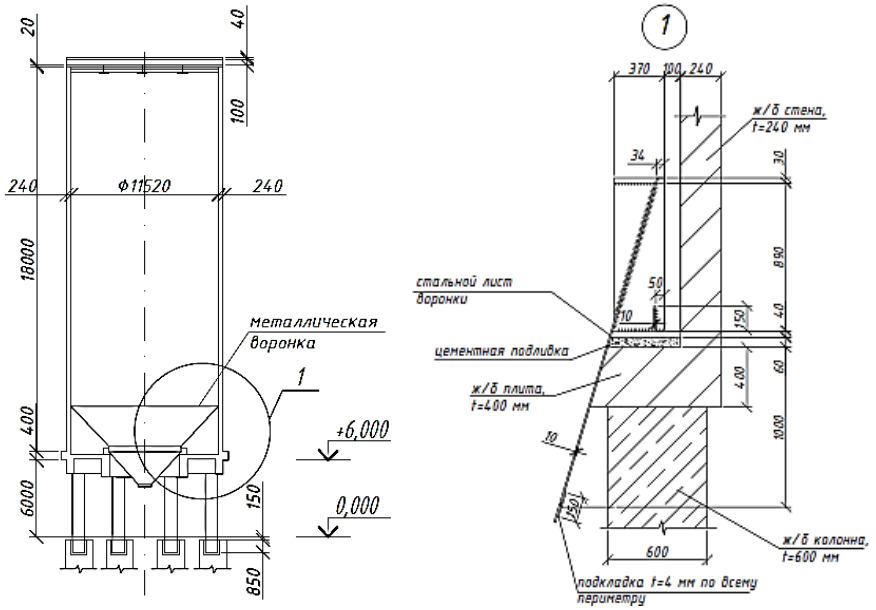


Рис. 1. Конструктивный узел сопряжения несущей стены железобетонного силоса с металлической воронкой

Решение данного уравнениай для трех- и двухмерной задачи сводится к ограниченной области, в которой однозначно выделяются краевые условия, накладываемые на поведение решения или его производных на границе области, решение вручную довольно трудоемкое. Поэтому в данных исследованиях для вычисления температурных полей была использована программа THERM 7.6, которая базируется на данной теории расчета.

Для расчета были заданы краевые условия – коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей, подверженных воздействию окружающей среды, которые установлены в соответствии с климатическими данными месторасположения исследуемого объекта и технологией производственного цикла предприятия. Для остальных поверхностей (верхнее сечение по стене и нижнее по колонне – на расстоянии 2,5 калибров) приняты адиабатические граничные условия.

В соответствии с серией [17] узел сопряжения несущей стены железобетонного силоса с металлической воронкой для загрузки и разгрузки цементного клинкера подвергается регулярным перепадам температур и влажности, что является наиболее проблематичным с точки зрения несущей способности. Соответственно, необходимо разработать наиболее рациональные конструктивные варианты, которые минимизируют данные влияния.

Варианты конструктивных решений по утеплению представлены на рис. 2–4. В первом варианте утепления, представленном на рис. 2, предлагается расположить вертикальный и горизонтальный слой утеплителя из экструдированного пенополистирола.

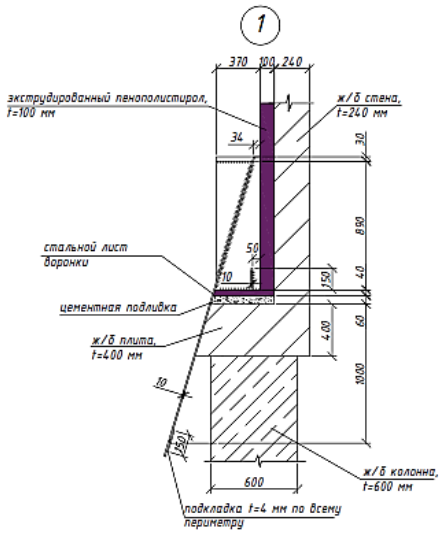


Рис. 2. Расчетная схема с применением горизонтального и вертикального утеплителя

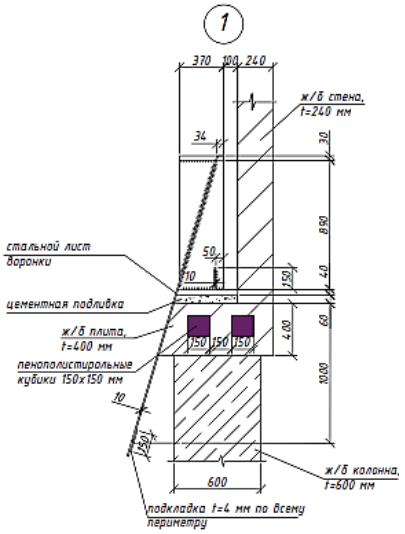


Рис. 3. Расчетная схема с применением пенополистирольных кубиков в плите

Во 2-м и 3-м конструктивном решении узла воронки железобетонного монолитного силоса предполагается расположение пенополистирольных кубиков с высотой ребра 150 мм в толще плиты для второго и в колонне для третьего варианта соответственно.

На тепловые характеристики несущих конструкций существенно влияет влажностный режим, который нормируется согласно [1]. Для выбранных вариантов конструирования произведем расчет влажностного режима.

Для получения данных о распределении влажности в толще стены конструкция была условно разбита на 10 зон, в каждой из которых был определен процент влагонакопления. Расчетный период – 5 сут (120 ч), температура наружного воздуха (–22 °С), плотность материала ρ = 2400 кг/м^3, толщина стены δ = 400 мм.

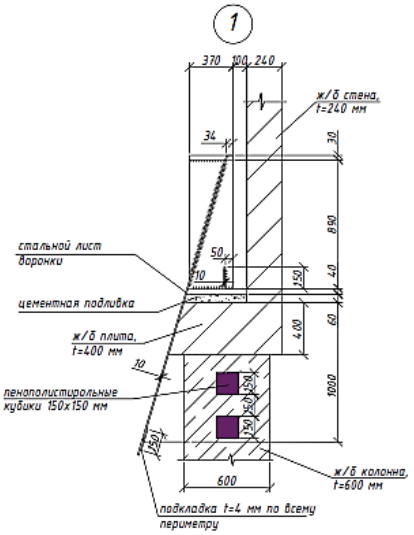


Рис. 4. Расчетная схема с применением пенополистирольных кубиков в колонне

Количество водяного пара $i_в$, мг/(м^{2}ч), поступающего в зону конденсации с внутренней стороны силоса, согласно [5], равно

$$i_в = \frac{e_в - p_в}{R_{ев}}. \quad (3)$$

Количество водяного пара $i_н$, мг/(м^{2}ч), который выводится наружу из зоны конденсации, равно

$$i_н = \frac{p_н - e_н}{R_{ен}}. \quad (4)$$

Количество влаги W, кг/м^2, которая конденсируется в конструкции за расчетный период 5 сут, определяется по формуле

$$W = \tau\left(i_в - i_н\right)10^{-6}, \quad (5)$$

где τ – расчетный период, ч.

Расчет прироста влаги Δw, %, в слое материала, в котором происходит конденсация влаги, выполняют по формуле

$$\Delta w = \frac{W}{\delta_к \cdot \rho_к} 100\ \%, \quad (6)$$

где $\delta_к$ – толщина слоя материала, в котором происходит накопление конденсирующейся влаги, равна 0,35 м; $\rho_к$ – плотность слоя материала, в котором происходит накопление влаги, равна 2400 кг/м^3.

Расчетное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций железобетонного силоса значительно ниже нормативного значения $R_{норм}$, которое определяется в зависимости от региона строительства по ГСОП согласно [19] и $R_{q\,min}$ (м^2·К)/Вт согласно [19] и определяется по формуле

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_н}, \quad (7)$$

где $\alpha_в = 10000$ Вт/(м^2·К) – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности; $\alpha_н = 23$ Вт/(м^2·К) – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности; δ – толщина стены, м; λ – теплопроводность, Вт/(м^2·К).

Согласно [6] для территории Украины и [19] для России обязательно выполнение для внешних ограждающих конструкций условия

$$W_{зп} < W_{лп}, \quad (8)$$

где $W_{зп}$ – количество накопленной в толще ограждающей конструкции влаги, сконденсировавшейся за период влагонакопления года, кг/м^2; $W_{лп}$ – количество влаги, испаряющейся из ограждающей конструкции за период влагоотдачи года, кг/м^2.

Расчет тепловлажностного состояния выполняется графоаналитическим методом, который заключается в построении кривых действительного и максимального парциального давления водяного пара. Для этого в произвольном масштабе вычерчиваем условный разрез ограждающей конструкции, в котором толщина каждого слоя равна значению паропроницания. На оси, парал-

лельной линии между слоями, задается шкала парциального давления P, Па, и строится распределение парциального давления, точки соединяются с помощью кривой линии.

Определение парциального давления водяного пара e, Па, на внутренней ($e_в$) и наружной ($e_н$) поверхностях ограждения соответственно по формулам:

$$e_в = 0{,}01\varphi_в \cdot E_в, \quad (9)$$

$$e_н = 0{,}01\varphi_н \cdot E_н, \quad (10)$$

где $\varphi_в$, $\varphi_н$ – относительная влажность, %, наружного воздуха и внутреннего в соответствии с [5]; $E_в$, $E_н$ – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па.

При построении кривой распределения E взято 1892 точки по толщине конструкции исходя из условия 10 точек на 1 °С. Таким образом, при температурном перепаде необходимо рассчитать температуру в толщине стены. Значение функции E является функцией от температуры, для ее нахождения возможно использовать формулу Всемирной метеорологической организации [5]:

$$E = 6{,}112e^{\frac{17{,}62t}{243{,}12+t}}. \quad (11)$$

Влияние температурного и влажностного режимов по толщине конструкции стены приводит к появлению изгибающих моментов. В данном расчете принимается линейное распределение температуры по толщине стенки оболочки. Расчетные значения разности температур Δt на внутренней и наружной поверхностях оболочки меньше расчетной разности температур воздуха ΔT снаружи и внутри силоса.

Значение Δt определяется теплотехническим расчетом по формуле

$$\Delta t = \frac{\delta_{ст}}{\lambda}\frac{1}{R_0}\Delta T, \quad (12)$$

где $\delta_{ст}$ – толщина стенки оболочки в месте определения температурного перепада, 0,35 м; λ, R_0 – соответственно коэффициент теплопроводности бетона и сопротивление теплопередачи стенки оболочки, λ = 2,04 Вт/(м·К), R_0 = 0,21 м^2·К/Вт.

Значение свободной кривизны стенки оболочки от действия Δt и Δu определяется по формуле

$$\frac{1}{p_{t+u}} = \frac{\alpha_{бt} \cdot \Delta t + \eta \cdot \Delta u}{\delta_{ст}}, \quad (13)$$

где $\alpha_{бt}$ – коэффициент температурного линейного расширения бетона, принимаемый равным $1 \cdot 10^{-5}$; η – коэффициент линейного набухания бетона, принимаемый равным $3 \cdot 10^{-2}$ мм/мм:г/г.

Δu для варианта конструирования № 2 равно $7{,}5 \cdot 10^{-4}$ и $3{,}7 \cdot 10^{-4}$ для варианта № 3.

Расчет изгибающих моментов, возникающих в стенке оболочки от действия Δt и Δu, выполняют по формуле

$$M_{t+u} = 1{,}3\frac{1}{p_{t+u}}B, \quad (14)$$

$$B = 0,07 E_{б} \cdot \delta_{ст}^{3}, \qquad (15)$$

где $E_{б}$ – среднее значение модуля упругости, равное $26,78 \cdot 10^{3}$ МПа; $\delta_{ст}^{3}$ – толщина днища, равная 0,4 м,

$$B = 0,07 \cdot 26,78 \cdot 10^{3} \cdot 0,4^{3} = 120 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{2}.$$

Результаты

По предложенным конструктивным вариантам утепления произведено построение двухмерных температурных полей с помощью программы THERM 7.6, результаты представлены на рис. 5–7.

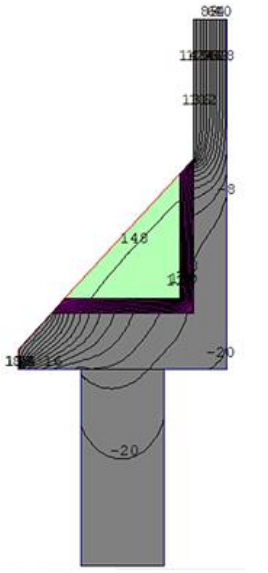


Рис. 5. Моделирование температурных полей в конструкции с применением горизонтального и вертикального утеплителя

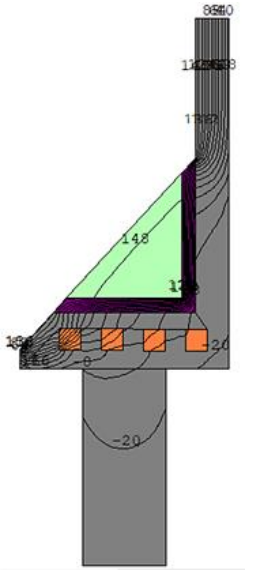


Рис. 6. Моделирование температурных полей в конструкции с применением утеплителя в плите

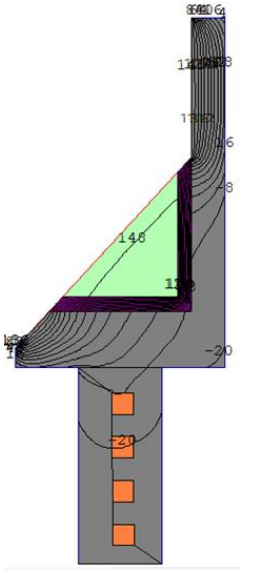


Рис. 7. Моделирование температурных полей в конструкции с применением кубиков из экструдированного пенополистирола в колонне

Анализируя конструктивные варианты по температурному распределению, можно увидеть, что наименьший перепад температуры по толщине дна, составляющий 103 °С (минимальная температура по днищу воронки 45 °С, максимальная 148 °С), соответствует рис. 5. Наибольший температурный перепад составляет 140 °С (минимальная температура по днищу воронки 8 °С, максимальная 148 °С) (рис. 6). На рис. 7 температурный перепад составляет 138 °С (минимальная температура 10 °С, максимальная 148 °С).

Следовательно, можно сделать вывод о том, что применение утеплителей (рис. 5,7) не является экономически целесообразным решением. В дальнейших расчетах будет рассматриваться конструктивный вариант с применением утеплителя в плите.

Данные расчета тепловлажностного режима сведены в таблицу.

Расчетные данные влажности в плите силоса толщиной 400 мм

Расчетная зона стены	Количество водяного пара $i_в$, мг/(м^2·ч), поступающего в зону конденсации со стороны помещения	Количество водяного пара $i_н$, мг/(м^2·ч), который выводится наружу из зоны конденсации	Количество влаги W, кг/м^2, которая конденсируется в конструкции за расчетный период	Расчет прироста влаги Δw, %, в слое материала, в котором происходит конденсация влаги
1	108,18	−602,6	0,09	0,094
2	602,6	−508,5	0,13	0,14
3	508,5	−423,1	0,11	0,11
4	423,1	−301,1	0,086	0,09
5	301,1	−227,1	0,006	0,006
6	227,1	−161,6	0,05	0,05
7	161,6	−94,7	0,03	0,03
8	94,7	−53,1	0,02	0,02
9	53,1	−28,98	0,009	0,009
10	28,98	−5,85	0,004	0,004
				∑0,6

Допустимое по теплоизоляционным характеристикам приращение влажности материала в конструкции за весь период года должно составлять не более 2 %. Из данного расчета видно, что процент влагонакопления за расчетный период пять суток составил 0,6 %.

Парциальное давление водяного пара e, Па, на внутренней ($e_в$) и наружной ($e_н$) поверхностях ограждения соответственно составит

$$e_в = 4754 \text{ Па}, \quad e_н = 0,9 \text{ Па}.$$

Для подсчета влажностного режима в толще стены силоса толщиной 400 мм были построены на рис. 8 графики зависимости парциального давления E, Па, и расчетного сопротивления паропроницанию R_e, Вт/(м^2·К).

Расчетные значения разности температур Δt на внутренней и наружной поверхностях оболочки составили

$$\Delta t = 130,61 \text{ °C}.$$

При выполнении расчета свободной кривизны стенки оболочки от действия Δt и Δu получили следующие результаты:

$$\frac{1}{p_{t+u}} = 0,004.$$

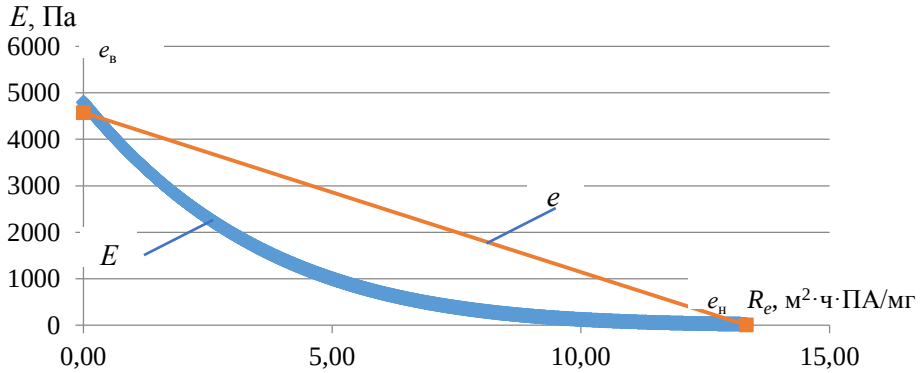


Рис. 8. График зависимости парциального давления Е, Па, и расчетного сопротивления паропроницаемости R_e, м^2·ч·ПА/мг

Значение изгибающего момента, возникающего в стенке оболочки от действия Δt и Δu, составило

$$M_{t+u} = 680 \text{ кН·м}.$$

Выводы

В результате определения влажностного градиента по толщине железобетонной конструкции установлено, что прирост влаги в толщине стены за расчетный период 5 сут составил 0,6 %.

При устройстве слоя утеплителя в конструкции воронки по варианту 1 (рис. 2) получается наиболее равномерное распределение температурного поля в нижней части силоса и соответственно наименьший перепад температуры по толщине дна, составляющий 103 °С. Наибольший температурный перепад составляет 140 °С и соответствует варианту 2, однако при этом зафиксирована наименьшая приведенная температура по нижней грани плиты силоса.

Существенное изменение температурного и влажностного режимов по толщине конструкции стены в зависимости от рассматриваемого конструктивного варианта приводит к значительным изменениям изгибающих моментов в дне воронки. Наибольшее и наименьшее значения температурно-влажностных моментов составили 680 и 468 кН·м для вариантов 3 и 1 соответственно.

Из всего изложенного материала можно сделать вывод, что вариант конструирования 2 является наиболее рациональным, в нем зафиксирована максимальная температура в краевой зоне, но при расчете по разнице приведенных по поверхности температур в данном варианте возникают наименьшие температурные моменты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Байков В.Н., Дроздов П.Ф., Трифонов И.А. и др.* Железобетонные конструкции: Спец. курс / под ред. В.Н. Байкова. – 3-е изд. перераб. Москва : Стройиздат, 1981. 767 с.
2. *Білоус О.М.* Розрахунок тепловологісного стану зовнішньої огороджувальної конструкції з ніздрюватого бетону // Сучасне промислове та цивільне будівництво. 2013. Т. 9. № 3. С. 163–168.

3. *Гаусс К.С.* Комплексные экспериментальные исследования влияния градиента тепло- и массопереноса на физико-механические свойства бетона (с применением пластифицирующих добавок) // Избранные доклады 61-й научно-технической конференции. 2015. С. 134–138.
4. *Горшков А.С., Рымкевич П.П., Ватин Н.И.* Моделирование процессов нестационарного переноса тепла в стеновых конструкциях из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 8. С. 38–48.
5. *ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010*. Будівельна кліматологія. Киев : Мінрегіонбуд України, 2011. 123 с.
6. *ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013*. Настанова з розрахункової оцінки тепловологісного стану огороджувальних конструкцій. Киев : Мінрегіон України, 2014. 62 с.
7. *Катыгроб В.В., Веретенников В.И.* Влияние повышенных температур и уровня предварительного нагружения на свойства тяжелого бетона // Рук. деп. во ВНИИИС Госстроя СССР, № 5737. 1985. 9 с.
8. *Корниенко С.В.* О применимости методики СП 50.13330.2012 к расчету влажностного режима ограждающих конструкций с мультизональной конденсацией влаги // Строительство и реконструкция. 2014. № 5 (55). С. 29–37.
9. *Корниенко С.В.* Оценка влажностного режима многослойной ограждающей конструкции с мультизональной конденсацией влаги // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Вып. 41 (60). С. 24–33.
10. *Корниенко С.В.* Температурно-влажностный режим и теплозащитные свойства ограждающих конструкций с краевыми зонами // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. Вып. 35 (54). С. 62–69.
11. *Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Горшков А.С.* Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 6. С. 19–33.
12. *Корсун В.И.* Напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций в условиях температурных воздействий. Макеевка : ДонГАСА, 2004. 153 с.
13. *Кофанов В.А., Никитин В.И.* Оценка температурно-влажностных напряжений в двухслойной ограждающей конструкции, эксплуатируемой в климатических условиях // Вестник БрГТУ. 2005. № 2: Стр-во и архитектура. С. 25–29.
14. *Кричевский А.П.* Расчет железобетонных инженерных сооружений на температурные воздействия. Москва : Стройиздат, 1984. 148 с.
15. *Никитин В.И., Прусел И.А., Кофанов В.А.* Оценка изотермического влагопереноса в среде, заполняющей силосы и склады // Вестник БрГТУ. 2006. № 1: Строительство и архитектура. С. 100–104.
16. *Пухонто Л.М.* Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений: (силосов, бункеров, резервуаров, водонапорных башен, подпорных стен). Москва : Изд-во АСВ, 2004. 424 с.
17. *Серия 3.012-3*. Конструкции железобетонных силосов диаметром 6 и 12 м для хранения сыпучих материалов. Вып. 2.
18. *СНиП 2.03.04–84*. Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. 54 с.
19. *СП 50.13330.2012*. Тепловая защита зданий. Москва : Министерство регионального развития РФ, 2012. 82 с.

REFERENCES

1. *Baikov V.N., Drozdov P.F., Trifonov I.A., et al.* Zhelezobetonnye konstruktsii [Steel concrete structures], 3rd ed., V.N. Baikov, Ed. Moscow: Stroiizdat, 1981. 767. p. (rus)
2. *Bilous O.M.* Rozrakhunok teplovologisnogo stanu zovnishn'oï ogorodzhuval'noï konstruktsiï z nizdryuvatogo betonu [Calculation of thermal state of outer enclosure of cellular concrete]. *Suchasne promislove ta tsivil'ne budivnitstvo*. 2013. V. 9. No. 3. Pp. 163–168. (rus)

3. *Gauss K.S.* Kompleksnye eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya gradienta teplo- i massoperenosa na fiziko-mekhanicheskie svoistva betona (s primeneniem plastifitsiruyushchikh dobavok) [Comprehensive experimental studies of the influence of gradient heat and mass transfer on physicomechanical properties of concrete (using plasticizing additives)]. Izbrannye doklady 61-i nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (*Selected Papers of the 61st Sci. Conf.*). 2015. Pp. 134–138. (rus)
4. *Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Vatin N.I.* Modelirovanie protsessov nestatsionarnogo perenosa tepla v stenovykh konstruktsiyakh iz gazobetonnykh blokov [Modeling of processes of unsteady heat transfer in wall structures made of aerated concrete blocks]. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2014. No. 8. Pp. 38–48. (rus)
5. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Budivel'na klimatologiya [Building climatology]. Kiev: Minregionbud Ukraïni, 2011. 123 p.
6. DSTU-N B V.2.6-192:2013. Nastanova z rozrakhunkovoï otsinki teplovologisnogo stanu ogorodzhuval'nikh konstruktsii [Guideline for calculating thermal state of enclosure structures]. Kiev: Minregion Ukraïni, 2014. 62 p.
7. *Katygrob V.V., Veretennikov V.I.* Vliyanie povyshennykh temperatur i urovnya predvaritel'nogo nagruzheniya na svoistva tyazhelogo betona [Effect of elevated temperatures and the level of preloading on heavy concrete properties]. VNIIIS Gosstroya SSSR, N 5737. 1985. 9 p. (rus).
8. *Kornienko S.V.* O primenimosti metodiki SP 50.13330.2012 k raschetu vlazhnostnogo rezhima ograzhdayushchikh konstruktsii s mul'tizonal'noi kondensatsiei vlagi [Applicability of SNiP 50.13330.2012 methodology to humidity analysis of building envelopes with multizone moisture condensation]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2014. No. 5 (55). Pp. 29–37. (rus)
9. *Kornienko S.V.* Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogosloinoi ograzhdayushchei konstruktsii s mul'tizonal'noi kondensatsiei vlagi [Evaluation of moisture of multilayer building envelope with multizone moisture condensation]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. No. 41 (60). Pp. 24–33. (rus)
10. *Kornienko S.V.* Temperaturno-vlazhnostnyi rezhim i teplozashchitnye svoistva ograzhdayushchikh konstruktsii s kraevymi zonami [Temperature and humidity conditions and heat-shielding properties of building envelopes with edge zones]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2014. No. 35 (54). Pp. 62–69. (rus)
11. *Kornienko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.R., Gorshkov A.S.* Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogosloinoi stenovoi konstruktsii v godovom tsikle [Assessment of moisture of a multilayer wall structure in annual cycle]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdanii i sooruzhenii*. 2015. No. 6. Pp. 19–33. (rus)
12. *Korsun V.I.* Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie zhelezobetonnykh konstruktsii v usloviyakh temperaturnykh vozdeistvii [Stress-strain state of reinforced concrete structures under temperature effects]. Makeevka: DonGASA, 2004. 153 p. (rus)
13. *Kofanov V.A., Nikitin V.I.* Otsenka temperaturno-vlazhnostnykh napryazhenii v dvukhsloinoi ograzhdayushchei konstruktsii, ekspluatiruemoi v klimaticheskikh usloviyakh [Assessment of temperature and humidity in two-layer cladding in climatic conditions]. *Vestnik BrGTU*. 2005. No. 2: Pp. 25–29. (rus)
14. *Krichevskii A.P.* Raschet zhelezobetonnykh inzhenernykh sooruzhenii na temperaturnye vozdeistviya [Temperature analysis of reinforced concrete structures]. Moscow: Stroiizdat, 1984. 148 p. (rus)
15. *Nikitin V.I., Prusel I.A., Kofanov V.A.* Otsenka izotermicheskogo vlagoperenosa v srede, zapolnyayushchei silosy i sklady [Assessment of isothermal moisture transfer in medium filling silos and warehouses]. *Vestnik BrGTU*. 2006. No. 1. Pp. 100–104. (rus)
16. *Pukhonto L.M.* Dolgovechnost' zhelezobetonnykh konstruktsii inzhenernykh sooruzhenii: (silosov, bunkerov, rezervuarov, vodonapornykh bashen, podpornykh sten) [Durability of reinforced concrete structures (silos, bunkers, tanks, water towers, retaining walls)]. Moscow: ASV, 2004. 424 p. (rus)
17. Seriya Z.012-3. Konstruktsii zhelezobetonnykh silosov diametrom 6 i 12 m dlya khraneniya sypuchikh materialov [Reinforced concrete silos with a diameter of 6 and 12 m for bulk material storage]. (rus)

18. SNiP 2.03.04–84. Betonnye i zhelezobetonnye konstruktsii, prednaznachennye dlya raboty v usloviyakh vozdeistviya povyshennykh i vysokikh temperatur [Concrete and reinforced concrete structures for operation at high temperatures]. Moscow: Gosstroy SSSR, 1985. 54 p. (rus)
19. SNiP 50.13330.2012. Teplovaya zashchita zdanii [Thermal protection of buildings]. Moscow, 2012. 82 p. (rus)

Сведения об авторах

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

Дмитренко Евгений Анатольевич, канд. техн. наук, доцент, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, d.e.a_2008@mail.ru

Гончарова Яна Юрьевна, магистрант, аспирант, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, mohonko.yana22@yandex.ru

Белоус Ольга Евгениевна, аспирант, Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, olga.belaus@yandex.ua

Authors Details

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

Evgenii A Dmitrenko, PhD, A/Professor, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makeevka, Donetsk People's Republic, d.e.a_2008@mail.ru

Yana Yu Goncharova, Research Assistant, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makeevka, Donetsk People's Republic, mohonko.yana22@yandex.ru

Ol'ga E Belous, Research Assistant, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, 2, Derzhavin Str., 86123, Makeevka, Donetsk People's Republic, olga.belaus@yandex.ua

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

УДК 628.32:637.1-047 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-174-185

Е.И. ВЯЛКОВА[1], Е.С. ГЛУЩЕНКО[1], А.В. ШАЛАБОДОВ[1], А.В. ШАЛАБОДОВ[1], Е.Ю. ОСИПОВА[2],
[1]Тюменский индустриальный университет,
[2]Томский государственный архитектурно-строительный университет

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Проблемы очистки и утилизации производственных сточных вод предприятий молочной промышленности существуют в России и за рубежом. Сточные воды подобных производств по степени загрязненности и агрессивности не подлежат сбросу даже в систему бытовой канализации. Для проектирования локальных очистных сооружений таких предприятий необходимо подробно изучить качество сточных вод и режимы их поступления. В статье приведены результаты исследования состава образующихся сточных вод по таким показателям, как агрессивность среды, органические вещества, взвешенные вещества, жиры, нитраты, фосфаты и др. На основании полученных данных были сделаны выводы об изменении качественного состава стоков в зависимости от технологических процессов при производстве молочной продукции. Серьезную проблему при выборе технологии очистки представляет значительное содержание в образующихся производственных стоках органических веществ, жиров, аммония, нитратов и фосфатов. Кроме того, стоки характеризуются большими колебаниями качества при сбросе в производственную систему канализации сыворотки или реагентных растворов после промывки оборудования. Предлагается вариант рациональной технологической схемы водоотведения молокозавода с выполнением требований очистки воды для сброса в канализационную сеть населенного пункта.

Ключевые слова: молокозавод; состав сточных вод; органические загрязнения; pH воды; жиры; творожная и сырная сыворотка; залповый сброс; предварительная локальная очистка сточных вод.

Для цитирования: Вялкова Е.И., Глущенко Е.С., Шалабодов А.В., Шалабодов А.В., Осипова Е.Ю. Особенности проектирования локальных очистных сооружений // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 174–185.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-174-185

© Вялкова Е.И., Глущенко Е.С., Шалабодов А.В., Шалабодов А.В., Осипова Е.Ю., 2019

E.I. VYALKOVA[1], E.S. GLUSHCHENKO[1], A.V. SHALABODOV[1],
A.V. SHALABODOV[1], E.Yu OSIPOVA[2],
[1]Tyumen State Oil and Gas University,
[2]Tomsk State University of Architecture and Building

LOCAL SEWAGE TREATMENT UNIT ENGINEERING

Problems of treatment and disposal of industrial wastewater from dairy enterprises exist in Russia and abroad. Industrial wastewater from dairy cannot be discharged even into the domestic sewage system. The local sewage treatment units of such enterprises require in detail studying the wastewater quality and supply modes. This article presents such parameters of the wastewater composition as environmental aggressiveness, organic matter, suspended solids, fats, nitrogen, phosphate, and others. It is shown that changes in the qualitative composition of effluents depend on the dairy production processes. A serious problem when choosing a treatment technology is the significant content of organic substances, fats, ammonium, nitrates and phosphates in the resulting effluent. In addition, effluents are characterized by large fluctuations in quality when dumped in a sewage treatment unit or reagent solutions generated by the equipment flushing. A production process flowchart is proposed for the dairy water disposal with the appropriate water treatment for discharge into sewage treatment units.

Keywords: dairy; wastewater composition; organic pollution; pH value; fats; curd and cheese whey; volley discharge; local sewage pre-treatment.

For citation: Vyalkova E.I., Glushchenko E.S., Shalabodov A.V., Shalabodov A.V., Osipova E.Yu. Osobennosti proektirovaniya lokal'nykh ochistnykh sooruzhenii [Local sewage treatment unit engineering]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 174–185.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-174-185

Производственные сточные воды молокозаводов имеют специфический состав и отличаются высоким содержанием органических веществ и низкими значениями pH среды, что не позволяет сбрасывать их без предварительной очистки в централизованную систему хозяйственно-бытовой канализации населенного пункта. В отсутствии локальных очистных сооружений ряд предприятий вывозят производственные стоки в пруды-накопители, часто являющиеся негерметичными сооружениями, которые создают неблагоприятную экологическую обстановку, вызванную не только распространением неприятного запаха, но и фильтрацией сточных вод в грунт. В этом случае водоемы не соответствуют требованиям водопользования. В связи с постоянным ухудшением качества воды в водных объектах встает необходимость улучшения качества очистки сточных вод на таких предприятиях путем строительства или реконструкции локальных очистных сооружений.

В мировом научном сообществе большое внимание уделяется проблеме модернизации технологий очистки сточных вод молокозаводов.

Традиционные технологические схемы очистки стоков [1–3] включают: механическую очистку на решетках, барабанных фильтрах или процеживателях, усреднитель (где происходит удаление жиров и нейтрализация стоков), физико-химическую очистку методом напорной флотации (реагентной или нет) и биологическую очистку в аэротенках. Однако данные технологии сопровождаются рядом проблем, таких как высокое потребление электроэнер-

гии, образование большого количества труднообрабатываемого шлама, сложность эксплуатации сооружений аэробной биологической очистки.

Широкое распространение за рубежом получили технологии анаэробного сбраживания в различных UASB-реакторах, например, в виде емкостей закрытого типа, с перемешивающим устройством [4–7]. Кроме того, изучалась ферментативная предварительная очистка молочных жиров при анаэробном сбраживании с образованием метана [8]. Наиболее эффективным оказались ферменты, образованные Candida rugosa, при этом достигался максимальный выход метана при анаэробном сбраживании.

A. Mahvi и др. в своих работах описывает еще один вариант биологической очистки – последовательный реактор периодического действия SBR. Он представляет собой ряд реакторов, в которых сточная вода проходит 5 этапов: заполнение реактора, аэрация, осаждение, отвод сточных вод, отвод осадка. При этом некоторые этапы могут проходить в одних и тех же реакторах, значительно сокращаются объемы сооружений, гибкие параметры режима и автоматическое управление улучшают эффективность работы сооружения в целом [9].

Многие ученые [3, 10–16] проводят исследования по возможному применению мембранных установок (нанофильтрационные, ультрафильтрационные, обратноосмотические установки) для выделения из сточных вод ценных продуктов – протеинов, лактозы. В этом случае исследовалось не только применение какой-то одной мембраны, но и двухступенчатая ультра- и нанофильтрация сточных вод молокозаводов. На стадии ультрафильтрации задерживаются протеины и липиды, на наномембранах удаляются лактоза и соли [12]. Также рассматривались варианты устройства мембранного биореактора (МБР) и нанофильтрационных мембран [16], что позволяет повторно использовать сточную воду. В МБР происходит задержание органических примесей, а на наномембранах осуществляется задержание растворенных солей. В качества мембран рассматривались различные материалы [17], в том числе полимерные вещества, а также бентонит.

Ряд ученых предлагают применять методы электрической и магнитной обработки сточных вод (электрохимическое окисление, электрокоагуляция) с использованием различных электродов: из износостойких материалов, алюминиевые электроды [18, 19]. При этом электрохимический обработке может предшествовать аэробная очистка сточных вод, а также может осуществляться процесс совместной анаэробной и магнитной обработки воды [20]. Однако данные технологии пока не нашли широкого применения на территории России.

Кроме того, особое внимание уделяется творожной и сырной сыворотке и ее вторичному использованию, предотвращающему сброс ценного белкового продукта в канализацию.

Наиболее широко распространенным методом обработки сыворотки является ферментативный гидролиз лактозы, полученный из сыворотки, с образованием мономеров – глюкозы и галактозы [21, 22].

Современные исследователи предлагают использование мембранных технологий для обработки сыворотки (ультрафильтрация, нанофильтрация) с возможной совместной предварительной обработкой (коагуляцией, флокуляцией, осаждением, тепловой, ультразвуковой обработкой). В качестве коа-

гулянта и флокулянта используются сернокислый алюминий, сернокислое железо, полиакриламид [23–25].

Целью данного исследования является изучение качественного состава сточных вод предприятия молочной промышленности, образующихся на разных этапах технологического процесса. На основании полученных результатов необходимо предложить рациональную схему отвода и обработки сточных вод.

Исследования проводились в лаборатории кафедры водоснабжения и водоотведения Тюменского индустриального университета с использованием стандартных методик на реальной сточной воде молокозавода, расположенного в Тюменской области.

Исходная сточная вода представляет собой смесь фекальных и производственных стоков, которые собираются в общий резервуар-накопитель, откуда периодически вывозятся ассенизаторской машиной. Для получения полного качественного анализа сточных вод пробы отбирались в разные дни и после изменения технологических процессов (табл. 1).

Таблица 1

Место взятия проб с целью исследования качества сточных вод

№ пробы	Место взятия пробы, технологический этап
1	Проба взята из резервуара-накопителя до начала рабочей смены
2	Проба взята из резервуара-накопителя после промывки оборудования щелочью
3	Проба взята из резервуара-накопителя после промывки оборудования кислотой
4	Проба взята из резервуара-накопителя через три дня после промывки кислотой до начала рабочей смены

Помимо определения качества смеси сточных вод от всего предприятия, были проведены исследования состава сточных вод, образующихся на каждом отдельном технологическом потоке: после щелочной или кислотной промывки оборудования, мойки тары, мойки автоцистерн с молоком, промывной воды после приготовления масла, сделан анализ творожной и сырной сыворотки.

Качество сточной воды оценивалось по специфическим для данной воды показателям: pH сточной воды; концентрация взвешенных веществ; химическое потребление кислорода (ХПК); биохимическое потребление кислорода ($БПК_5$); сухой остаток; железо общее; концентрация ионов аммония NH_4^+; концентрация нитритов NO_2^-; концентрация нитратов NO_3^-; жиры; концентрация фосфатов PO_4^{3-}; нефтепродукты.

Измерение pH проводилось с использованием лабораторного pH-метра pH-150МИ стандартным электродом.

Измерение ХПК осуществлялось фотометрическим методом на анализаторе жидкости «ФЛЮОРАТ-02». Для этого виалу с пробой воды, бихроматом калия и серной кислотой в присутствии катализатора сульфата серебра выдерживают при 150 °С в предварительно нагретом термореакторе «ТЕРМИОН» в течение двух часов. После остывания виалы до комнатной температуры определялось значение ХПК.

Взвешенные вещества и сухой остаток определялись гравиметрическим методом путем высушивания осадка (при температуре 105 °С) после фильтрования (взвешенные вещества) или самой пробы (сухой остаток) до постоянной массы в сушильном шкафу.

Концентрации аммония, нитритов, нитратов и фосфатов определяются с помощью системы капиллярного электрофореза «Капель-105М». Пробу сточной воды, буферные растворы, гидроксид натрия и дистиллированную воду помещают в пробирки типа Эппендорф, подвергают предварительному центрифугированию и загружают в систему капиллярного электрофореза. Под действием электрического тока в капилляре происходит разделение смеси на составляющие компоненты. В зависимости от массы и заряда компоненты в разное время достигают зоны детектирования. При достижении зоны детектирования на экране компьютера появляется последовательность пиков, называемая электрофореграммой. По площади и высоте пика программа определяет концентрацию данного компонента смеси, а по последовательности пиков – качественную характеристику компонента.

Концентрация $БПК_5$ определялась манометрическим методом в специальных бутылях для инкубации с помощью БПК-системы Lovibond® OxiDirect. Также в бутыль помещают магнитный стерженек, а в резиновый уплотняющий колпачок – 3–4 капли 45% раствора гидроксида калия, затем вставляют колпачок в горлышко бутылки. Проба выдерживается при 20 °С в течение 5 сут, а затем определяется значение $БПК_5$ по сенсорному БПК-датчику.

Общее железо определялось с использованием сульфосалициловой кислоты фотометрическим методом. В пробу после кипячения с соляной кислотой (0,2 $см^3$) добавлялись хлористый аммоний, сульфосалициловая кислота и аммиак (1 $см^3$), а затем проводилось измерение концентрации общего железа на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ. Для устранения мешающего влияния органических веществ предварительно в пробу добавляли серную (2 $см^3$) и азотную (5 $см^3$) кислоту, пробу кипятили до появления густого белого дыма, после чего охлаждали и разбавляли дистиллированной водой.

Содержание жиров определялось гравиметрическим методом путем экстракции петролейным эфиром с добавлением хлорида натрия. Экстракцию проводили 2–3 раза. Затем экстракт высушивают прокаленным сернокислым натрием, промывают петролейным эфиром и перемешивают. Аликвотную пробу экстракта (30 $см^3$) переносят в стеклянный бюкс, нагревают на водяной бане и затем в сушильном шкафу. После этого бюкс взвешивают и определяют количество жиров.

Концентрация нефтепродуктов определялась флуориметрическим методом на «Флюорате-02» путем экстракции гексаном нефтепродуктов из пробы сточной воды.

Результаты лабораторных исследований по определению качественных показателей сточных вод, взятых из резервуара-накопителя, представлены в табл. 2.

Полученные результаты показали, что поступление сточных вод происходит в залповом режиме с высокой степенью неравномерности концентраций загрязнений. pH может изменяться от кислого до нейтрального, концентрации

взвешенных веществ могут возрастать в десятки раз. Большое содержание органических веществ, характеризуемое концентрациями ХПК и $БПК_5$, а также высокое содержание жиров свидетельствует о присутствии в сточных водах остатков продукции молокозавода. Концентрации органических загрязнений могут изменяться от 2,5 до 6 раз. Кроме того, смесь сточных вод характеризуется повышенными концентрациями нитратов, аммония, фосфатов, что говорит о присутствии в стоках творожной и сырной сывороток. Так как на процессы очистки стоков, а также на состояние трубопроводов и сооружений большое влияние оказывает реакция среды (pH), были произведены замеры pH в различное время работы предприятия. Значения pH в разные дни работы предприятия и при разных технологических процессах представлены на рис. 1 и 2.

Таблица 2

Результаты лабораторных измерений сточных вод из резервуара-накопителя

Показатели качества	Пробы сточных вод, взятые из ассенизаторской машины при откачке из накопительного резервуара			
	1	2	3	4
pH	5,72	5,16	4,72	6,17
Взвешенные вещества, мг/дм^3	662,6	1143	9947	729,5
ХПК, мгО/дм^3	2777	5020	7860	3113
$БПК_5$, мгО/дм^3	1204	1932	3626	626
Сухой остаток, мг/дм^3	2050	2268	2341	1033,5
Железо общее, мг/дм^3	0,2	1,12	0,82	2,53
NH_4^+, мг/дм^3	20,9	12,69	5,7	13,51
NO_2^-, мг/дм^3	4,0	0,4	4	0,2
NO_3^-, мг/дм^3	15,16	52,45	75,56	4,04
PO_4^{3-}, мг/дм^3	90,65	147,25	675,9	63,05
Жиры, мг/дм^3	25	66	825	22
Нефтепродукты, мг/дм^3	2,4	4,5	6,67	18,1

Рис. 1. Изменение pH смеси сточных вод (производственных и хозяйственно-бытовых), отобранных в начале недели

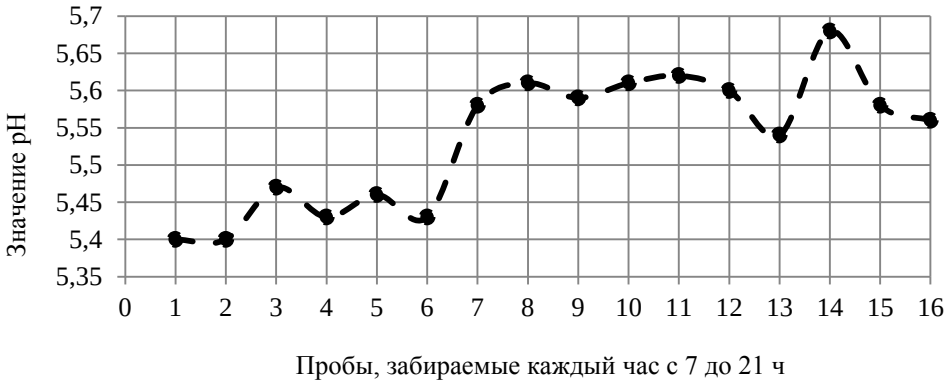


Рис. 2. Изменение pH смеси сточных вод (производственных и хозяйственно-бытовых) после промывки оборудования раствором кислоты

Согласно рис. 1 и 2 значение pH сточных вод колеблется в широких пределах, поэтому необходимо осуществлять нейтрализацию стоков перед их очисткой.

Результаты исследования качества сточных вод по отдельным технологическим потокам представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты исследования качества сточных вод по отдельным технологическим потокам

Показатели качества	Пробы производственных сточных вод от отдельных технологических потоков						
	CIP-мойка щелочным раствором	Сыворотка творожная	Сыворотка сырная	Мойка оборудования	Мойка автоцистерн	Мойка тары	Маслобойка (после первого ополаскивания)
pH	11,85	5,30	5,56	4,46	7,24	4,77	8,72
Взвешенные вещества, мг/дм^3	95,5	383,5	29 646	528	35,5	2306	Не измерялись в связи с невозможностью фильтрования пробы
Сухой остаток, мг/дм^3	1793	10 063	68 092	1415	621	16 833	
Железо общее, мг/дм^3	0,097	0,78	0,2	0,1	0,9	0,1	
NH_4^+, мг/дм^3	6,46	3,4	31,5	8,7	2,09	27,6	
NO_3^-, мг/дм^3	97,16	26,14	42,72	56,84	26,36	51,88	
PO_4^{3-}, мг/дм^3	2,63	442,45	551,75	144,15	3,45	18,83	
ХПК, мгО/дм^3	457	10 493	119 200	3175	458	20 417	14 900
БПК$_5$, мгО/дм^3	355	3312	67 500	1493	325	11 100	1715
Жиры, мг/дм^3	650	2340	1639	870	20	699	5897
Нефтепродукты, мг/дм^3	–	–	–	–	7,07	0,68	–

Также был определен pH сточной воды после CIP-мойки оборудования раствором кислоты – 1,22.

Согласно табл. 2 все стоки имеют показатели, резко отличающиеся друг от друга. Так, например, содержание органических вещества (значение ХПК и $БПК_5$) у различных стоков может отличаться примерно в 200–300 раз (от сыворотки до CIP-мойки щелочным раствором), а концентрации взвешенных веществ различных потоков сточных вод отличаются в 800 раз (сыворотка и мойка автоцистерн). В целом, наиболее высокие концентрации загрязнений присущи различным видам сывороток, а самые минимальные концентрации наблюдаются в стоках от мойки автоцистерн.

Таким образом, концентрации загрязнений в смеси производственных сточных вод молокозавода в десятки, а некоторые загрязнения и в сотни раз превышают предельно допустимые концентрации, разрешенные к сбросу в водные объекты. Также данные сточные воды не соответствуют российским нормативным требованиям, установленным для сброса в бытовую сеть канализации. Поэтому совместный отвод этих стоков без предварительной обработки отдельных стоков или сброс в хозяйственно-бытовую канализацию, водоем без очистки не представляется возможным. Творожная и сырная сыворотка должна утилизироваться отдельно от всех остальных стоков или отправляться на вторичное использование.

На основании полученных данных предлагается вариант обработки стоков, представленный на рис. 3.

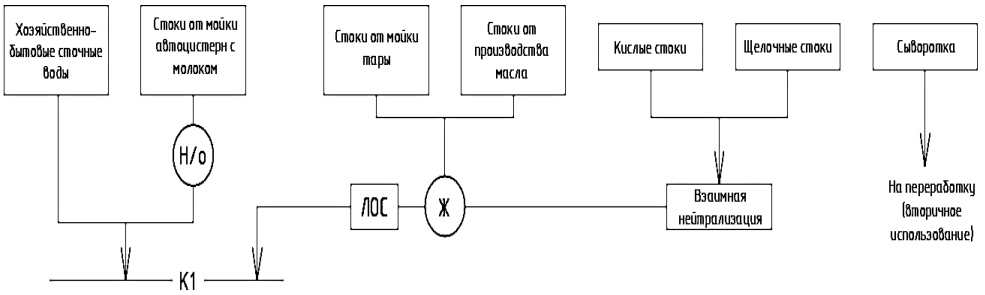


Рис. 3. Возможный вариант обработки сточных вод предприятия молочной промышленности:
н/о – нефтеотделитель; ж – жироуловитель; К1 – хозяйственно-бытовая сеть канализации; ЛОС – локальные очистные сооружения

Согласно табл. 2 и рис. 3, сточные воды от мойки автоцистерн после удаления нефтепродуктов в нефтеотделителе могут быть сброшены в сеть хозяйственно-бытовой канализации. Сыворотка, как источник ценных продуктов, должна отправляться на вторичную переработку и использование. Кислые и щелочные стоки, образующиеся соответственно при кислотной или щелочной промывке оборудования, отправляются на взаимную нейтрализацию, которая может осуществляться, например, в отстойниках. Затем нейтрализованные стоки совместно со стоками от мойки тары и производства масла направляются в жироуловители и оттуда – на локальные очистные сооружения, где происхо-

дит очистка от органических загрязнений, нитратов, аммония, фосфатов. После ЛОС стоки должны иметь качество, соответствующее нормативным требованиям для сброса в сеть хозяйственно-бытовой канализации.

Выводы

На основании проведенных исследований качества производственных сточных вод молокозавода можно сделать следующие выводы:

Сточные воды, образующиеся в результате технологического процесса, имеют залповый характер поступления и отличаются повышенными концентрациями органических загрязнений, жиров, а также нитратов, аммония и фосфатов.

Значение pH сточных вод изменяется как в течение суток, так и по дням недели и может варьироваться от сильнокислой до сильнощелочной среды в зависимости от типа промывки оборудования и сброса в общий поток сыворотки. Стоки от производства молока и молочной продукции без очистки непригодны для сброса в водные объекты. По причине агрессивности и высокого содержания органических веществ такие сточные воды не соответствуют даже нормам сброса в бытовую сеть канализации.

Предлагается следующая организация системы водоотведения молокозавода: стоки после мойки автоцистерн могут быть сброшены в сеть хозяйственно-бытовой канализации только после нефтеотделителя; кислые и щелочные стоки для выравнивая pH направляются на взаимную нейтрализацию; наиболее жиросодержащие потоки должны пройти очистку на жироуловителе; стоки от мойки тары и оборудования по производству масла после жироуловителя направляются на локальные очистные сооружения, откуда сбрасываются в сеть канализации.

Вторичные продукты (сырная и творожная сыворотка), содержащие ценные белковые вещества, подлежат переработке с целью получения пищевых добавок.

Библиографический список

1. *Мазуряк О.Н.* Очистка сточных вод молокозаводов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 1. С. 432–440.
2. *Дятлова Т.В., Федоровская Т.Г.* Очистка сточных вод молокозаводов // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 2. С. 12–17.
3. *Данилович Д.А., Максимова А.А.* Современные решения по локальной очистке сточных вод предприятий молочной промышленности // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения 2014. № 3. С. 55–63.
4. *Mohan S.V., Babu V.L., Sarma P.N.* Anaerobic biohydrogen production form dairy wastewater treatment in sequencing batch reactor (AnSBR): Effect of organic loading rate // Enzyme and Microbial Technology. 2007. 41. P. 506–515.
5. *Birwal P., Deshmukh G., Priyanka, Saurabh S.P.* Advanced Technologies for Dairy Effluent Treatment // Journal of Food, Nutrition and Population Health. 2017. V. 1. № 1:7.
6. *Lauer M., Hansen J.K., Lamers P., Thrän D.* Making money from waste: The economic viability of producing biogas and biomethane in the Idaho dairy industry // Applied Energy. 2018. V. 222. P. 621–636.
7. *Escalante H., Castro L., Amaya M.P., Jaimes L., Jaimes-Estévez J.* Anaerobic digestion of cheese whey: Energetic and nutritional potential for dairy sector in developing countries // Waste Management. 2018. V. 71. P. 711–718.

8. *Domingues R.F., Sanches T., Silva G.S., Bueno B.E., Ribeiro R., Kamimura E., Franzolin R. Neto, Tommaso G.* Effect of enzymatic pretreatment on the anaerobic digestion of milk fat for biogas production // Food Research Intrnational. 2015.
9. *Mahvi A.* Sequential batch reactor: A promising technology in waste water treatment // Iranian J En Health Sci Eng. 5: 79–90.
10. *Luo J., Ding L.* Influence of pH on treatment of dairy wastewater by nanofiltration using shear-enhanced filtration system // Desalination. 2011. 278. P. 150–156.
11. *Kyrychuk I., Zmievskii Y., Myronchuk V.* Treatment of Dairy Effluent Model Solutions by Nanofiltration and Reverse Osmosis // Ukrainian Food Journal. 2014. 3. P. 280–287.
12. *Luo J., Ding L., Q, B., Jaffrin M.Y., Wan Y.A.* Two-stage Ultrafiltration and Nanofiltration Process for Recycling Dairy Wastewater // Bioresource Technology. 2011. 102. P. 7437–7442.
13. *Chen Z., Luo J., Wand Y., Cao W., Qi B., Wan Y.* A novel membrane-based integrated process for fractionation and reclamation of dairy wastewaters // Chemical Engineering Journal. 2017. V. 333. P. 1061–1070.
14. *Chen Z., Luo J., Hang X., Wan Y.* Physicochemical characterization of tight nanofiltration membranes for dairy wastewater treatment // Journal of Membrane Science. 2018. V. 547. P. 51–63.
15. *Kasmi M., Snoussi M., Dahmeni A., Amor M.B., Hamdi M., Trabelsi I.* Use of thermal coagulation, separation, and fermentation process for dairy wastewater treatment // Desalination and Water Treatment. 2015. V. 57. I. 28. P. 13166–13174.
16. *Andrade L.H., Mendes F.D.S., Espindola J.C., Amaral M.C.S.* Reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor and nanofiltration: technical and economic feasibility // Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2015. V. 32. № 03. P. 735–747.
17. *Pagidi A., Thuyavan Y.L., Arthanareeswaran G., Ismail A.F., Jaafar J., Paul D.* Polymeric membrane modification using SPEEK and bentonite for ultrafiltration of dairy wastewater // Journal of Applied Polymer Science. 2015. P. 1–11.
18. *Markou V., Kontogianni M., Frontistis Z., Tekerlekopoulou A.G., Katsaounis A., Vayenas D.* Electrochemical treatment of biologically pre-treated dairy wastewater using dimensionally stable anodes // Journal of Environmental Management. 2017. 202. P. 217–224.
19. *Aitbara A., Cherifi M., Hazourli S., Leclerc J.* Continuous treatment of industrial dairy effluent by electrocoagulation using aluminum electrodes // Desalination and Water Treatment. 2014.
20. *Zielinski M., Debowski M., Krzemieniewski M., Brudniak A.* Effectiveness of Dairy Wastewater Treatment in Anaerobic Reactors with Magnetoactive Filling // Environmental Progress and Sustainable Energy. 2015. V. 34. № 2. P. 427–431.
21. *Bhattacharjee S., Sarker D.* Kinetic Study of Enzymatic Hydrolysis of Lactose in Whey // International Journal of Chemical Engineering Research. 2017. V. 9. № 2. P. 223–228.
22. *Lindsay M.J., Walker T.W., Dumesic J.A., Rankin S.A., Huber G.W.* Production of monosaccharides and whey protein from acid whey waste streams in the dairy industry // Green Chemistry. 2018. I. 8.
23. *Ganju S., Gogate P.* A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents // Journal of Food Engineering. 2017. V. 215. P. 84–96.
24. *Carvalho F., Prazeres A.R., Rivas J.* Cheese whey wastewater: Characterization and treatment // Science of the Total Environment. 2013. 445–446. P. 385–396.
25. *Vourch M., Balannec B., Chaufer B., Dorange G.* Treatment of dairy industry wastewater by reserve osmosis for water reuse // Desalination. 2008. 219. P. 190–202.

REFERENCES

1. *Mazuryak O.N.* Ochistka stochnykh vod molokozavodov [Dairy wastewater treatment]. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*. 2016. V. 1. Pp. 432–440. (rus)
2. *Dyatlova T.V., Fedorovskaya T.G.* Ochistka stochnykh vod molokozavodov [Dairy wastewater treatment]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2008. No. 2. Pp. 12–17. (rus)
3. *Danilovich D.A., Maksimova A.A.* Sovremennye resheniya po lokal'noi ochistke stochnykh vod predpriyatii molochnoi promyshlennosti [Modern solutions for local wastewater treatment of dairy enterprises]. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya*. 2014. No. 3. Pp. 55–63 (rus)

4. *Mohan S.V. Babu V.L., Sarma P.N.* Anaerobic biohydrogen production form dairy wastewater treatment in sequencing batch reactor (AnSBR): Effect of organic loading rate. *Enzyme and Microbial Technology*. 2007. V. 41. Pp. 506–515.
5. *Birwal P., Deshmukh G., Priyanka, Saurabh S.P.* Advanced technologies for dairy effluent treatment. *Journal of Food, Nutrition and Population Health*. 2017. V. 1. No. 1:7.
6. *Lauer M., Hansen J.K., Lamers P., Thrän D.* Making money from waste: The economic viability of producing biogas and biomethane in the Idaho dairy industry. *Applied Energy*. 2018. V. 222. Pp. 621–636.
7. *Escalante H., Castro L., Amaya M.P., Jaimes L., Jaimes-Estévez J.* Anaerobic digestion of cheese whey: Energetic and nutritional potential for dairy sector in developing countries. *Waste Management*. 2018. V. 71. Pp. 711–718.
8. *Domingues R.F., Sanches T., Silva G.S., Bueno B.E., Ribeiro R., Kamimura E., Franzolin Neto R., Tommaso G.* Effect of enzymatic pretreatment on the anaerobic digestion of milk fat for biogas production. *Food Research International*. 2015.
9. *Mahvi A.* Sequential batch reactor: A promising technology in waste water treatment. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. V. 5. Pp. 79–90.
10. *Luo J., Ding L.* Influence of pH on treatment of dairy wastewater by nanofiltration using shear-enhanced filtration system. *Desalination*. 2011. V. 278. Pp. 150–156.
11. *Kyrychuk I., Zmievskii Y., Myronchuk V.* Treatment of dairy effluent model solutions by nanofiltration and reverse osmosis. *Ukrainian Food Journal*. 2014. V. 3. Pp. 280–287.
12. *Luo J., Ding L., Qi B., Jaffrin M.Y., Wan Y.A.* Two-stage ultrafiltration and nanofiltration process for recycling dairy wastewater. *Bioresource Technology*. 2011. V. 102. Pp. 7437–7442.
13. *Chen Z., Luo J., Wand Y., Cao W., Qi B., Wan Y.* A novel membrane-based integrated process for fractionation and reclamation of dairy wastewaters. *Chemical Engineering Journal*. 2017. V. 333. Pp. 1061–1070.
14. *Chen Z., Luo J., Hang X., Wan Y.* Physicochemical characterization of tight nanofiltration membranes for dairy wastewater treatment. *Journal of Membrane Science*. 2018. V. 547. Pp. 51–63.
15. *Kasmi M., Snoussi M., Dahmeni A., Amor M.B., Hamdi M., Trabelsi I.* Use of thermal coagulation, separation, and fermentation process for dairy wastewater treatment. *Desalination and Water Treatmen*t. 2015. V. 57. No. 28. Pp. 13166–13174.
16. *Andrade L.H., Mendes F.D.S., Espindola J.C., Amaral M.C.S.* Reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor and nanofiltration: technical and economic feasibility. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 2015. V. 32. No. 03. Pp. 735–747.
17. *Pagidi A., Thuyavan Y.L., Arthanareeswaran G., Ismail A.F., Jaafar J., Paul D.* Polymeric membrane modification using SPEEK and bentonite for ultrafiltration of dairy wastewater. *Journal of Applied Polymer Science*. 2015. V. 1. No. 11.
18. *Markou V., Kontogianni M., Frontistis Z., Tekerlekopoulou A.G., Katsaounis A., Vayenas D.* Electrochemical treatment of biologically pre-treated dairy wastewater using dimensionally stable anodes. *Journal of Environmental Management*. 2017. V. 202. Pp. 217–224.
19. *Aitbara A., Cherifi M., Hazourli S., Leclerc J.* Continuous treatment of industrial dairy effluent by electrocoagulation using aluminum electrodes. *Desalination and Water Treatment*. 2014.
20. *Zielinski M., Debowski M., Krzemieniewski M., Brudniak A.* Effectiveness of dairy wastewater treatment in anaerobic reactors with magnetoactive filling. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2015. V. 34. No. 2. Pp. 427–431.
21. *Bhattacharjee S., Sarker D.* Kinetic Study of Enzymatic Hydrolysis of Lactose in Whey. *International Journal of Chemical Engineering Research*. 2017. V. 9. No. 2. Pp. 223–228.
22. *Lindsay M.J., Walker T.W., Dumesic J.A., Rankin S.A., Huber G.W.* Production of monosaccharides and whey protein from acid whey waste streams in the dairy industry. *Green Chemistry*. 2018. No. 8.
23. *Ganju S., Gogate P.* A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. *Journal of Food Engineering*. 2017. V. 215. Pp. 84–96.
24. *Carvalho F., Prazeres A.R., Rivas J.* Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the Total Environment*. 2013. V. 445–446. Pp. 385–396.
25. *Vourch M., Balannec B., Chaufer B., Dorange G.* Treatment of dairy industry wastewater by reserve osmosis for water reuse. *Desalination*. 2008. V. 219. Pp. 190–202.

Сведения об авторах

Вялкова Елена Игоревна, канд. техн. наук, доцент, профессор, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Глущенко Екатерина Сергеевна, магистрант, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Шалабодов Александр Валерьевич, магистрант, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Шалабодов Александр Владимирович, магистрант, Тюменский индустриальный университет, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38.

Осипова Елена Юрьевна, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

Authors Details

Elena I. Vyalkova, PhD, Professor, Tyumen State Oil and Gas University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia,

Ekaterina S. Glushchenko, Graduate Student, Tyumen State Oil and Gas University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia,

Aleksandr V. Shalabodov, Graduate Student, Tyumen State Oil and Gas University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia,

Aleksandr V. Shalabodov, Graduate Student, Tyumen State Oil and Gas University, 38, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia,

Elena Yu. Osipova, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 624.139.262+624.139.264 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-186-198

Г.И. ТАЮКИН, В.В. ФУРСОВ, М.В. БАЛЮРА,
Томский государственный архитектурно-строительный университет

ВОЗДЕЙСТВИЕ СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ НА ФУНДАМЕНТЫ СТРОЯЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ (ТЕРМИНАЛ ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ)

С целью анализа влияния сезонного промерзания и оттаивания глинистых грунтов на деформации сооружений выполнены исследования на площадке строительства терминала хранения и отгрузки жидких углеводородов. Для достижения этой цели проведены дополнительные изыскания после зимнего периода строительства. Суглинки в основании фундаментов в осенне-зимний период были промерзжены. В весенне-летний период грунты в котловане замачивались талыми и ливневыми водами. На стенках и дне котлована развились эрозионные врезки потоков талых вод. Это привело к существенным отклонениям от проектного положения конструкций возведенных фундаментов под резервуары, которые были демонтированы, а бетонная подготовка под подпорные стенки повсеместно оказалась разрушенной.

Выполненное исследование показало, что просадочные свойства суглинков после их замачивания деградировали. Запроектированные и частично выполненные дорогостоящие мероприятия по уменьшению просадочности стали ненужными.

Первоначально под наземные горизонтальные резервуары и подпорные стены были запроектированы свайные фундаменты. Окончательно были запроектированы и возведены фундаменты в открытых котлованах с глубиной заложения 4,0–5,8 м из монолитного железобетона на естественном основании. Для последнего варианта по проекту требуется выполнение большого объема земляных работ при вскрытии котлована объёмом около 10 тыс. м^3 и замена их таким же объёмом уплотнённого крупнозернистого мраморного песка и гравия. Комплекс проведенных исследований показал, что наиболее экономичным и надежным вариантом являются свайные фундаменты с высоким ростверком и применением эффективных противопучинных мероприятий, например разработанных в ТГАСУ. В свайном варианте предложено применять сваи длиной 8 и 9 м с допустимой нагрузкой соответственно N_8 = 250 кН и N_9 = 260 кН. Разработанные предложения рекомендовано применить при возведении 2-й очереди строительства терминала.

***Ключевые слова*:** нефтегазовый комплекс; сооружения; строительные конструкции; фундамент; обследование; техническое состояние; деформации; грунты; морозное пучение; глубина промерзания.

Для цитирования: Таюкин Г.И., Фурсов В.В., Балюра М.В. Воздействие сезонного промерзания грунтов на фундаменты строящихся объектов (терминал хранения сжиженных углеводородов) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 186–198.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-186-198

© Таюкин Г.И., Фурсов В.В., Балюра М.В., 2019

G.I. TAYUKIN, V.V. FURSOV, M.V. BALURA,
Tomsk State University of Architecture and Building

SEASONAL SOIL FREEZING IMPACT ON FOUNDATIONS OF BUILDINGS (LIQUEFIED HYDROCARBON DEPOT TERMINAL)

The paper presents the analysis of the influence of seasonal freezing and thawing of clay soils on structural deformation. Studies are performed at the construction site of liquefied hydrocarbon depot terminal. Additional surveys are carried out after the winter construction period. In autumn and winter, loam was frozen at the base of the foundations. In spring and summer, pit soils were soaked with melt- and storm-water. On the pit walls erosion developed tie-in flows of meltwater at the bottom of the pit, which led to significant deviations from the design position of the erected depot foundations, which were dismantled, and the concrete preparation for retaining walls was destroyed almost everywhere.

The study shows that the subsidence properties of loams degrade after soaking. It is therefore unnecessary to reduce drawdown of designed and partially executed expensive measures.

Initially, under the ground horizontal depots and retaining walls pile foundations are constructed. Finally, foundations are erected in open pits with a depth of 4.0–5.8 m of monolithic reinforced concrete on a natural base. For the latter option, the project requires a large amount of excavation works at the open pit with a volume of about 10 thousand cubic meters and replacing them by the same volume of compacted coarse-grained marble sand and gravel. It is shown that the most efficient and reliable option are pile foundations with a high grillage and also effective anti-rubble measures developed in TSUAB. In the pile variant, it is proposed to use piles 8 and 9 m long with a permissible load of 250 kN and 260 kN, respectively. The developed proposals can be applied in the construction of the 2nd stage of the depot terminal.

***Keywords*:** oil and gas complex; structures; building; foundation; inspection; technical condition; deformation; soil; frost heaving; freezing depth.

For citation: Tayukin G.I., Fursov V.V., Balura M.V. Vozdeistvie sezonnogo promerzaniya gruntov na fundamenty stroyashchikhsya ob"ektov (terminal khraneniya szhizhennykh uglevodorodov) [Seasonal soil freezing impact on foundations of buildings (liquefied hydrocarbon depot terminal)]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 186–198.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-186-198

При строительстве объектов нефтегазового комплекса в Сибири ежегодно наблюдаются многочисленные деформации зданий на пучинистых грунтах. В научно-технической литературе отмечалось, что причинами деформаций сооружений нефтегазового комплекса являются: недостаточная изученность инженерно-геологических условий площадки строительства и морозной пучинистости грунтов, ошибки при проектировании, нарушения технологии производства строительных работ, нарушения правил эксплуатации зданий и сооружений [1–6].

Наиболее опасным является нарушение технологии строительства фундаментов на естественном основании в зимних условиях, когда происходит промерзание основания, а весной оттаивающие грунты дополнительно замачиваются талыми водами и атмосферными осадками.

Так, при устройстве фундаментов под резервуары для жидких углеводородов грунты основания во вскрытом котловане были проморожены.

В период весенне-летнего оттаивания возведенные конструкции фундаментов получили существенные отклонения от проектного положения и были демонтированы, а бетонная подготовка под подпорные стенки практически повсеместно оказалась разрушенной (рис. 1 и 2).

Рис. 1. Разрушение бетонной подготовки под фундаменты подпорных стенок

Рис. 2. Демонтаж возведенных фундаментов под резервуары

Исследование влияния промерзания-оттаивания глинистых грунтов с ненарушенной природной структурой на изменение физико-механических свойств показало, что прочностные характеристики значительно снижаются [2–10]. На рис. 3 приведены графики сопротивления сдвигу до промерзания и после оттаивания. Из анализа графиков видно, что у оттаивающих суглинков сопротивление сдвигу существенно уменьшилось по сравнению с этими же характеристиками до промораживания.

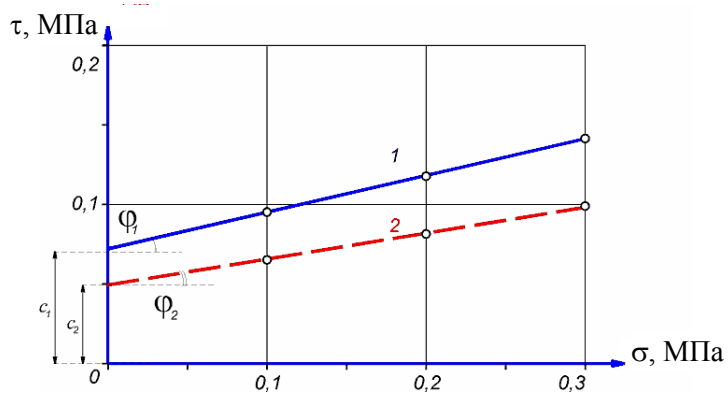


Рис. 3. Сопротивления сдвигу (τ) суглинка до промораживания и после оттаивания:
1 – до промораживания; *2* – после оттаивания

По результатам проведенных исследований установлено [7], что при показателе текучести меньшем $I_L < 0{,}25$ разупрочнение составляет ≈ 15 %; при $0{,}25 \le I_L \le 0{,}75$ – до ≈ 20–35 %; при $I_L > 0{,}75$ – не более ≈ 10–15 %.

Снижение прочностных и деформационных характеристик грунтов при оттаивании приводит к возникновению и развитию аварийных ситуаций.

На рис. 4 иллюстрируется влияние показателя текучести I_L грунта на изменение сопротивления сдвигу по данным разных исследователей [7–10].

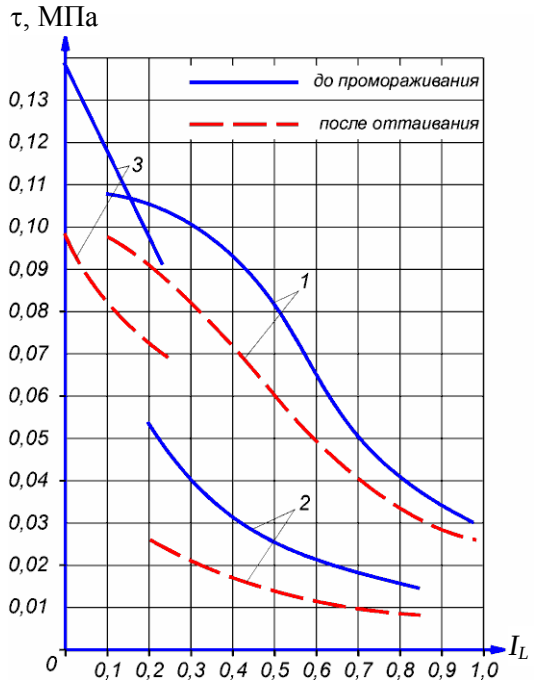


Рис. 4. Влияние показателя текучести (I_L) грунта на изменение сопротивления сдвигу (τ) до промораживания и после оттаивания, экспериментальные данные:
1 – В.В. Фурсов [7]; *2* – Н.К. Захаров [8]; *3* – Г.Д. Михайлов [9]

Природно-климатические условия. Континентальный климат Западной Сибири определяется ее географическим положением – почти в центре Евразии – и характером рельефа местности. Климат рассматриваемой территории отличается продолжительной зимой с сильными ветрами, метелями, устойчивым снежным покровом и довольно жарким летом.

Геологические условия. В геоморфологическом отношении это плоская аккумулятивная озерно-аллювиальная равнина с наложенными речными долинами. Поверхность данного района характеризуется относительно ровным спокойным рельефом, с замкнутыми озерными и болотными котловинами. В геологическом разрезе района принимают участие озерно-аллювиальные отложения плиоцен-нижнечетвертичного комплекса, представленные глинистыми грунтами.

Площадка терминала с 12 наземными горизонтальными резервуарами для хранения сжиженных углеводородов имеет размеры 28,0×88,1 м.

Покровные лессовидные породы залегают в районе строительства с поверхности. Выраженный лессовый облик грунты имеют до глубин 4–6 м. Покровные породы визуально классифицируются как алевритовые глины желтобурого и серого цвета, местами сизые, часто ожелезненные.

Инженерно-геологические условия. Площадка объекта расположена в пределах вытянутой в северо-восточном направлении гривы, наиболее возвышенной над всеми окружающими территориями.

Характерный инженерно-геологический разрез площадки 12 наземных горизонтальных резервуаров, по данным изысканий 2013 г., сложен из суглинков полутвердых и тугопластичных глин.

На основании результатов полевых инженерно-геологических материалов и анализа данных лабораторных испытаний грунтов выделены следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

ИГЭ-4а. Суглинок пылеватый лессовидный полутвердый (w = 0,145; I_p = 0,10; I_L = 0,06; ρ = 2,02 т/м^3; e = 0,64; S_r = 0,96).

ИГЭ-14б. Суглинок тяжелый пылеватый тугопластичный (w = 0,239; I_p = 0,15; I_L = 0,39; ρ = 2,0 т/м^3; e = 0,69; S_r = 0,94).

ИГЭ-15б. Глина легкая пылеватая тугопластичная (w = 0,262; I_p = 0,19; I_L = 0,43; ρ = 2,0 т/м^3; e = 0,72; S_r = 0,99).

Установлено, что уровень подземных вод в 2013 г. находился на глубине от 7,2 м (абс. отметка 111,18 м) до 8,3 м (абс. отметка 111,66 м).

Первоначально под резервуары и подпорные стены был запроектирован свайный фундамент. Окончательно были запроектированы и возведены фундаменты из монолитного железобетона на естественном основании в открытых котлованах. Конструкции фундаментов наземных горизонтальных резервуаров представлены на рис. 5.

Железобетонные фундаменты под каждый из резервуаров объемом V = 200 м^3 имеют глубину заложения –4,000 м при планировочных отметках площадки резервуаров, составляющих –0,18…–1,25 м. Глубина заложения подошвы фундамента от планировочной отметки поверхности грунта по проекту не менее 2,75 м. Подошва фундаментов под резервуары имеет размеры в плане 1,80×4,30 м. Ширина ленточных фундаментов под подпорные стенки

равна 2,70 м. Нагрузка на обрез каждого из трех фундаментов под 200-тонный резервуар составляет – N = 900 кН.

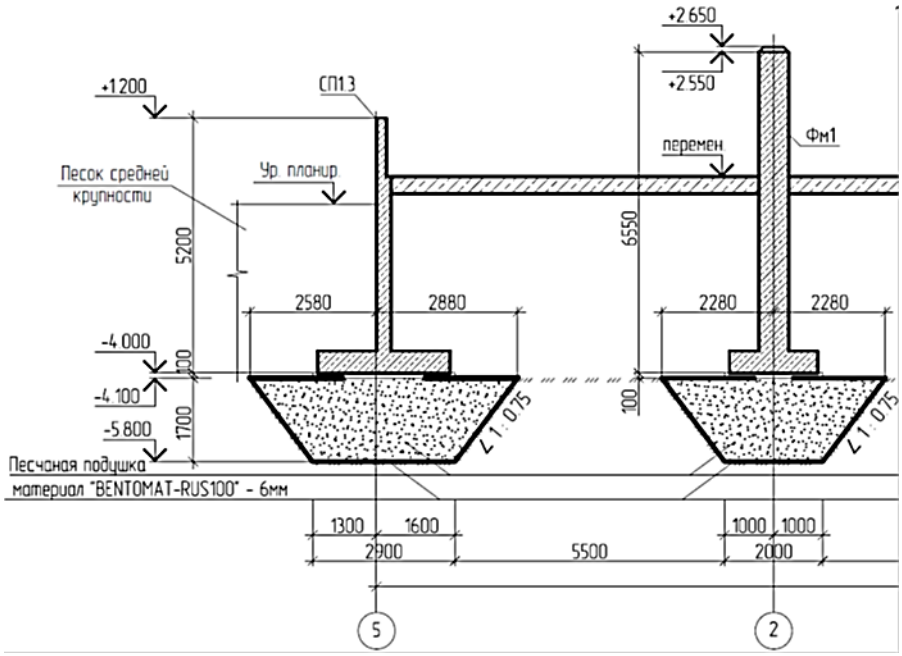


Рис. 5. Схема замены просадочного грунта песчаной подушкой

Под некоторыми фундаментами на участках обнаружения просадочных грунтов запроектирована выемка грунта на глубину 1,70 м ниже подошвы фундаментов с последующей укладкой бентонитовых матов и засыпкой песком средней крупности с его послойным уплотнением. Схема замены просадочных грунтов песчаной подушкой в плане представлена на рис. 5.

Земляные работы на объекте проводились в зимний период (2016/2017 г.), при этом каких-либо специальных мероприятий по предотвращению промораживания и увлажнения грунтов основания внутри котлована не проводилось. При обследовании на стенках котлована были выявлены эрозионные врезки потоков талых вод, а на его дне обнаружены признаки длительного замачивания (заиливание дна, трещины усыхания).

Установлено, что из-за деформаций грунтового основания отдельные конструкции возведенных фундаментов под резервуары получили существенные отклонения от их проектного положения (в связи с чем их пришлось демонтировать), а бетонная подготовка под подпорные стенки практически повсеместно оказалась разрушенной.

Причиной выявленных дефектов явилось нарушение технологии строительно-монтажных работ в зимний период (замачивание, промерзание-оттаивание котлованов и вследствие этого изменение свойств грунтов).

Для оценки изменения физико-механических свойств грунтов основания после весеннего оттаивания и дополнительного замачивания выполнены

дополнительные инженерно-геологические изыскания летом 2017 г. Бурение инженерно-геологических скважин в котловане показано на рис. 6.

Рис. 6. Бурение скважины в котловане объекта (2017 г.)

Выделены основные инженерно-геологические элементы:

– ИГЭ-1 – суглинки твердой консистенции, залегают в верхней части разреза от подошвы техногенных грунтов до глубины 6,2–6,4 м, толщиной слоя 5,4–6,0 м;

– ИГЭ-2 – суглинки тугопластичной консистенции. Этот слой залегает в нижней части разреза, вскрыт проходкой на 2,6 м;

– ИГЭ-3 – суглинки мягкопластичной и текучепластичной консистенции, залегают в средней части разреза от подошвы отложений твердых суглинков до глубины 9,2–9,4 м, толщиной слоя 2,8–3,2 м.

Схема выработок в плане представлена на рис. 7, инженерно-геологический разрез с привязкой свайных фундаментов – на рис. 8, а физико-механические свойства грунтов основания – в таблице.

Уровень подземных вод в период полевых работ в июле 2017 г. вскрыт на глубине 5,9–6,7 м (абсолютные отметки 112,46–111,88 м).

Максимальная вскрытая толщина обводненного горизонта составляет 1,6–2,4 м. Водоупором являются тугопластичные суглинки, вскрытые всеми скважинами на глубине от поверхности 7,8–8,5 м.

На площадке выполнено статическое зондирование в десяти точках. По результатам инженерно-геологических исследований можно отметить следующее. Расчетная нагрузка на сваи (N, кН) сечением 300×300 мм при глубине

их погружения z от поверхности в интервале от 4 до 11 м с шагом 1 м по данным статического зондирования составляет: z_4 = 4 м, N_4 = 240 кН; z_5 = 5 м, N_5 = 240 кН; z_6 = 6 м, N_6 = 220 кН; z_7 = 7 м, N_7 = 230 кН; z_8 = 8 м, N_8 = 240 кН; z_9 = 9 м, N_9 = 270 кН; z_{10} = 10 м, N_{10} = 310 кН; z_{11} = 11 м, N_{11} = 400 кН.

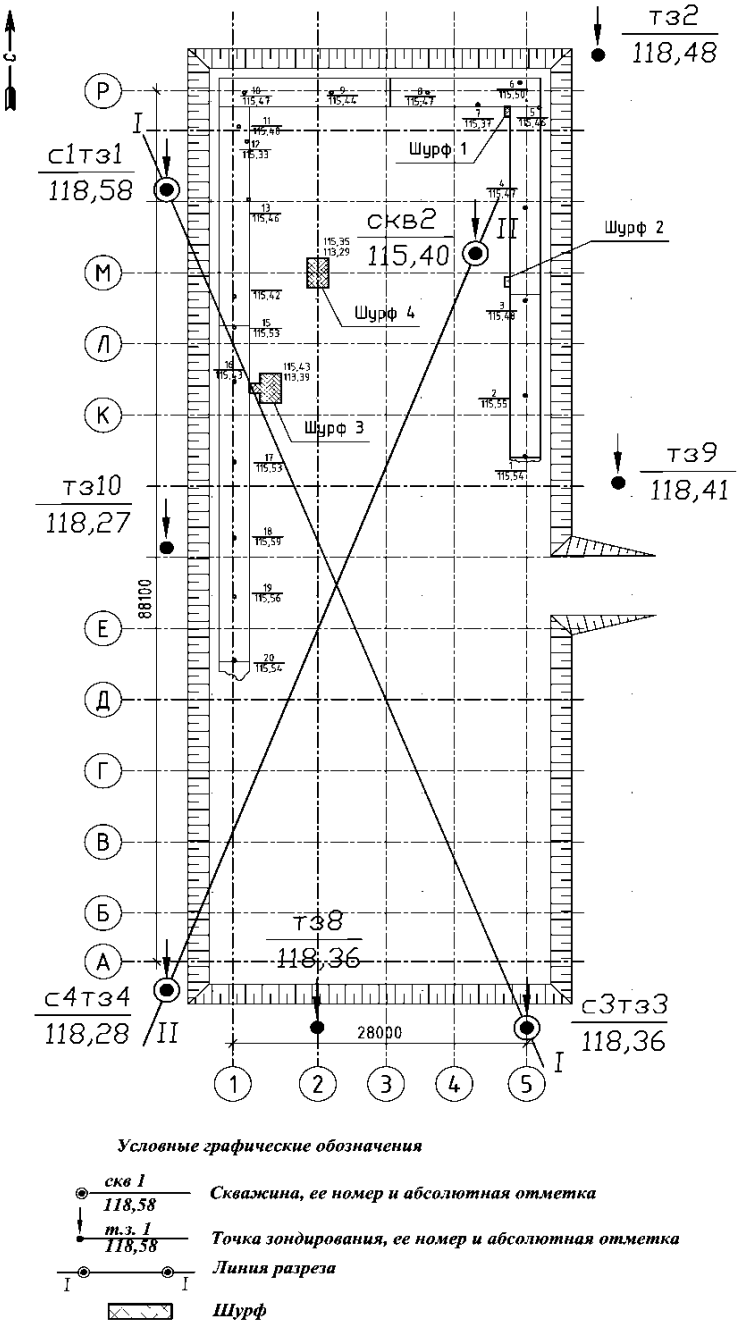


Рис. 7. Схема расположения выработок в плане

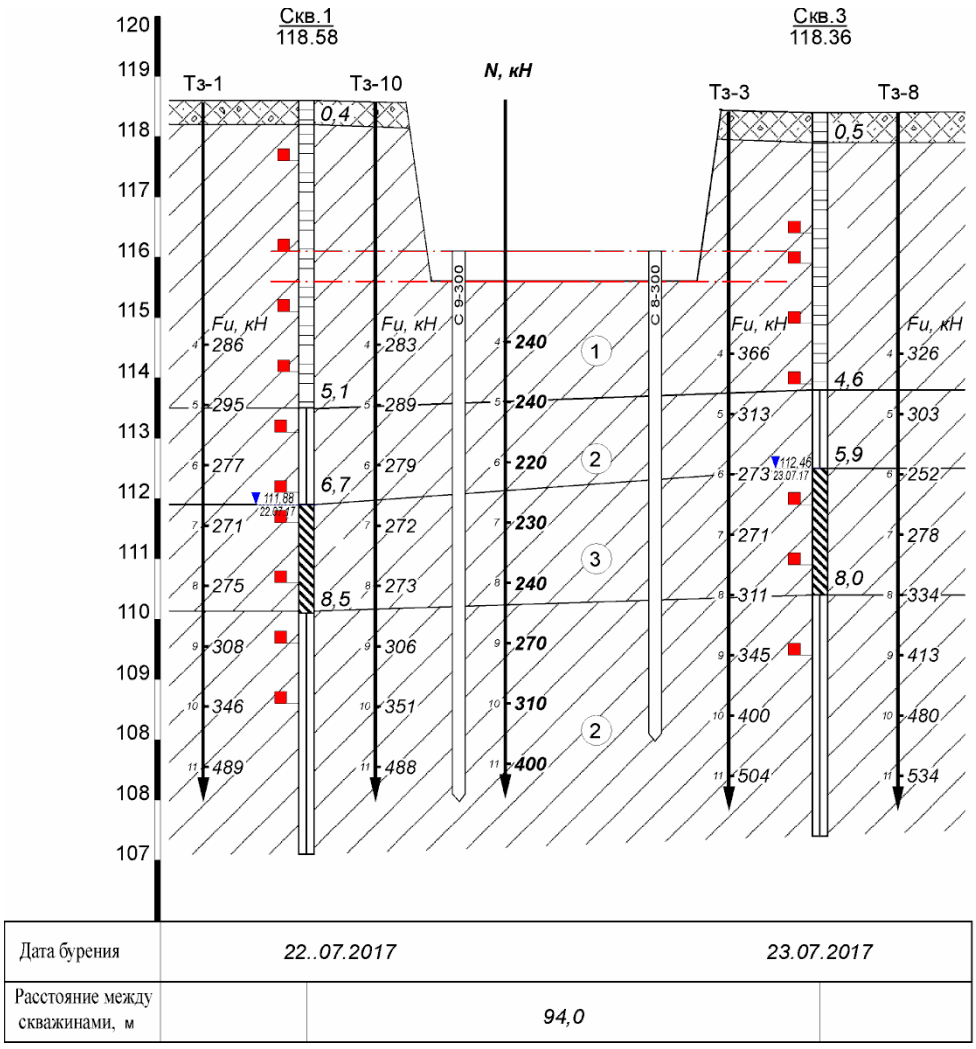


Рис. 8. Инженерно-геологический разрез с привязкой свайных фундаментов

Результаты статического зондирования показали, что в случае использования 8–9-метровых свай вполне обеспечивается надежность фундаментов. При этом количество свай и их расположение в плане под отдельно стоящие фундаменты резервуаров, а также шаг свай под ленточные фундаменты подпорных стенок определяются расчетом.

Результаты лабораторных испытаний монолитов и образцов грунтов из четырех скважин позволяют сделать выводы о том, что к моменту обследования (июль 2017 г.) в котловане грунты находились в оттаявшем состоянии, и температура их была выше плюс 5 °С, грунты просохли, и физико-механические свойства практически восстановились и совпали с данными изысканий 2013 г.

Установлено, что грунты, отобранные из шурфов № 1–3, являются песками средней крупности и крупными, плотными и средней плотности (e = 0,51–0,68), малой степени насыщения водой (S_r = 0,17–0,37). В соответствии с положениями

СП 22.13330.2016 (табл. Б.2) расчетное сопротивление грунтов R_0 песчаной подготовки составляют R_0 = 400 кПа для песков средней крупности и средней плотности (шурфы № 1–3) и R_0 = 500 кПа для песков средней крупности, плотных (шурф № 4, образец отобран с глубины 1,7 м).

Физико-механические свойства грунтов (2017 г.)

Наименование показателей грунта	ИГЭ-1 суглинок твердый	ИГЭ-2 суглинок тугопластичный	ИГЭ-3 суглинок текуче-пластичный
Природная влажность w, %	14,5	27,8	26,3
Влажность на границе текучести w_L, %	29	37	27
Влажность на границе раскатывания w_p, %	18	24	17
Число пластичности I_p, %	11	13	10
Показатель текучести I_L	–0,35	0,29	0,93
Плотность частиц грунта ρ_s, г/см^3	2,70	2,70	2,70
Плотность грунта ρ, г/см^3	1,78	1,93	1,96
Плотность сухого грунта ρ_d, г/см^3	1,56	1,51	1,56
Коэффициент пористости e, д.е.	0,70	0,72	0,75
Рекомендуемое значение модуля деформации E, МПа	10,6	7,8	5,6
Рекомендуемое значение угла внутреннего трения φ, град	24	22	19
Рекомендуемое значение удельного сцепления c, кПа	27	33	19

Следует отметить, что котлован остаётся вскрытым с ноября 2016 г. За это время он был подвержен сезонному промерзанию и последующему оттаиванию, замачиванию талыми и дождевыми водами.

Засыпка песком и устройство в осях «М-П, 1-5» и «А-Г, 3-5» песчаных подушек толщиной 1,7 м способствует аккумуляции вод, что при повторном сезонном промерзании-оттаивании будет способствовать развитию как деформаций морозного пучения, так и деформаций оснований и фундаментов при оттаивании грунтов. Замачивание котлована способствовало деградации просадочности грунтов, что позволяет отменить предлагаемые в проекте мероприятия защиты от просадочности.

В связи с тем, что реальные сроки строительства, как правило, затягиваются до периода с отрицательными температурами, целесообразно рассмотреть возможность применения свайных фундаментов, учитывая их устойчивость к воздействию морозного пучения, минимальные осадки при загружении, быстроту производства работ и пр.

Полученные данные статического зондирования грунтов следует использовать при проектировании свайного варианта как основного под назем-

ные горизонтальные резервуары первой и второй очереди строительства терминала хранения и отгрузки жидких углеводородов.

В свайном варианте целесообразно применить сваи длиной 8 и 9 м с допустимой нагрузкой соответственно N_8 = 250 кН и N_9 = 260 кН (по данным статического зондирования), при этом нижние концы свай будут погружены на 1,5–2,5 м в тугопластичные суглинки, вскрытые на глубине 8,0–8,5 м.

В заключение следует отметить, что работы по восстановлению фундаментов рекомендовано выполнять, не допуская повторного промерзания грунтов основания, а вторую очередь резервуаров строить, используя свайные фундаменты с противопучинным покрытием либо обработкой грунтов на контакте с боковой поверхностью свай [11–14], что позволит значительно сократить затраты на фундаменты и повысить их надежность и устойчивость под воздействием касательных сил морозного пучения.

Для снижения касательных сил пучения в промерзающих пылеватоглинистых грунтах в ТГАСУ разработан способ обработки грунтов или поверхностей свай нефтебитумным раствором, применяемым как промывочная жидкость при бурении нефтяных и газовых скважин. В состав раствора входят: дизельное топливо – 54 %; высокоокисленный битум – 20 %; НЧК (алкиларилсульфонат) – 2 % и вода – 4 % к общему весу [2, 16]. Раствор обладает гидрофобными свойствами, он устойчив к старению и влиянию температур. По результатам лабораторных и полевых исследований и многолетних наблюдений, значение касательных сил пучения уменьшилось в 3–4 раза, наибольший эффект получен при 10% обработке грунта раствором, что и рекомендуется к практическому применению. Обработку грунта при глубине промерзания 2,0–2,5 м рекомендуется ограничивать на глубине 1,5 м в связи с усложнением производства работ и наибольшими силами выпучивания в верхней зоне порядка $^2/_3$ нормативной глубины промерзания.

В связи с тем, что при обследовании недостроенных зданий и сооружений бурение скважин и статическое зондирование выполняются, как правило, вне контура здания, то считается, что при обследовании недостроенных и неэксплуатируемых в течение ряда лет зданий необходимо дополнительные геологические выработки выполнять внутри зданий (как правило, в их центре) ниже глубины сезонного промерзания-оттаивания с отбором образцов и монолитов грунтов с последующим определением полного комплекса их физико-механических свойств как в мерзлом состоянии, так и после оттаивания.

Библиографический список

1. *Савельев В.С., Белоцерковская Г.В.* Причины деформаций нефтегазопромысловых сооружений на севере Западной Сибири // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1987. № 5. С. 12–14.
2. *Малышев М.А., Фурсов В.В., Балюра М.В., Рождественская Л.И.* Основания и фундаменты в условиях глубокого сезонного промерзания грунтов. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1992. 280 с.
3. *Фурсов В.В.* Вертикальные перемещения малозаглубленных фундаментов при многолетнем сезонном промерзании и оттаивании пучинистых грунтов // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции : сб. тр. научно-технической конференции. Санкт-Петербург : СПб. гос. арх.-строит. ун-т., 2010. С. 333–337.

4. *Malysev M.A., Fursov V.V., Baluyura M.V.* Investigation of the deformation of clayey soils resulting from frost heaving and thawing in foundations due to loading // IV International Conference on Permafrost. Washington : National Academy Press, 1984. P. 259–263.
5. *Orlov V.O., Fursov V.V.* Foundation settlements on season freezing soils // V International Conference on Permafrost. Trondheim, Norway, 1988. P. 1441–1445.
6. *Орлов В.О., Железняк И.И., Филиппов В.Д., Фурсов В.В.* Морозоопасные грунты как основания сооружений. Новосибирск : Наука. Сибирское отделение, 1992. 168 с.
7. *Фурсов В.В.* Деформации сезоннопромерзающего пучинистого грунта основания и его взаимодействие с фундаментами сооружений // Обской вестник. 1999. № 1–2. С. 64–68.
8. *Захаров Н.К.* К вопросу сопротивления грунтов сдвигу при оттаивании // Железнодорожное строительство. 1952. № 4.
9. *Михайлов Г.Д.* Методика определения сопротивления сдвигу сезонномерзлых глинистых грунтов земляного полотна при их оттаивании // Труда IV совещания-семинара по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях. Т. VIII. Красноярск, 1966.
10. *Шушерина Е.П.* О методике определения сопротивления сдвигу оттаявших грунтов // Мерзлотные исследования : сб. Вып. VII. Москва : Изд-во МГУ, 1967.
11. *Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов. 2-е изд. Москва : Книжный дом «Либроком», 2010. 448 с.
12. *Орлов В.О.* Рекомендации по учёту и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов / ПНИИИС. Москва : Стройиздат, 1986. 72 с.
13. *Рекомендации по определению значений модуля деформации грунтов* по результатам компрессионных испытаний с использованием региональных корректировочных коэффициентов. Региональные нормативы градостроительного проектирования Томской области / Администрация Томской области. Томск, 2007. 22 с.
14. *Фурсов В.В., Малышев М.А.* Деформации сооружений, связанные с сезонным промерзанием и оттаиванием пучинистых грунтов в Томской области // Проблемы гидрогеологии, инженерной геологии, оснований и фундаментов. Томск : Изд-во ТГУ, 1988. С. 105–115.
15. *Руководство по проектированию оснований и фундаментов* на пучинистых грунтах / НИИОСП. Москва : Стройиздат, 1979. 39 с.

REFERENCES

1. *Savel'ev V.S., Belotserkovskaya G.V.* Prichiny deformacij neftegazopromyslovyh sooruzhenij na severe Zapadnoj Sibiri [Causes of deformation of oil and gas facilities in North of Western Siberia]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov.* 1987. No. 5. Pp. 12–14. (rus)
2. *Malyshev M.A., Fursov V.V., Balyura M.V., Rozhdestvenskaya L.I.* Osnovaniya i fundamenty v usloviyah glubokogo sezonnogo promerzaniya gruntov [Bases and foundations in seasonal soil freezing conditions]. Tomsk: TSU, 1992. 280 p. (rus)
3. *Fursov V.V.* Vertikal'nye peremeshcheniya malozaglublennyh fundamentov pri mnogoletnem sezonnom promerzanii i ottaivanii puchinistyh gruntov [Vertical displacements of shallow foundations during long-term seasonal freezing and thawing of heaving soils]. In: Aktual'nye voprosy geotekhniki pri reshenii slozhnyh zadach novogo stroitel'stva i rekonstrukcii: sb. tr. nauchno-tekhnicheskoj konferencii (*Proc. Int. Sci. Conf. 'Relevant Problems of Geotechnology in Solving Problems of New Construction and Reconstruction'*). St.-Petersburg, 2010. Pp. 333–337. (rus).
4. *Malysev M.A., Fursov V.V., Baluyura M.V.* Investigation of the deformation of clayey soils resulting from frost heaving and thawing in foundations due to loading. (*Proc. 4th Int. Sci. Conf. on Permafrost*). Washington: National Academy Press, 1984. Pp. 259–263.
5. *Orlov V.O., Fursov V.V.* Foundation settlements on season freezing soils (*Proc. 5th Int. Sci. Conf. on Permafrost*). Trondheim, Norway, 1988. Pp. 1441–1445.
6. *Orlov V.O., Zheleznyak I.I., Filippov V.D., Fursov V.V.* Morozoopasnye grunty kak osnovaniya sooruzhenij [Frost-Prone soils as the foundations of structures]. Novosibirsk: Nauka, 1992. 168 p. (rus).
7. *Fursov V.V.* Deformacii sezonnopromerzayushchego puchinistogo grunta osnovaniya i ego vzaimodejstvie s fundamentami sooruzhenij [Deformations of seasonally freezing heaving soil foundation and its interaction with foundations of structures]. *Obskoi vestnik.* 1999. No. 1–2. Pp. 64–68. (rus)

8. *Zakharov N.K.* K voprosu soprotivleniya gruntov sdvigu pri ottaivanii [Soil shear resistance during thawing]. *Zheleznodorozhnoe stroitel'stvo*. 1952. No. 4. (rus)
9. *Mikhailov G.D.* Metodika opredeleniya soprotivleniya sdvigu sezonnomerzlyh glinistyh gruntov zemlyanogo polotna pri ih ottaivanii [Method of determining shear resistance of seasonally frozen clay soils of roadbed during thawing]. In: Trudy IV soveshchaniya-seminara po obmenu opytom stroitel'stva v surovykh klimaticheskikh usloviyakh (*Proc. 6th Seminar on Experience Exchange in Construction in Harsh Climatic Conditions*). Krasnoyarsk, 1966. (rus)
10. *Shusharina E.P.* O metodike opredeleniya soprotivleniya sdvigu ottayavshih gruntov [Method of determining shear resistance of thawed soil]. In: Merzlotnye issledovaniya. V. VII, Moscow: MSU, 1967. (rus)
11. *Tsytovich N.A.* Mekhanika merzlyh gruntov. Uchebnoe posobie [Mechanics of frozen soils]. 2nd ed., Moscow: Librokom, 2010. 448 p. (rus)
12. *Orlov V.O.* Rekomendacii po uchyotu i preduprezhdeniyu deformacij i sil moroznogo pucheniya gruntov [Recommendations on accounting and prevention of deformations and forces of frost heaving of soils]. Moscow: Stroizdat, 1986. 72 p. (rus)
13. Rekomendacii po opredeleniju znachenij modulja deformacii gruntov po rezul'tatam kompressionnyh ispytanij s ispol'zovaniem regional'nyh korrektirovochnyh kojefficientov. Regional'nye normativy gradostroitel'nogo proektirovanija Tomskoj oblasti. [Recommendations for determining values of modulus of deformation of soil according to results of compression tests using regional correction factors. Regional standards of urban design of the Tomsk region Administration]. Tomsk, 2007. 22 p. (rus)
14. *Fursov V.V., Malyshev M.A.* Deformacii sooruzhenij, svyazannye s sezonnym promerzaniem i ottaivaniem puchinistyh gruntov v Tomskoj oblasti [Deformations of structures associated with seasonal freezing and thawing of heaving soils in the Tomsk region]. In: Problemy gidrogeologii, inzhenernoj geologii, osnovanij i fundamentov. Tomsk: TSU, 1988, Pp. 105–115. (rus)
15. Rukovodstvo po proektirovaniyu osnovanij i fundamentov na puchinistyh gruntah [Guidelines for design of bases and foundations on heaving soils]. Moscow: Stroizdat, 1979. 39 p. (rus)

Сведения об авторах

Таюкин Геннадий Иванович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tgi52@mail.ru

Фурсов Владимир Валентинович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, v_fursov_tomsk@mail.ru

Балюра Мария Васильевна, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ofis-tgasu@mail.ru

Authors Details

Gennadiy I. Tayukin, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, tgi52@mail.ru

Vladimir V. Fursov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, v_fursov_tomsk@mail.ru

Mariya V. Balura, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ofis-tgasu@mail.ru

УДК 624.159.4: 624.151.2 DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-199-210

М.В. СОКОЛОВ, С.М. ПРОСТОВ, О.В. ГЕРАСИМОВ,
Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева

ПРОГНОЗ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗАКРЕПЛЯЕМОГО ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОГО ЗДАНИЯ

Объектом исследования является геомеханическое состояние ослабленных грунтовых оснований горнотехнического здания до и после уплотнения, усиления или закрепления.

Цель исследования – проведение геомеханического расчета и прогноза для обоснования параметров напорной инъекции при укреплении ослабленного техногенного грунтового основания, разработка рекомендаций по корректировке параметров напорной инъекции.

Были применены численные методы и компьютерное моделирование на основе метода конечных элементов для изучения геомеханического состояния грунтового основания горнотехнического здания с учетом локальных неоднородностей геологического строения и изменений физико-механических свойств грунтов.

Приведены результаты инженерно-геологических изысканий в основании горнотехнического здания, сложенного техногенными насыпными грунтами. Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния закрепленного грунтового основания. Представлен анализ изменения геомеханического состояния грунтового массива в результате инъекционного уплотнения, на основе которого даны рекомендации по корректировке параметров технологии инъектирования. Установлена несомненная эффективность применения метода напорной инъекции для усиления грунтовых оснований зданий и сооружений. Приведены рекомендации по корректировке параметров укрепления для горнотехнического здания на ослабленном насыпном грунтовом основании.

Ключевые слова: основания зданий и сооружений; численное компьютерное моделирование; напряжения; деформации; перемещения; укрепление грунтовых оснований; параметры укрепления.

Для цитирования: Соколов М.В., Простов С.М., Герасимов О.В. Прогноз геомеханического состояния закрепляемого грунтового основания горнотехнического здания // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 6. С. 199–210.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-199-210

M.V. SOKOLOV, S.M. PROSTOV, O.V. GERASIMOV,
Gorbachev Kuzbass State Technical University

PREDICTION OF GEOMECHANICAL STATE OF STABILIZED SOIL FOUNDATION OF MINE ENGINEERING BUILDING

Purpose: Prediction of geomechanical state of soft-soil foundation of buildings before and after compaction, reinforcement or stabilization. Calculation of parameters of pressure injection while stabilizing the soft man-made soil foundation, development of recommendations for parameter adjustment of pressure injection. **Methods:** Numerical methods and computer modeling of the soil foundation using the finite element method for studying its geomechanical

© Соколов М.В., Простов С.М., Герасимов О.В., 2019

state of a mining building with regard to heterogeneities of the local geological structure and changes in the physical and mechanical properties of soils. **Research findings:** The obtained results are based on engineering and geological surveys of the soil foundation of the mining building composed of man-made bulk soils. The stress-strain state of the soil foundation is simulated. As a result of injection compaction the geomechanical state of the soil mass changes. **Practical implications:** Recommendations are given for the parameter adjustment of the injection method. It is shown that the pressure injection method is undoubtedly effective for the soil stabilization for buildings.

Keywords: soil foundation; numerical simulation; stress; deformation; displacement; soil reinforcement; reinforcement parameters.

For citation: Sokolov M.V., Prostov S.M., Gerasimov O.V. Prognoz geomekhanicheskogo sostoyaniya zakreplyaemogo gruntovogo osnovaniya gornotekhnicheskogo zdaniya [Prediction of geomechanical state of stabilized soil foundation of mine engineering building]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 6. Pp. 199–210.
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-6-199-210

При строительстве и эксплуатации зданий и сооружений различного назначения, в том числе горнотехнического профиля, особое внимание уделяют вопросу их безопасной, безаварийной эксплуатации. В большинстве случаев причины разного рода аварийных ситуаций кроются в изменении состоянии грунтовых оснований вследствие ряда факторов: обводнения, просадки, морозного пучения и т. д. [1]. Изменения свойств и состояния грунтовых оснований горнотехнических зданий и сооружений также происходят от динамического воздействия при движении технологического транспорта и массовых взрывов. Отдельные категории зданий и сооружений могут располагаться на насыпных основаниях из вскрышных пород и техногенных отложений с постоянно изменяющимся гидрогеологическим режимом.

В результате воздействия совокупности перечисленных факторов грунтовые основания подвержены образованию ослабленных и водонасыщенных зон с низкими деформационными и прочностными свойствами. Образование этих аномальных зон в грунтовом массиве носит случайный характер и сложно диагностируется, поскольку стандартные методы инженерно-геологических изысканий имеют ограничения по количеству скважин, а методы исследования свойств грунтов весьма трудоемкие.

Для повышения устойчивости и стабилизации грунтовых оснований применяют различные методы укрепления, из которых наиболее распространены методы напорной инъекции и электрохимического закрепления [2, 3]. Каждый метод усиления применяется для соответствующего типа грунта и направлен как на усиление (укрепление), так и на заполнение пор, уплотнение, изоляцию грунтового основания.

Наряду с развитием методов укрепления грунтовых оснований актуален вопрос определения рациональных диапазонов технологических параметров, таких как положение и глубина погружения инъекторов, режим инъекции. Существующие аналитические методы довольно точно определяют параметры закрепления, но не учитывают структурные неоднородности массива, наличие аномальных зон, т. к. они основаны на усреднении физико-механических

свойств грунтов. Экспериментальные методы контроля деформационных процессов сводятся к долговременным и трудоемким измерениям оседаний сооружений. Более точные параметры получаются при применении методов численного моделирования и прогноза на основе базовых и локальных моделей [4–7], которые способны учитывать особенности строения грунтовых оснований, наличие аномальных зон с низкими физико-механическими свойствами и корректировать параметры инъекции при необходимости на основе геомеханического прогноза.

Цель исследования – проведение геомеханического расчета и прогноза для обоснования параметров напорной инъекции при укреплении ослабленного техногенного грунтового основания горнотехнического здания, разработка рекомендаций по корректировке параметров напорной инъекции.

Методы исследования

Примером проявления неустойчивости сооружений в Кузбассе является станционное здание с постом электроцентрализации, расположенное на территории угольного разреза «Талдинский». Обследуемое сооружение представляет собой 2-этажное кирпичное здание, имеющее размеры в плане 33,4×12,4 м, высотой 10,7 м от поверхности земли. Фундамент здания относится к фундаментам мелкого заложения на насыпном основании и выполнен в виде сплошной сборной ленты из фундаментных блоков. Назначенная глубина заложения фундамента по проекту составляет 3,2 м.

Исследуемая площадка имеет сложный рельеф и характеризуется большим количеством откосов. Абсолютные отметки рельефа находятся в диапазоне 255,1…268,2 м. Вблизи объекта располагаются горные выработки, а в северной и восточной части – различные пристройки и быстровозводимые каркасные сооружения (рис. 1).

Грунтовое основание здания сложено техногенными отложениями, вскрышными породами, отходами ведения горных работ, представленными несколькими разновидностями грунтов, сгруппированных по инженерно-геологическим элементам (ИГЭ).

ИГЭ № 1 – насыпной грунт, темно-бурый, в виде смеси дресвы и щебня с суглинистым заполнителем до 25 %, от твердой до тугопластичной консистенции, неслежавшийся. Промораживается в зимнее время. Исходным материалом является алевролит. Мощность колеблется от 0,4 до 1,9 м.

ИГЭ № 2 – насыпной грунт серого цвета в виде смеси дресвы и щебня с суглинистым заполнителем до 15 %, твердой консистенции, неслежавшийся. Исходным материалом в основном является песчаник мелкозернистый, малопрочный, сильновыветрелый. Мощность колеблется от 1,6 до 6,1 м.

ИГЭ № 3 – насыпной грунт пестроцветный в виде смеси дресвы и щебня с суглинистым заполнителем до 23 %, твердой консистенции, уплотненный, слежавшийся. Исходным материалом является алевролит, аргиллит и горельник. Вскрытая мощность – от 2,2 до 2,4 м.

ИГЭ № 2 имеет отличительную особенность в виде клиновидной формы залегания с паданием в двух плоскостях в соответствии с приведенными инженерно-геологическими разрезами (рис. 2).

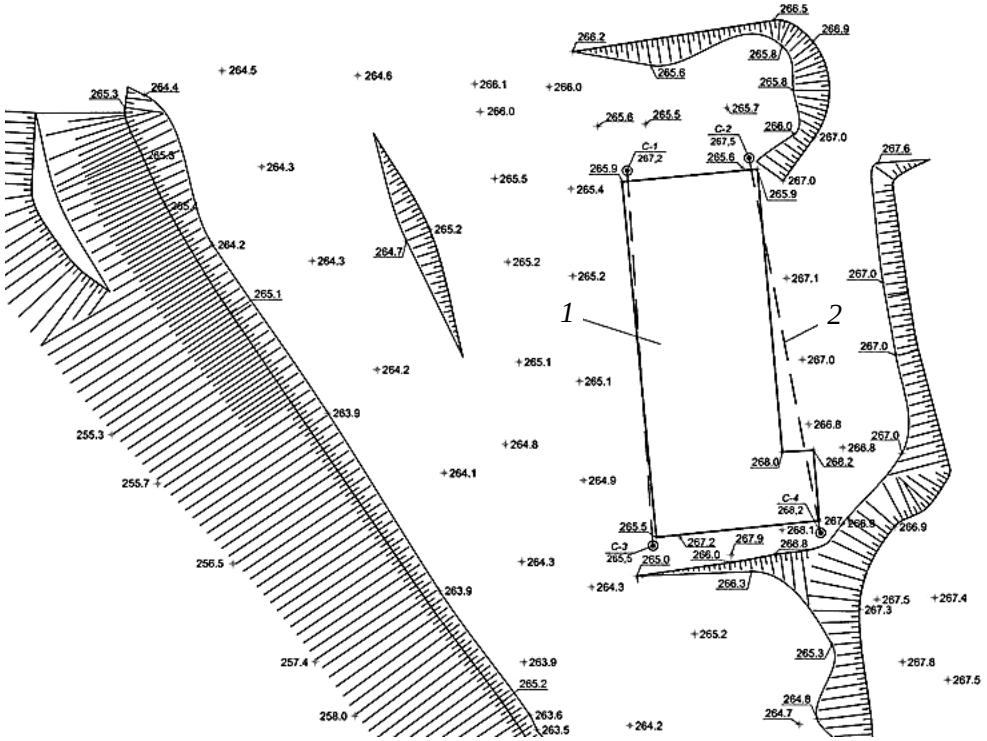


Рис. 1. План опытного участка:
1 – обследуемое здание; *2* – линия инженерно-геологического разреза; С-1–С-4 – инженерно-геологические скважины

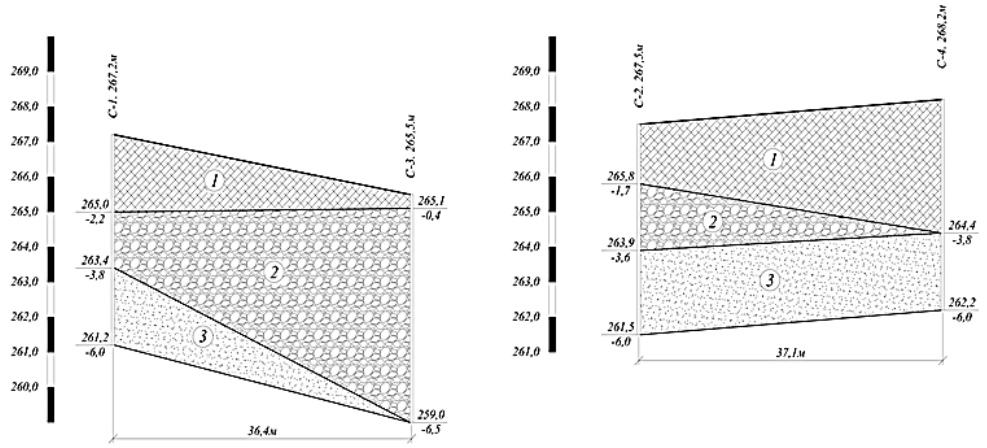


Рис. 2. Инженерно-геологические разрезы:
1–3 – номера инженерно-геологических элементов

Основные физико-механические свойства были определены в лабораторных условиях и отображены в таблице.

Сводная таблица механических свойств грунтов

Наименование физико-механических свойств	Ед. измер.	Номер инженерно-геологического элемента		
		ИГЭ-1	ИГЭ-2	ИГЭ-3
1. Природная плотность ρ: в естественном состоянии в замоченном состоянии	г/см^3	1,65 –	1,95 1,75	2,05 1,95
2. Угол внутреннего трения φ: в естественном состоянии в замоченном состоянии	град	20 –	24 20	31 24
3. Сцепление *C*: в естественном состоянии в замоченном состоянии	кПа	7 –	19 10	28 25
4. Модуль деформации *E*: в естественном состоянии в замоченном состоянии	МПа	10 –	20 12	24 20

Для прогноза и изучения изменения геомеханического состояния грунтового основания проводилось численное компьютерное моделирование на базе программного комплекса Alterra российского разработчика «ИнжПроектСтрой». В расчетах рассматривались локальные модели грунтового основания в зонах с наиболее характерной формой залегания слоев для реализации метода конечных элементов [8, 9].

Модель грунтового основания здания имеет базовые размеры 38×18,2 м, включает 3 слоя техногенных отложений согласно представленным разрезам и расположенных на расстоянии 6 м друг от друга 3 ленточных фундамента (рис. 3, *а*). Каждый фундамент нагружен сосредоточенной силой *P* и передает усилие на подошву шириной 1,2 м, расположенную на глубине d_f = 3,2 м. Фундамент выполнен из железобетона со следующими свойствами: плотность ρ_f = 2500 кг/м^3, модуль деформации E_f = 2000 кПа, коэффициент Пуассона υ = 0,15. Физико-механические свойства ИГЭ приняты как для замоченного состояния, что моделирует изменение гидрогеологического режима.

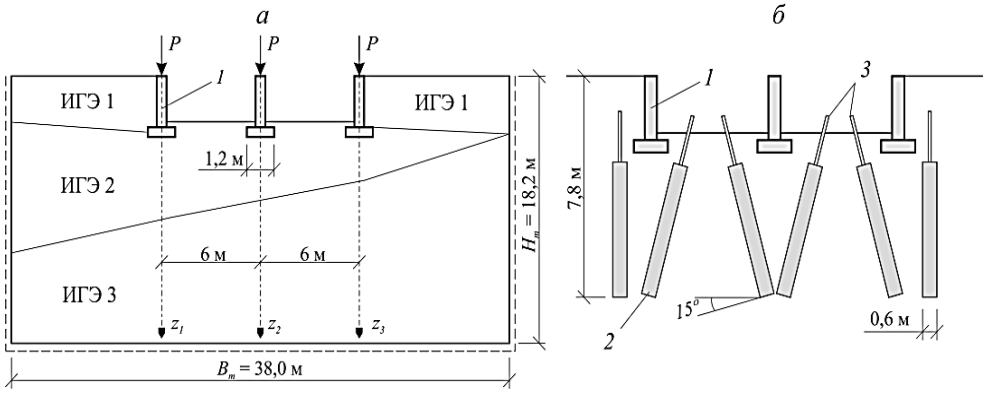


Рис. 3. Схемы локальной модели и закрепления грунтового основания:
1 – ленточный фундамент; *2* – зона закрепления; *3* – инъекторы

В соответствии с видом фундамента модель реализована в плоской постановке с условной глубиной 1 м. Пространство модели разделено на треугольные конечные элементы с разряжением сетки к границам модели. Боковые и нижняя границы модели имеют традиционные ограничения перемещений и граничные условия. Расчет производился в линейно-пластической стадии с заданием не более 500 итераций по нелинейным деформациям и не более 500 итераций по пластическим деформациям сдвига [10].

Для изучения влияния укрепления грунтового основания методом напорной инъекции цементно-песчаного раствора была принята схема укрепления для здания на ленточных фундаментах, имеющего внутренние несущие стены [11–13]. Глубина погружения инъекторов, их расположение и параметры напорной инъекции приняты по проекту ООО «НООЦЕНТР» в соответствии с рекомендациями [14, 15] (рис. 3, *б*).

Результаты

Анализ результатов производился по характерным вертикальным осям z_1, z_2 и z_3, расположенным вдоль осей симметрии каждого фундамента.

Результаты моделирования вертикальных σ_z и горизонтальных σ_x напряжений представлены в форме изолиний (рис. 4) и графиков (рис. 5).

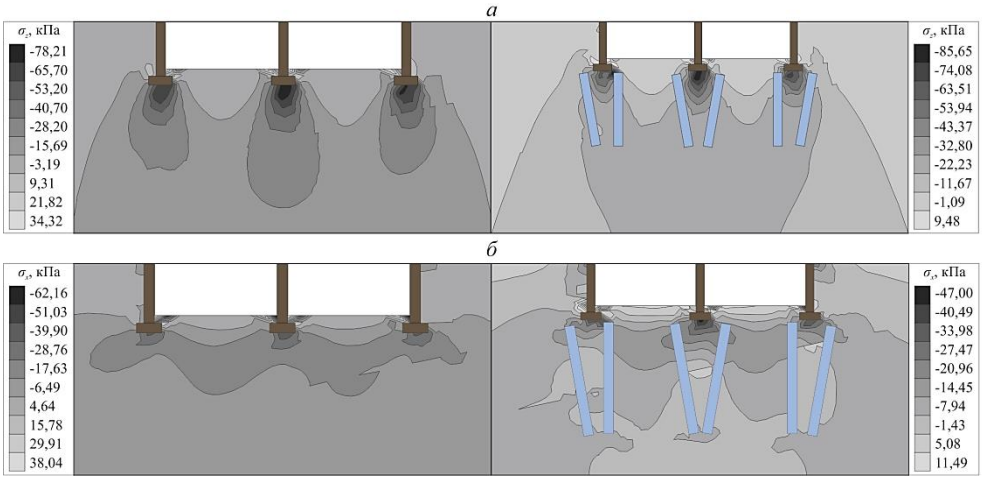


Рис. 4. Распределение вертикальных σ_z (*а*) и горизонтальных σ_x (*б*) напряжений в естественном и укрепленном грунтовом массиве

По форме зон распределения напряжений (рис. 4) четко прослеживается симметрия для каждого фундамента с незначительными искажениями на границе слоев. При укреплении основания площадь зон максимальных напряжений уменьшается как для вертикальных, так и для горизонтальных напряжений.

Вертикальные напряжения σ_z монотонно убывают с увеличением глубины массива, а их величина уменьшается при введении в расчет зон укрепления. Нелинейная часть графиков, соответствующая областям стабилизации напряжений σ_z, располагается на интервале z_2 = 5,5–10,0 м.

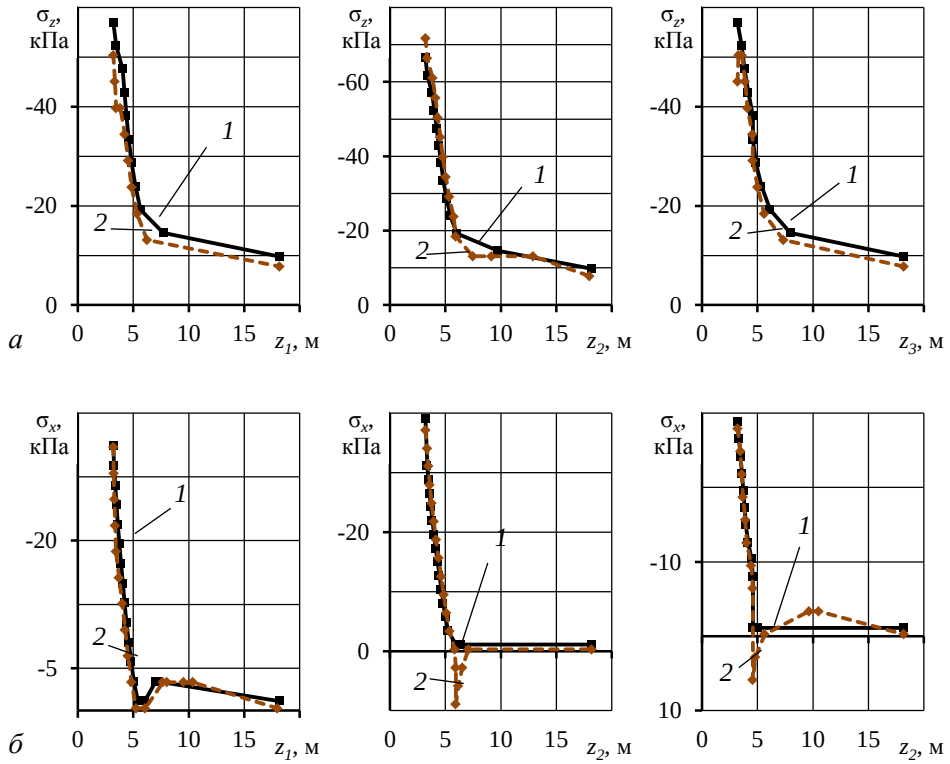


Рис. 5. Зависимость вертикальных σ_z (*а*) и горизонтальных σ_x (*б*) напряжений от глубины модели *z*:
1 – естественный массив; *2* – укрепленный массив

Горизонтальные напряжения σ_x вдоль оси z_1 распределяются с образованием зоны аномальных минимальных значений на интервале z_1 = 5,0–7,5 м. Вдоль осей z_2 и z_3 напряжения σ_x распределяются только в пределах ИГЭ № 2, причем в укрепленном массиве вдоль границы слоев *2* и *3* образуются отрицательные напряжения.

Второй этап анализа направлен на оценку закономерностей распределения полных ε_z и пластических ε_{zp} деформаций (рис. 6 и 7).

Форма зон распределения полных вертикальных деформаций ε_z не имеет четкой симметрии (рис. 6), явно проявляется влияние слоистого основания. Для полных горизонтальных деформаций ε_x характерно распределение только в зоне, прилегающей к фундаменту, при этом влияние слоистости наблюдается только для фундамента вдоль оси z_3. При укреплении грунтового основания происходит перераспределение деформаций между слоями, при этом асимметрия усиливается, для вертикальных деформаций сохраняется влияние слоистости, а для горизонтальных – это влияние значительно слабее. По характеру распределения деформаций можно утверждать, что зоны укрепления являются упорным элементом, который незначительно деформируется в массиве, особенно при наклонном расположении инъекторов.

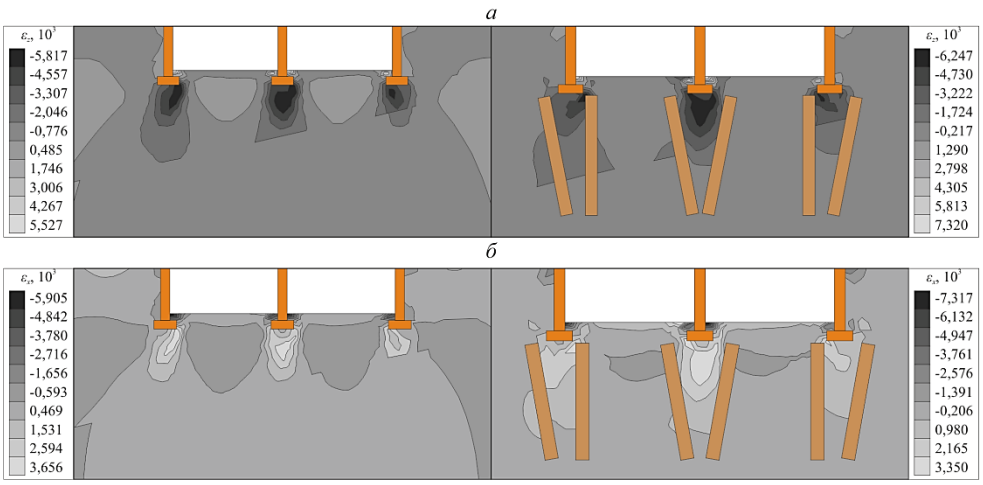


Рис. 6. Распределение полных вертикальных ε_z (*а*) и горизонтальных ε_x (*б*) деформаций в естественном и укрепленном грунтовом массиве

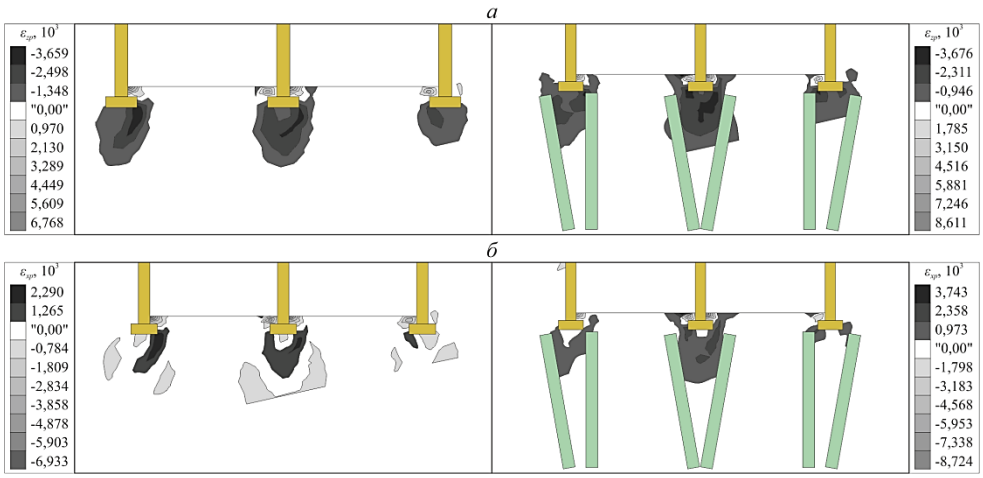


Рис. 7. Распределение пластических вертикальных ε_{zp} (*а*) и горизонтальных ε_{xp} (*б*) деформаций в естественном и закрепленном грунтовом массиве

Распределение пластических деформаций имеет более сложный характер (рис. 7). Они сконцентрированы в большинстве случаев под фундаментом и по границе слоев, имея при этом разные направления развития от оси симметрии фундаментов. С введением зон укрепления происходит локализация пластических деформаций в межзонном пространстве, однако незначительная часть деформаций выходит за обозначенную зону, свидетельствуя о смещении наклонных зон укрепления.

Распределения полных деформации ε_z вдоль оси z_1 (рис. 8, *а*) имеют схожие очертания с графиками напряжений, за исключением пика напряжений в интервале $z_1 = 4{,}0–5{,}0$ м, который сохраняется при укреплении, но имеет

меньшую амплитуду. Вдоль оси z_2 деформации ε_z отличаются явно выраженным падением значений на границе слоев ИГЭ № 2 и № 3, которое не устраняется при укреплении. На интервале z_2 = 3,8–4,9 м значения ε_z значительно возрастают. Наличием скачка деформаций на границе слоев характерен также график $\varepsilon_z(z_3)$, за которым происходит монотонное снижение расчетных значений.

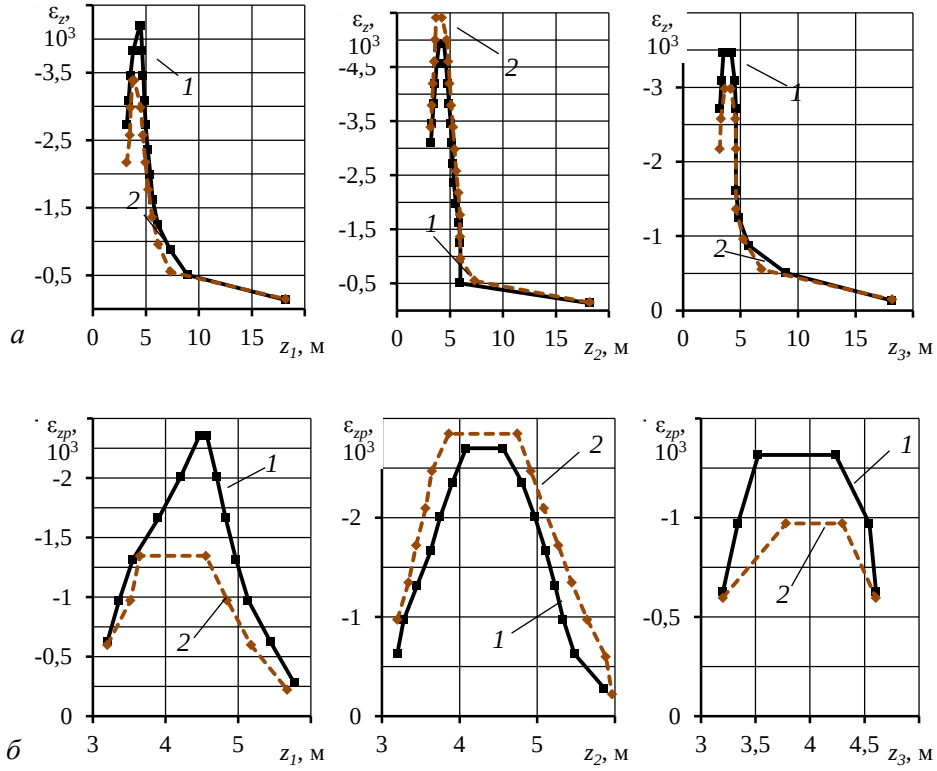


Рис. 8. Зависимость полных ε_z (*а*) и пластических ε_{zp} (*б*) вертикальных деформаций от глубины модели *z*:
1 – естественный массив; *2* – закрепленный массив

Проявление пластических деформаций ε_{zp} (рис. 8, *б*) характерно только на глубине до 6 м, т. е. только в пределах ИГЭ № 2 (слабого, неслежавшегося слоя), при этом графики распределения вдоль всех осей имеют область максимума. При укреплении наибольший эффект наблюдается для осей z_1 и z_3, где значения ε_{zp} уменьшаются в 2 и 1,5 раза соответственно. При этом вдоль оси z_2 зафиксировано увеличение деформаций ε_{zp} в среднем на 14 %, с расширением зоны пластических деформаций на 0,2 м по глубине. Таким образом, результаты оценки деформированного состояния свидетельствуют о недостаточной эффективности принятой схемы закрепления для центрального фундамента.

Графики распределения полных горизонтальных ε_x и пластических ε_{xp} деформаций (рис. 9) имеют зону максимальных значений в границах ИГЭ № 2, которая при укреплении снижается для всех фундаментов, за исключением центрального.

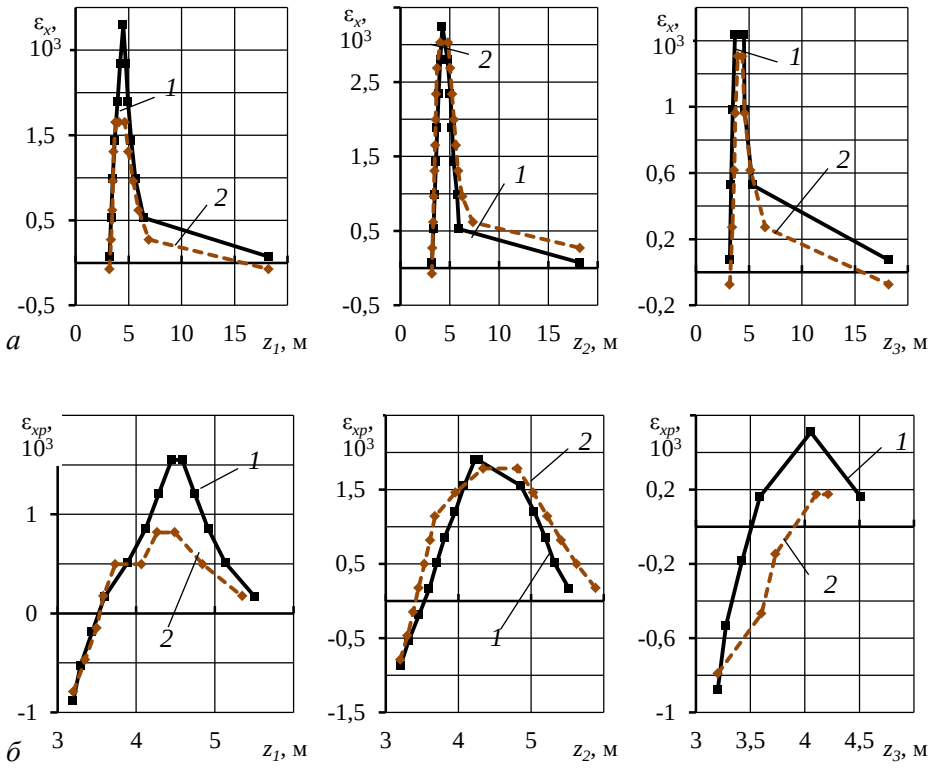


Рис. 9. Зависимость полных ε_x (*а*) и пластических ε_{xp} (*б*) горизонтальных деформаций от глубины модели *z*:
1 – естественный массив; *2* – закрепленный массив

Выводы

По результатам проведенного анализа в целом подтверждена эффективность проведенного закрепления грунтового основания, что проявилось в значительном снижении вертикальных деформаций и напряжений. Выявлена необходимость изменения схемы закрепления центрального фундамента, т. к. вдоль оси z_2 наблюдается возрастание как полных, так и пластических деформаций, а горизонтальные напряжения имеют отрицательные значения на границе слоев *2* и *3*, при этом возможно смещение наклонной зоны закрепления под действием нагрузок.

Основываясь на результатах геомеханического моделирования, рекомендовано изменить в схеме закрепления центрального фундамента наклонное на вертикальное расположение скважин. Таким образом будет достигнуто повышение сроков безаварийной эксплуатации здания.

Библиографический список

1. *Тер-Мартиросян З.Г.* Современные проблемы механики грунтов и фундаментостроения // Вестник МГСУ. 2015. № 8. С. 5–6.

2. *Ибрагимов М.Н., Семкин В.В., Шапошников А.В.* Цементация грунтов инъекцией растворов в строительстве. Москва : Изд-во АСВ, 2017. 266 с.
3. *Страданченко С.Г., Должиков П.Н., Шубин А.А.* Исследование параметров химического и электрохимического закрепления грунтов. Новочеркасск : ЮРГТУ (НПИ), 2009. 198 с.
4. *Пономарев А.Б., Сычкина Е.Н.* Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния регулируемого фундамента и грунтового основания в программном комплексе ANSYS WORKBENCH // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2015. № 4. С. 76–88.
5. *Строкова Л.А.* Численное моделирование влияния упрочнения грунтового массива цементно-песчаной инъекцией на деформации основания // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. № 10. С. 6–17.
6. *Лютов В.Н., Казицин В.А.* Прикладное математическое моделирование процесса закрепления лессовых грунтов струйной цементацией для условий Барнаула // Ползуновский альманах. 2016. № 1. С. 143–146.
7. *Protosenya A.G., Karasev M.A., Belyakov N.A.* Numerical simulation of rock mass limit state using Stavrogin's strength criterion // Journal of mining science. 2015. V. 51. № 1. P. 31–37.
8. *Фадеев А.Б.* Метод конечных элементов в геомеханике. Москва : Недра, 1987. 221 с.
9. *Горбунов-Посадов М.И., Маликова Т.А., Соломин В.И.* Расчет конструкций на упругом основании. Москва : Стройиздат, 1984. 679 с.
10. *Kornienko M., Zhuk V., Abed Samar, Chegodaev I.* Experience of fixing a weak base foundation by vertical soil-cement elements using drill-mixing technology // Технические науки и технологии. 2018. № 2 (12). С. 290–296.
11. *Prostov S.M., Sokolov M.V., Pokatilov A.V.* The Influence of In-jecting Strengthening for Uniform Subgrade Soils of Strip Foundations on Their Stress-Strain State // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. V. 10. Number 25. P. 45297–45306.
12. *Sokolov M., Prostov S.* Modeling of Geomechanical Processes Case of Uneven Settling of Foundations Constructions // Proceedings of the 8th Russian-Chinese Symposium «Coal in the 21st Century: Mining, Processing, Safety». Advances in Engineering Research. 2016. V. 92. September. P. 206–212.
13. *Sokolov M., Prostov S.* Increasing Stability of Mine Surface Facilities on the Fill-Up Ground // E3S Web Conf. IInd International Innovative Mining Symposium. 2017. V. 21. 01012 (DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172101012)
14. *Ибрагимов М.Н.* Вопросы проектирования и производства уплотнения грунтов инъекцией растворов по гидроразрывной технологии // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2015. № 2. С. 22–27.
15. *Рекомендации по проектированию*, расчету и устройству геотехногенных блоков и методам контроля качества их выполнения / Уральский промстройниипроект. Свердловск : РотаПринт, 1989. 108 с.

REFERENCES

1. *Ter-Martirosyan Z.G.* Sovremennye problemy mekhaniki gruntov i fundamentostroeniya [Modern problems of soil mechanics and foundation engineering]. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 8. Pp. 5–6. (rus)
2. *Ibragimov M.N., Semkin V.V., Shaposhnikov A.V.* Tsementatsiya gruntov in"ektsiei rastvorov v stroitel'stve [Cementation of soils by injection of solutions in construction]. Moscow: ASV, 2017. 266 p. (rus)
3. *Stradanchenko S.G., Dolzhikov P.N., Shubin A.A.* Issledovanie parametrov khimicheskogo i elektrokhimicheskogo zakrepleniya gruntov [Study of the parameters of chemical and electrochemical fixation of soils]. Novocherkask: SRSTU (NPI), 2009. 198 p. (rus)
4. *Ponomarev A.B.* Rezul'taty modelirovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya reguliruemogo fundamenta i gruntovogo osnovaniya v programmnom komplekse ANSYS WORKBENCH [Results of modeling stress-strain state of adjustable and soil foundations in the ANSYS Workbench software package]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2015. No. 4. Pp. 76–88. (rus)

5. *Strokova L.A.* Chislennoe modelirovanie vliyaniya uprochneniya gruntovogo massiva tsementno-peschanoi in"ektsiei na deformatsii osnovaniya [Numerical modeling of soil mass hardening by cement-sand injection and its deformation]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2017. No. 10. Pp. 6–17. (rus)
6. *Lyutov V.N., Kazitsin V.A.* Prikladnoe matematicheskoe modelirovanie protsessa zakrepleniya lessovykh gruntov struinoi tsementatsiei dlya uslovii Barnaula [Applied mathematical modeling of the process of fixing loess soils by jet cementation for the conditions of Barnaul]. *Polzunovskii al'manakh*. 2016. No. 1. Pp. 143–146. (rus)
7. *Protosenya A.G., Karasev M.A., Belyakov N.A.* Numerical simulation of rock mass limit state using Stavrogin's strength criterion. *Journal of mining science*. 2015. V. 51. No. 1. Pp. 31–37.
8. *Fadeev A.B.* Metod konechnykh elementov v geomekhanike [The finite element method in geomechanics]. Moscow: Nedra, 1987. 221 p. (rus)
9. *Gorbunov-Posadov M.I., Malikova T.A., Solomin V.I.* Raschet konstruktsii na uprugom osnovanii [Design calculation on an elastic foundation]. Moscow: Stroyizdat, 1984. 679 p. (rus)
10. *Kornienko M., Zhuk V., S. Abed, Chegodaev I.* Experience of fixing a weak base foundation by vertical soil-cement elements using drill-mixing technology. *Technical Sciences and Technologies*. 2018. No. 2 (12). Pp. 290–296.
11. *Prostov S.M., Sokolov M.V., Pokatilov A.V.* The influence of injecting strengthening for uniform subgrade soils of strip foundations on their stress-strain state. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. V. 10. No. 25. Pp. 45297–45306.
12. *Sokolov M.V., Prostov S.M.* Modeling of geomechanical processes case of uneven settling of foundations constructions. In: Advances in Engineering Research. *Proc. 8th Russ.-Chinese Symp. 'Coal in the 21st Century: Mining, Processing, Safety'*. 2016. V. 92. Pp. 206–212.
13. *Sokolov M.V., Prostov S.M.* Increasing stability of mine surface facilities on the fill-up ground. *E3S Web. 2nd Int. Conf. 'Innovative Mining Symposium'*. 2017. V. 21. P. 01012.
14. *Ibragimov M.N.* Voprosy proektirovaniya i proizvodstva uplotneniya gruntov in"ektsiei rastvorov po gidrorazryvnoi tekhnologii [Design and production of soil compaction by injection of solutions using hydraulic fracturing technology]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2015. No. 2. Pp. 22–27. (rus)
15. Rekomendatsii po proektirovaniyu, raschetu i ustroistvu geotekhnogennykh blokov i metodam kontrolya kachestva ikh vypolneniya [Recommendations on design, calculation and installation of geotechnogenic blocks and methods for quality monitoring of their implementation]. Sverdlovsk: RotaPrint, 1989. 108 p. (rus)

Сведения об авторах

Соколов Михаил Валерьевич, канд. техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, easokolov42@mail.ru

Простов Сергей Михайлович, докт. техн. наук, профессор, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, psm.kem@mail.ru

Герасимов Олег Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, gerasimov@noocentr.com

Authors Details

Mikhail V. Sokolov, PhD, A/Professor, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya Str., 650000, Kemerovo, Russia, easokolov42@mail.ru

Sergei M. Prostov, DSc, Professor, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya Str., 650000, Kemerovo, Russia, psm.kem@mail.ru

Oleg V. Gerasimov, PhD, A/Professor, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya Str., 650000, Kemerovo, Russia, gerasimov@noocentr.com

ХРОНИКА. СОБЫТИЯ

К 90-ЛЕТИЮ НАУМА ПЕТРОВИЧА АБОВСКОГО

Наум Петрович Абовский (14.12.1929–22.11.2012) – заслуженный деятель науки и техники РСФСР, академик Международной академии наук Высшей школы, почетный член РААСН, заслуженный изобретатель РФ, почетный доктор Одесской архитектурно-строительной академии, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции и управляемые системы» ИСИ СФУ.

Наум Петрович Абовский окончил с отличием в 1951 г. Одесский гидротехнический (инженерно-строительный) институт. С августа 1953 г. по август 1958 г. работал ассистентом, а после защиты кандидатской диссертации в 1958 г. – доцентом кафедры строительной механики Новосибирского инженерно-строительного института.

В 1963 г. Н.П. Абовский организовал в Красноярском политехническом институте кафедру «Строительная механика» и был ее бессменным руководителем в течение 45 лет.

Он – создатель и руководитель красноярской научной школы «Строительная механика, пространственное формообразование и управление конструкциями и системами».

Науму Петровичу Абовскому принадлежит более 40 монографий и учебных пособий, 64 патента, свыше 430 научных статей. Им осуществлено редактирование и издание более 30 сборников научных работ.

Н.П. Абовский подготовил более 30 кандидатов технических и физико-математических наук, двух докторов технических наук, трех профессоров. Его ученики работают в СФУ, возглавляя ряд кафедр и деканатов, в других вузах и на предприятиях, успешно трудятся в Украине, США и Канаде. К этому следует добавить сотни молодых инженеров, специализированно подготовленных кафедрой в области пространственных конструкций.

Н.П. Абовским и его учениками достигнуты значительные успехи в научно-образовательной деятельности, внесен весомый вклад в создание вариационно-разностных методов расчета, теории и принципов создания управляемых конструкций.

Создан междисциплинарный научно-образовательный инновационный комплекс (МНОИК) «Управляемые конструкции и системы», в том числе нейроуправление, нейрооптимизация, нейропрогнозирование применительно к задачам строительной механики и строительным конструкциям.

Решались вопросы конструктивной сейсмобезопасности зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях, сталежелезобетонных конструкций нового типа, пространственных фундаментных платформ для малоэтажного строительства в сложных грунтовых условиях.

Создан комплекс запатентованных конструктивных разработок для строительства в северных нефтегазоносных районах Красноярского края.

За более чем 60-летнюю трудовую деятельность Н.П. Абовский отмечен рядом правительственных и отраслевых наград. Он почетный работник высшего профессионального образования (1999), лауреат премии г. Красноярска (2004). В 2006 г. законодательное собрание края присвоило ему знак «Признание», он награжден медалью «Ветеран труда» (1986), почетной медалью в честь юбилея В.Г. Шухова, медалью РААСН за учебное пособие «Современные аспекты активного обучения. Строительная механика. Теория упругости. Управление строительными конструкциями», дипломами и почетной грамотой РААСН за успехи в научной и творческой деятельности и цикл работ «Развитие и применение НОК “Управление конструкциями”» и др.

Наум Петрович много сил отдавал научно-общественной деятельности, будучи председателем секции по строительству краевого научного совета при крайкоме КПСС, а затем при администрации г. Красноярска; членом министерской научной комиссии по сопротивлению материалов, теории упругости и строительной механике; членом краевой общественной экологической палаты; сопредседателем секции Исполнительного комитета Международной (Европейской) Ассоциации по управляемым конструкциям (Италия).

P.S. В Инженерно-строительном институте СФУ в декабре 2014 г. был открыт мемориальный кабинет-библиотека имени Наума Петровича Абовского. И там, в том числе, проводятся занятия для магистрантов и аспирантов. Основные идеи и разработки Наума Петровича, изложенные в ряде монографий и учебных пособий, внедрены в учебный процесс ИСИ. На их основе читаются курсы по дисциплинам, являющимся уникальными: «Особенности формообразования строительных конструкций», «Управляемые конструкции и системы». Также его разработки включены в учебные курсы по дисциплинам: «Методология научных исследований» и «Сейсмостойкость зданий и сооружений».

И.С. Инжутов *– директор ИСИ СФУ, докт. техн. наук, проф., руководитель Красноярского представительства Сибирского терр. отделения РААСН, советник РААСН, почетный проф. АСВ.*
С.В. Деордиев *– заведующий кафедрой «СКиУС», канд. техн. наук, доц., чл.-корр. РАЕН*